



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
Departamento de Gestión de la Construcción

**PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA
PMI PARA LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS GEOTÉCNICOS DEL
PROYECTO APLICADO A PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN
MINERA TIPO RAJO ABIERTO**

Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión Integral de
Proyectos

RODRIGO BAUTISTA AGUIRRE MORALES

Profesor Tutor: Sr. Juan Huidobro Arabia – Ingeniero Constructor
Magíster en Gestión Integral de Proyectos

Antofagasta, Chile
2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 ANÁLISIS CIENTÍFICO	2
1.2.1 Área de Investigación.....	2
1.2.2 Título de la Investigación.....	2
1.2.3 Entregables	2
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1 Planteamiento del Problema	2
1.3.2 Formulación del Problema.-	4
1.3.3 Sistematización del Problema.-	4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1 Objetivos Generales.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6 MARCO REFERENCIAL.	6
1.6.1 Cuadro sinóptico de las teorías empleadas.....	6
1.6.2 Resumen Marco Teórico	6
1.7 HIPÓTESIS DE TRABAJO	7
1.7.1 Hipótesis Primer Grado	7
1.7.2 Hipótesis Segundo Grado	7
1.8 ASPECTOS METODOLÓGICOS	7
1.8.1 Métodos de Estudio e Investigación.....	7
1.8.2 Fuentes de Información para recolección de datos.....	8
1.8.3 Técnicas de Recolección y Tratamiento de la Información.	8
1.8.4 Metodología del Caso.....	8
1.9 DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS	9

CAPITULO II.

MARCO REFERENCIAL 10

2.1	INTRODUCCIÓN.....	10
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.....	10
2.3	MARCO HISTÓRICO	11
2.4	MARCO CONCEPTUAL.....	12
2.4.1	Riesgo del Proyecto.	12
2.4.2	Geotecnia (o Ingeniería Geotécnica).....	12
2.4.3	Gestión del Riesgo	12
2.4.4	Interesados (Satekholders)	12
2.4.5	Juicio Experto.....	12
2.4.6	Rajo Abierto (Open Pit).	12
2.5	MARCO LEGAL.....	13
2.5.1	Interno	13
2.5.2	Externo	13
2.6	MARCO TEÓRICO	13
2.6.1	Cuadro Sinóptico de las Teorías Empleadas.	13
2.6.2	Modelo de Madurez.....	14
2.6.3	Modelos de Gestión	14
2.6.4	Modelos de Gestión de Riesgos.....	14
2.6.5	Modelos de Competencias	15

CAPITULO III.

DEFINICIÓN Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 17

3.1	INTRODUCCIÓN.....	17
3.2	DEFINICIÓN Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
3.2.1	Componentes del diseño de la investigación	20
3.2.2	El desarrollo de la teoría en el diseño del trabajo.....	24
3.2.3	Criterios para juzgar la calidad del diseño de la investigación	24
3.2.4	Diseño del Estudio del Caso	26

3.3	CONDUCCIÓN DE LOS CASOS	28
3.3.1	Adiestramiento y preparación para un estudio del caso específico	28
3.3.2	Desarrollo del caso piloto	28
3.3.3	Recolección de la evidencia	28
3.3.4	Principios de la recolección de datos	30
3.4	EL PROTOCOLO DEL ESTUDIO DEL CASO.....	32
3.4.1	Introducción al estudio del caso y propósitos del protocolo.....	33
3.4.2	Procedimientos de Campo	36
3.4.3	Preguntas del Estudio del Caso	37
3.5	PAUTAS PARA EL ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN DE LA INVERTIGACIÓN A PARTIR DE LA EVIDENCIA	43
3.5.1	Estrategia de análisis de la evidencia utilizada en la investigación. ...	43
3.5.2	Técnicas de análisis de la evidencia	43
3.5.3	Utilización de otras herramientas analíticas para el análisis de la evidencia	44
3.5.4	Desarrollo de reportes en la investigación.....	47
3.5.5	Tipos de reportes empelados en el análisis de la evidencia.....	48

CAPITULO IV.

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS 50

4.1	INTRODUCCIÓN.....	50
4.2	RESULTADOS DEL ESTUDIO EMPÍRICO	50
4.2.1	Resultados encuesta madurez del área.	50
4.2.2	Resultados Encuesta Modelo de Gestión de las Unidades de Análisis.	53
4.2.3	Resultados Encuesta Gestión de los Riesgos Geotécnicos	56
4.2.4	Resultados Encuesta Modelo de Competencias Superintendencia de Geotecnia	66
4.2.5	Resumen de Resultados	68
4.3	ANÁLISIS CRUZADO	70
4.4	ANÁLISIS DE OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN EN CADA FACTOR DE ANÁLISIS.....	70

CAPITULO V.

ENTREGABLE DE LA INVESTIGACIÓN 72

5.1	INTRODUCCIÓN.....	72
5.2	OBJETIVO DE LA GUÍA.....	73
5.3	ALCANCE.....	73
5.4	DEFINICIONES (GLOSARIO).....	73
5.5	GESTIÓN DEL RIESGO GEOTÉCNICO.....	81
5.5.1	Planificar la gestión de los riesgos geotécnicos	82
5.5.2	Identificar los riesgos geotécnicos.....	85
5.5.3	Análisis cualitativo de los riesgos geotécnicos	88
5.5.4	Análisis cuantitativo de los riesgos geotécnicos.....	89
5.5.5	Planificar respuesta a los riesgos geotécnicos.....	100
5.5.6	Controlar los riesgos geotécnicos	102

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES 108

6.1	RESPECTO A LAS PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN.	108
6.2	RESPECTO A LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	110
6.2.1	Hipótesis de primer grado	110
6.2.2	Hipótesis de segundo grado.....	110
6.3	RESPECTO A LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	111
6.3.1	Objetivo General	111
6.3.2	Objetivos Específicos	111
6.4	RESPECTO A LAS PROPOSICIONES TEÓRICAS.....	112
6.5	RESPECTO AL MARCO REFERENCIAL.	113
6.6	RESPECTO A LA METODOLOGÍA EMPLEADA	113
6.7	RESPECTO A LA IMPORTANCIA DEL TEMA INVESTIGADO Y LAS NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	114

BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXO I	
GUÍA GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO	119
ANEXO II	
EVALUACIÓN MADUREZ	147
ANEXO III	
EVALUACIÓN MODELO DE GESTIÓN	164
ANEXO IV	
EVALUACIÓN GESTIÓN RIESGO GEOTÉCNICO	183
ANEXO V	
EVALUACIÓN MODELO DE COMPETENCIAS	208

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Diseño de la Investigación, Tipo Acoplado con 3 unidades.....	9
2.1	Breve Historia de la Dirección de Proyectos.....	11
2.2	Modelo de Competencias.....	15
3.1	Metodología de la investigación.....	18
3.2	Metodología del Caso.....	19
3.3	Etapas de la metodología del caso.....	19
3.4	Diseño simple, acoplado o integrado.....	27
3.5	Metodología de investigación del trabajo empírico.....	27
3.6	Convergencia de la evidencia en la investigación.....	30
3.7	Cadena de la evidencia aplicada a la investigación empírica.....	32
3.8	Formato de Protocolo para cada caso de la Investigación.....	33
3.9	Carta de introducción trabajo de investigación.....	35
3.10	Estructura para los Reportes del Caso.....	45
3.11	Relación de reportes en función del tipo de evidencia.....	46
4.1	Resultados encuestas.....	57
4.2	Resultados encuestas.....	58
4.3	Resultados encuestas.....	58
4.4	Resultados encuestas.....	59
4.5	Resultados encuestas.....	60
4.6	Resultados encuestas.....	60
4.7	Resultados encuestas.....	61
4.8	Resultados encuestas.....	62
4.9	Resultados encuestas.....	62
4.10	Resultados encuestas.....	63
4.11	Resultados encuestas.....	63
4.12	Resultados encuestas.....	64
4.13	Resultados encuestas.....	65
4.14	Resultados encuestas.....	65
4.15	Resultados encuestas.....	66
4.16	Resultados encuestas.....	67

4.17	Resultados encuestas.....	68
4.18	Resultados encuestas.....	68
5.1	Parámetros de una geometría talud sencillo.....	77
5.2	Descripción general de la gestión del riesgo propuesta.....	82
5.3	Diagrama mostrando el proceso de diseño de taludes.....	84
5.4	Posibles causas de futuras inestabilidades.	88
5.5	Posibles inestabilidades con control estructural.	92
5.6	Posibles inestabilidades sin control estructural.....	92
5.7	Matriz de Riesgo DMH.....	94
5.8	Esquema de la metodología para realizar análisis banco-berma.	96
5.9	Proceso de Back-análisis.....	97
5.10	Análisis Bow-Tie Inestabilidad de Taludes.....	98
5.11	Sistema de gestión de lecciones aprendidas (L.A.)	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
3.1	Proposiciones teóricas y sus factores de análisis 22
3.2	Tácticas del estudio del caso para las cuatro pruebas de diseño aplicadas en investigación. 25
3.4	Distintas fuentes de evidencia consideradas. 31
3.5	Contactos considerados para la presente investigación. 36
4.1	Niveles de madurez del Manejo del Riesgo en la Industria Minera (MRIM). 51
4.2	Aspectos evaluados para la clasificación de UA1 y UA2 según MRIM. 52
4.3	Herramientas de autoevaluación para MRIM. 52
4.4	FA2. Análisis cuantitativo, Modelo de Gestión de la SGEOT Parte I 54
4.5	FA2. Análisis cuantitativo Modelo de Gestión de la SGEOT Parte II. 55
4.6	FA2. Análisis cuantitativo Modelo de Gestión de la SGEOT Parte III 56
4.7	Análisis Cruzado Factores de Análisis considerados. 70
4.8	Otras fuentes de info por Factores de Análisis considerado. 71
5.1	Herramientas sugeridas para un análisis de riesgo. 99
5.2	Estrategias para prevenir y gestionar el efecto de la liberación de energía gravitacional que active un fallamiento de talud. 103
5.3	Jerarquización de los controles. 104
5.4	Medidas de control geotécnico comunes en rajos. 104

RESUMEN

Actualmente, los proyectos mineros no cuentan con un sistema implementado de gestión de riesgos geotécnicos y por lo general no se destinan los recursos humanos y técnicos suficientes para la gestión de toda la información geotécnica requerida en las diferentes etapas o fases del proyecto. La correcta gestión de riesgos geotécnicos tiene una implicancia directa en la seguridad de los trabajadores y trabajadoras, además de incidir directamente en la anticipación de posibles eventos, los cumplimientos de los planes vigentes, costos y calidad del proyecto.

El caso de investigación considerará proyectos mineros en etapa de desarrollo, a través de encuestas y entrevistas a personal relevante relacionado con el área de la geotecnia y observaciones del desarrollo del proyecto. Con esta información y la recolección de información teórica y práctica, se propone una guía para la gestión de los riesgos geotécnicos mineros de una operación a rajo abierto, se documentó la información de los diferentes riesgos geotécnicos en este tipo de operaciones, además se identificó los requerimientos en las diferentes etapas del proyecto y se sugirió un sistema de gestión de la información y lecciones aprendidas.

El trabajo de investigación indica que se debe implementar un sistema predictivo, a partir de mejorar la información que se genera para las siguientes fases, además de destinar mayor tiempo al análisis de la gran cantidad de información que se genera en la etapa de control y monitoreo. Se demostró que la cantidad y calidad de información base que se cuenta es relevante al momento de evaluar los riesgos geotécnicos.

Al final de la tesis se dispondrá de un entregable específico, conforme al objetivo de la presente investigación: una guía para la gestión de los riesgos geotécnicos en operaciones de rajo abierto, que entrega lineamientos a seguir, con el objetivo de tratar de identificar y controlar o minimizar los riesgos geotécnicos del proyecto.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.

El presente trabajo de tesis se desarrolla en el marco de la versión 12 del Magíster en Gestión Integral de Proyectos, dictado por el Departamento de la Gestión de la Construcción, perteneciente a la Universidad Católica del Norte sede Antofagasta.

Actualmente, en los proyectos de explotación minera tipo rajo abierto no existe un sistema de gestión de riesgos implementado desde un punto de vista geotécnico, además las organizaciones por lo general no destinan los recursos humanos y técnicos suficientes para la gestión de toda la información geotécnica requerida en las diferentes etapas o fases del proyecto. Implementar un sistema de Gestión de Riesgos Minero ayudaría a anticipar los recursos necesarios para poder identificar y gestionar los riesgos mineros del proyecto desde un punto de vista geotécnico.

La correcta gestión de riesgos geotécnicos tiene una implicancia directa en la seguridad de los trabajadores y trabajadoras, además de incidir directamente en la anticipación de posibles eventos, los cumplimientos de los planes vigentes, costos y calidad del proyecto.

La investigación se desarrollará en el ámbito de la División Ministro Hales que está en pleno proceso de explotación a rajo abierto, donde sus características más importantes son las dimensiones y diseño de las futuras fases del yacimiento, la infraestructura considerada y la cantidad y calidad del material considerado a explotar.

1.2 ANÁLISIS CIENTÍFICO

1.2.1 Área de Investigación

El área de investigación corresponde a “Gestión de Plazos, Costos y Riesgo”

1.2.1.1 Sub Área de Investigación

Se consideró como subárea de investigación la “Gestión de Riesgo”.

1.2.2 Título de la Investigación.

“Propuesta para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos del proyecto aplicado a proyectos de explotación minera tipo rajo abierto.”

1.2.3 Entregables

Procedimiento de flujo para la gestión de los riesgos geotécnicos para proyectos de explotación minera tipo rajo abierto.

1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Planteamiento del Problema

1.3.1.1 Síntomas

- No existe una metodología definida ni implementada para la gestión del riesgo minero del proyecto desde un punto de vista geotécnico.
- Durante el desarrollo del proyecto, existen riesgos geotécnicos que no fueron anticipados ni analizados con el tiempo adecuado.
- Inadecuada anticipación de los riesgos geotécnicos.
- Insuficiente asignación de recursos financieros, técnicos y humanos para la generación y análisis de la información base.

1.3.1.2 Causas

- La Empresa no cuenta con un documento formal para la gestión de riesgos geotécnicos de un proyecto minero.
- Recursos humanos insuficientes en el equipo de la superintendencia. Equipo con sobrecarga de trabajo.
- El proyecto no gestiona los recursos necesarios para la generación y análisis de toda la información.
- Falta de continuidad en el equipo encargado de la toma de información para la superintendencia de geotecnia, alta rotación de profesionales.

1.3.1.3 Diagnóstico

El proyecto actualmente está limitado en cuanto a la gestión del riesgo geotécnico, no existe un sistema de gestión de riesgo geotécnico, sumado a la falta de recursos humanos y técnicos, imposibilita realizar un análisis de toda la información relacionada, perdiendo la posibilidad de anticiparse y gestionar de forma eficiente los posibles riesgos geotécnicos.

1.3.1.4 Pronóstico

El no identificar y gestionar los potenciales riesgos geotécnicos mineros del proyecto, podría afectar la seguridad de los trabajadores, el normal desarrollo del plan vigente, el diseño final del rajo y los plazos y/o costos del proyecto.

1.3.1.5 Control del Pronóstico

Es necesario implementar un sistema de gestión de riesgo minero desde un punto de vista geotécnico para **poder anticipar de forma sistemática los potenciales problemas** que pueda presentar, **plantear soluciones y así asegurar el cumplimiento del plan minero, los diseños, plazos y costos**. Para esta implementación es necesario contar con los recursos financieros para establecer un equipo sólido de profesionales multidisciplinarios con los conocimientos técnicos tanto del yacimiento como de la metodología de explotación.

1.3.1.6 Planteamiento del Problema

Actualmente, en la Empresa **faltan estandarizar un sistema de gestión de riesgos mineros** desde el punto de vista geotécnico, la organización **no destina los recursos humanos y técnicos suficientes** para la gestión de toda la información requerida en las siguientes etapas del proyecto (próximas fases). **Es necesario implementar un sistema de Gestión de Riesgos Geotécnicos** que ayude a anticipar los recursos necesarios para poder identificar y gestionar los **riesgos mineros** del proyecto desde un punto de vista geotécnico.

1.3.2 Formulación del Problema.-

¿Cómo puedo gestionar de forma más eficiente los riesgos mineros del proyecto, desde un punto de vista geotécnico, que afectan a la seguridad, producción y costos del proyecto?

1.3.3 Sistematización del Problema.-

- ¿Cómo asegurar que el proyecto cuenta con la información geotécnica más adecuada para la toma de decisiones?
- ¿Cómo asegurar la transferencia de las lecciones aprendidas, especialmente desde un punto de vista geotécnico, de una fase a otra del proyecto y de proyectos similares?
- ¿Cómo asegurar que se considere los recursos humanos, técnicos y financieros que requiere el proyecto en sus diferentes fases?
- ¿Cómo gestionar el conocimiento y captar el conocimiento del capital humano?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivos Generales

Desarrollar una guía para implementar la metodología del PMI en la gestión de los riesgos geotécnicos mineros de un proyecto de explotación a rajo abierto.

1.4.2 Objetivos Específicos

Se plantean los siguientes objetivos específicos (además se muestra la correspondiente relación con la sistematización del problema)

- Implementar una metodología de gestión de riesgos minero para el proyecto en el área específica de la geotecnia. ¿Cómo asegurar que el proyecto cuenta con la información de riesgo geotécnico más adecuada para la toma de decisiones?
- Documentar la información de los diferentes riesgos geotécnicos identificados en las diferentes fases del proyecto. ¿Cómo asegurar la transferencia de lecciones geotécnicas aprendidas, de una fase a otra y/o de proyectos similares?
- Identificar los requerimientos técnicos, humanos y financieros para cada fase del proyecto y plantear una estructura de cómo se debería desarrollar cada una de ellas. ¿Cómo asegurar que se considere los recursos técnicos, humanos y financieros que requiere el proyecto en sus diferentes etapas?
- Implementar un sistema de gestión de capital intelectual y estructural del proyecto. ¿Cómo gestionar el conocimiento y captar el conocimiento del capital humano?

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

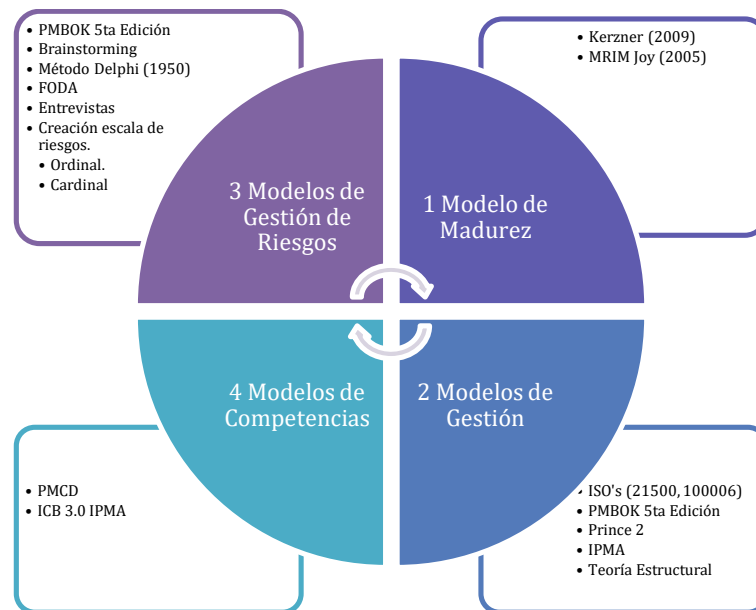
La presente investigación surge de la necesidad que tiene el proyecto de contar con una metodología formal de gestión de riesgos minero para poder identificar, analizar y gestionar los riesgos geotécnicos con la debida anticipación, además de identificar todos los recursos necesarios que ayudarán a resolver este aspecto.

Con este proyecto de investigación también se pretende aportar con el incremento de la seguridad del proyecto y sus trabajadores, la reducción de costos y el cumplimiento de los planes establecidos.

Por lo tanto la justificación de la presente investigación es de tipo práctico, debido a que su desarrollo e implementación ayudará a resolver una problemática del proyecto.

1.6 MARCO REFERENCIAL.

1.6.1 Cuadro sinóptico de las teorías empleadas.



1.6.2 Resumen Marco Teórico

1.6.2.1 Marco Legal

Interno

- Reglamento Interno de Higiene y Seguridad.
- Código del Trabajo.
- Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad, RIOHS. DMH.
- Sistema de Inversión de Capital, Codelco Chile (SIC)
- Procedimiento General de Análisis de Riesgo de Codelco Chile.

Externo

- Decreto Supremo N° 72, diciembre de 2002 – Reglamento de Seguridad Minera

- Decreto Supremo N° 132, febrero de 2004 - Reglamento de Seguridad Minera
- Nuevo Título XV Reglamento de Seguridad Minera
- Ley N° 19.300 Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente
- Ley N° 16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales

1.7 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.7.1 Hipótesis Primer Grado

- Implementar la metodología de Gestión de Riesgo del PMI ayudará a identificar, analizar y gestionar los riesgos geotécnicos con la debida anticipación para planificar las respuestas de los riesgos geotécnicos mineros del proyecto.
- Implementar una metodología de Gestión del Conocimiento permitirá la transmisión de lecciones aprendidas, minimizando los riesgos, así como a lograr que el proyecto se desarrolle en los plazos y costos establecidos.

1.7.2 Hipótesis Segundo Grado

- Una correcta gestión de riesgos geotécnicos asegura contar con los recursos humanos, técnicos y financieros adecuados, lo que impactará directamente en la seguridad de los trabajadores y trabajadoras, a través de la identificación y anticipación de posibles eventos, además de cumplir las metas de costos y plazos del proyecto.

1.8 ASPECTOS METODOLÓGICOS

1.8.1 Métodos de Estudio e Investigación

1.8.1.1 Métodos de Estudio

Respecto a los aspectos metodológicos, el presente trabajo se pretende abordar desde un punto de vista descriptivo, ya que se propone identificar elementos y características de la gestión de riesgos geotécnicos en el proyecto.

1.8.1.2 Métodos de investigación

El método de investigación a utilizar será la metodología del caso (Yin, 2002) y recopilación bibliográfica. Justificado por la naturaleza de la investigación, en donde se busca analizar situaciones reales y luego proponer un modelo aplicado.

1.8.2 Fuentes de Información para recolección de datos.

- **Fuentes Primarias:** Observación de procesos disponibles, entrevistas al personal técnico principal del proyecto, cuestionarios y sondeos a profesionales y expertos relacionados de la Corporación y de otros proyectos similares.
- **Fuentes Secundarias:** Literatura relacionada con el tema, revistas especializadas, tesis de pre y post grado, Papers relacionados con gestión de riesgo, Prensa y claims.

1.8.3 Técnicas de Recolección y Tratamiento de la Información.

1.8.3.1 Técnicas para recolección de la información

- Construir base de datos con las entrevistas que se van a realizar.
- Evaluar los resultados obtenidos.
- Análisis de Base de Datos
- Mantener evidencias del proceso de obtención de información

1.8.3.2 Tratamiento de la Información (Métodos y Herramientas)

La información recolectada será analizada, mediante gráficos, tablas y diagramas, además se implementará una matriz de doble entrada. Con esta información se identificarán conclusiones, se realizará un análisis de los resultados y se establecerá una metodología de gestión del riesgo.

1.8.4 Metodología del Caso.

Diseño básico para el estudio de casos (Yin, 2002).

1.8.4.1 Definición y diseño de la investigación

La investigación a realizar es del tipo acoplado con 3 unidades de análisis. El caso a analizar es: Propuesta para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos aplicados a proyectos de explotación minera tipo rajo abierto.

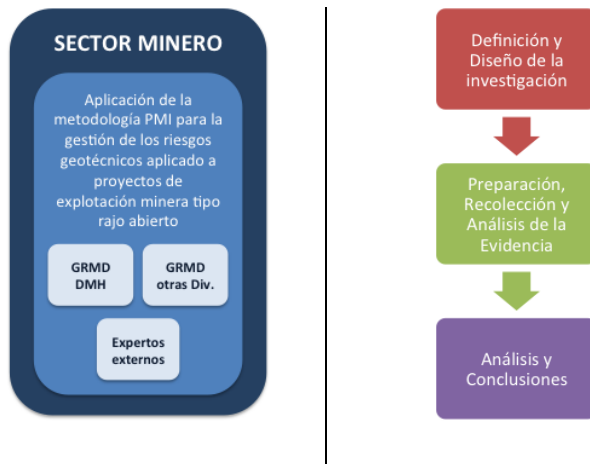


Figura 1.1 Diseño de la Investigación, Tipo Acoplado con 3 unidades.
(Fuente: Adaptado Alvarado, 2005)

1.9 DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

- CAPITULO I: INTRODUCCIÓN
- CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL
- CAPITULO III: DEFINICION Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
- CAPITULO IV: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS
- CAPITULO V: PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE LA
METODOLOGÍA PMI PARA LA GESTIÓN DE LOS
RIESGOS GEOTÉCNICOS
- CAPITULO VI: CONCLUSIONES
- CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 INTRODUCCIÓN

El área específica de investigación del presente trabajo corresponde a la Gestión de Riesgos del Proyecto, la cual es parte del área principal de Gestión de los Plazos, Costos y Riesgos del Proyecto. Según el PMI (Guía del PMBOK, 5ta edición) la Gestión de Riesgos del Proyecto considera todos los procesos relacionados a la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de respuesta, así como el monitoreo y control del riesgo en un proyecto. Los objetivos de la Gestión de Riesgos son aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos.

A partir de esos conceptos, el presente proyecto pretende generar un procedimiento para la gestión de los riesgos geotécnicos mineros de un proyecto que se encuentre en la etapa de explotación mediante la metodología de rajo abierto. El trabajo estará enfocado en identificar, analizar, planificar una respuesta para todos los riesgos geotécnicos mineros que se podrían presentar en un proyecto de las características descritas, para su posterior monitoreo, control e idealmente su anticipación.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

El estudio se realizará en la División Ministro Hales, perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO), empresa dedicada a la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento y su comercialización. La historia de Codelco comienza a partir de la promulgación de la reforma constitucional que nacionalizó el cobre el 11 de julio de 1971. La creación de la Corporación Nacional del Cobre de Chile como se la conoce en la actualidad fue formalizada por decreto el 1 de abril de 1976.

Codelco Chile fue constituida como una empresa del Estado que agrupa los yacimientos existentes en una sola Corporación, minera, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

Ejecuta sus operaciones a través de siete divisiones mineras, más la fundición y refinería Ventanas. La División Ministro Hales está a cargo de la operación de una mina de cobre a rajo abierto, inicio sus actividades el año 2010, ubicada a 5 km al norte de la ciudad de Calama, en la Región de Antofagasta. En la zona norte Codelco también cuenta con la División Chuquicamata, División Radomiro Tomic, División Gabriela Mistral y División Salvador, las cuales tienen amplia experiencia en métodos de explotación similares o iguales al considerado en este trabajo de tesis.

2.3 MARCO HISTÓRICO

Inicialmente se consideró el marco histórico de la gestión de proyectos en general, el cual será actualizado conforme desarrollemos el presente trabajo.

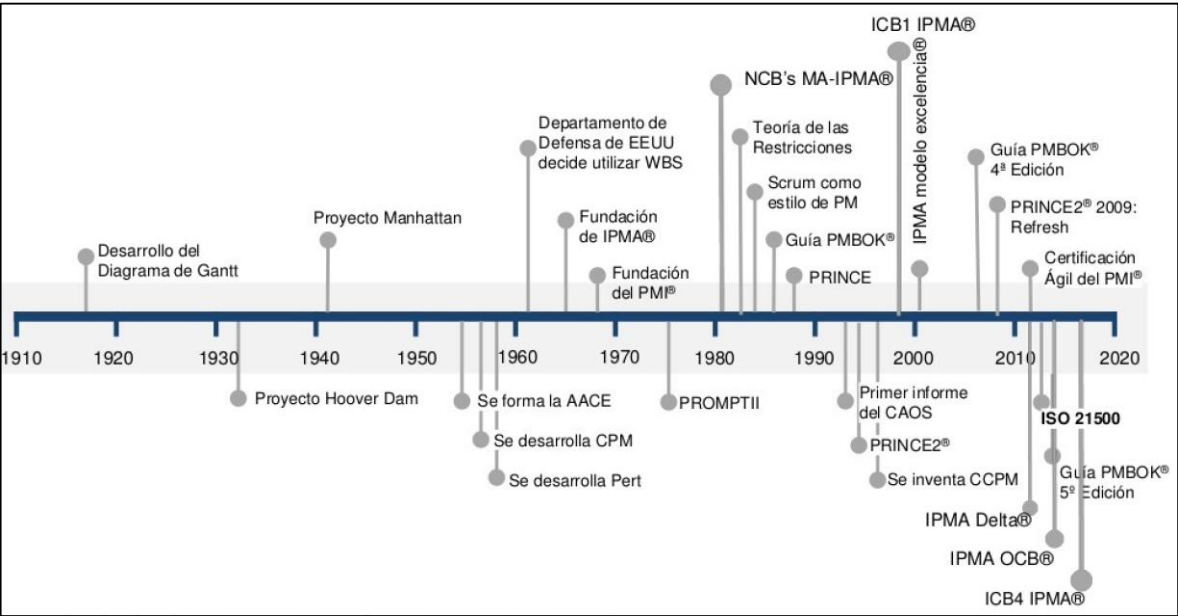


Figura 2.1 Breve Historia de la Dirección de Proyectos.
(Fuente: Duncan Haughey, 2016)

2.4 MARCO CONCEPTUAL

2.4.1 Riesgo del Proyecto.

El riesgo del proyecto es un evento o condición incierta que, si ocurriera, tiene un efecto positivo o negativo en uno o varios, objetivo(s) del proyecto

2.4.2 Geotecnia (o Ingeniería Geotécnica).

Es la rama de la Geología aplicada que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del medio geológico, aplicadas a las obras de Ingeniería Civil.

2.4.3 Gestión del Riesgo

Es el proceso de identificar, analizar, planificar la respuesta a los riesgos, así como su monitoreo y control en un proyecto.

2.4.4 Interesados (Stakeholders)

Se refiere a todas aquellas personas u organizaciones afectadas por las actividades y las decisiones de un proyecto o empresa.

2.4.5 Juicio Experto

Es un conjunto de opiniones emitidas por profesionales expertos en una industria o materia, relacionadas con el proyecto que se está desarrollando.

2.4.6 Rajo Abierto (Open Pit).

Método de explotación minera superficial que se basa en la extracción de materiales mineralizados de forma masiva. Se utiliza cuando los depósitos de minerales comercialmente útiles o la roca se encuentran cerca de la superficie, es decir, cuando es relativamente fina la capa de material superficial o el material de interés es estructuralmente inadecuado para hacer un túnel (como ocurre con la arena, la ceniza, y la grava).

2.5 MARCO LEGAL

2.5.1 Interno

- Reglamento Interno de Higiene y Seguridad.
- Código del Trabajo.
- Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad, RIOHS.
- Sistema de Inversión de Capital DCH (SIC)
- Procedimiento General de Análisis de Riesgo de Codelco Chile.

2.5.2 Externo

- Decreto Supremo N° 72, diciembre de 2002 – Reglamento de Seguridad Minera
- Decreto Supremo N° 132, febrero de 2004 - Reglamento de Seguridad Minera
- Nuevo Título XV Reglamento de Seguridad Minera
- Ley N° 19.300 Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente
- Ley N° 16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales

2.6 MARCO TEÓRICO

2.6.1 Cuadro Sinóptico de las Teorías Empleadas.

Las teorías que se proponen utilizar en la presente investigación son:

- Modelo de Madurez
- Modelos de Gestión
- Modelos de Gestión de Riesgos
- Modelos de Competencias

A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas:

2.6.2 Modelo de Madurez

Los modelos de madurez ayudan a las empresas a:

- Identificar las mejores prácticas.
- Identificar sus capacidades en la gestión de proyectos.
- Identificar brechas o debilidades.
- Progresar en el desarrollo y mejora continua de sus procesos.
- Avanzar en la ejecución de sus planes estratégicos.

...”Los modelos de madurez en administración de proyectos pueden ser utilizados para dar soporte a las empresas que realizan planeamiento estratégico y que buscan excelencia en su administración, los mismos permiten alcanzar madurez y excelencia en un periodo razonable de tiempo” (Kerzner, 2001)

El Project Management Institute define un Modelo de Madurez como un marco de referencia conceptual que define niveles de madurez en ciertas áreas de interés. (PMI, 2003)

2.6.3 Modelos de Gestión

Un modelo de gestión es un esquema o marco de referencia para la administración de una entidad. Los modelos de gestión pueden ser aplicados tanto en las empresas y negocios privados como en la administración pública.

El modelo de gestión que utilizan las organizaciones públicas es diferente al modelo de gestión del ámbito privado. Mientras el segundo se basa en la obtención de ganancias económicas, el primero pone en juego otras cuestiones, como el bienestar social de la población.

2.6.4 Modelos de Gestión de Riesgos

Los riesgos son sucesos probables, que todavía no se han producido y que, en caso de producirse, tendrían un efecto negativo o positivo en el proyecto. Cada proyecto confronta riesgos.

Mediante la gestión de riesgos, se procura eliminar los riesgos negativos o minimizar su influencia en el proyecto y viceversa con los riesgos positivos. Para ello, el PMI propone las siguientes etapas:

1. Planificar la Gestión de Riesgos
2. Identificar los Riesgos
3. Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos
4. Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos
5. Planificar la Respuesta a los Riesgos
6. Monitorear y Controlar los Riesgos

2.6.5 Modelos de Competencias

El Project Management Institute (PMI) establece en su estándar global Marco de Desarrollo de Competencias del Gerente de Proyectos (PMCD Framework) tres dimensiones de competencias claves que impactan en el desempeño del Gerente de Proyecto (conocimiento, desempeño y destrezas personales), a las cuales se agregan otras dos dimensiones referidas al tipo de organización, y al tipo de mercado e industria.



Figura 2.2 Modelo de Competencias.
(Fuente: Adaptado de PMCD Framework PMI, 2007)

Se define como Competencias al conjunto de conocimientos, actitudes, habilidades, y otras características personales que afectan una parte fundamental del trabajo de una persona.

Puede ser definida, correlacionada con las tareas, medida contra estándares, y puede ser mejorada por medio de entrenamiento y desarrollo.

CAPÍTULO III

DEFINICIÓN Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN.

En los capítulos anteriores se han definido el área principal y sub área de investigación, siendo respectivamente la “Gestión de Plazos, Costo y Riesgos” y “Gestión de Riesgo del Proyecto”, además del alcance de la investigación que es proponer la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos mineros de un proyecto de explotación minera a rajo abierto. El entregable será un documento (guía) con la metodología propuesta para la gestión de los riesgos geotécnicos mineros de los proyectos que se encuentren en la etapa descrita.

Lo anterior debido a que las organizaciones que se enfrenten a este tipo de explotación, requieren evaluar los riesgos geotécnicos mineros de las distintas fases con la debida anticipación, a través de los modelos e información geotécnica del proyecto. Entonces el gran desafío del área de geotecnia es el de contar con modelos geotécnicos con la información suficiente, tanto en cantidad como en calidad (grado de confiabilidad), con el objetivo de poder identificar (de forma anticipada), evitar, mitigar y/o eliminar posibles desviaciones por no tener una buena base de información de parámetros geotécnicos. Todo esto puede exponer al proyecto a sufrir grandes desviaciones (ya sea en plazo, costo o alcance) o tener resultados no deseado. En la siguiente figura se presenta la secuencia propuesta para el desarrollo de la presente tesis.

En el presente capítulo se muestra la aplicación de la metodología del caso (Yin, 2002), con la aplicación del método de investigación y recopilación bibliográfica. El método de estudio seleccionado es del tipo descriptivo, se pretende identificar determinados elementos y características de hechos y situaciones. Para cumplir con este objetivo se ha considerado los métodos de observación, inductivo y analítico para poder explicar el problema. En la Figura

3.1 se aprecia esta secuencia que es propuesta para el desarrollo de la presente tesis.



Figura 3.1 Metodología de la investigación
(Fuente: Alvarado, 2015)

Según los apuntes correspondientes a la asignatura de Proyecto de Tesis I: El método del caso en una investigación es pertinente de acuerdo a Yin (2002) cuando se cumplen los siguientes aspectos:

- Al plantearse preguntas del tipo “Cómo?” o “Por qué?” acerca de una serie de eventos contemporáneos sobre los cuales el investigador tiene poco o nada de control (Yin, 2002).

Yin (2002), ha clasificado los diferentes tipos de estudios de casos en:

- Exploratorio, Descriptivo y Explicativo

La presente investigación empírica se respaldará en el método del caso Descriptivo, ya que someterá a un trabajo de campo las hipótesis generales y las proposiciones generadas a partir de las diversas teorías entre las cuales se destacan.

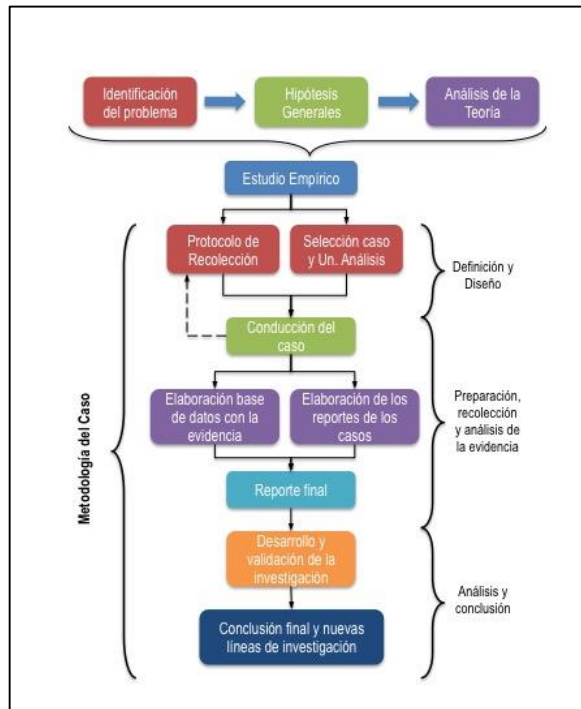


Figura 3.2 Metodología del Caso
(Fuente: Alvarado, 2005)

De acuerdo a la figura anterior, la metodología del caso, de acuerdo a Yin (2002), incluye tres etapas:

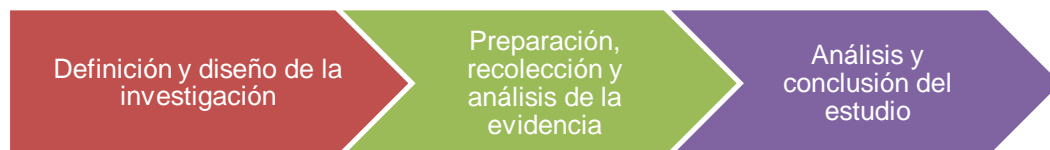


Figura 3.3 Etapas de la metodología del caso
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

En las siguientes secciones se desarrollarán y explicarán cada una de estas fases aplicadas al proyecto de investigación, las cuales desarrollan una serie de recomendaciones y procedimientos de modo que se pueda realizar adecuadamente el estudio del caso.

3.2 DEFINICIÓN Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.2.1 Componentes del diseño de la investigación

Para los estudios de caso, según Yin (2002), son cinco los componentes importantes de un diseño de investigación:

1. Las preguntas del estudio
2. Las proposiciones teóricas
3. Las unidades de análisis
4. Los datos relacionados a las proposiciones
5. Los criterios para interpretar los resultados de la investigación

3.2.1.1 Preguntas del estudio

Se refiere al planteamiento de las preguntas o problemas de investigación. La estrategia del estudio del caso es apropiado para las preguntas del tipo “¿Cómo...?” y “¿Por qué ...?”.

A continuación se presentan las preguntas o problemas de investigación planteados al inicio de este proyecto de investigación

Pregunta General de la Investigación

- ¿Cómo puedo gestionar de forma más eficiente los riesgos (mineros) del proyecto, desde un punto de vista geotécnico, que afectan a la seguridad, producción y costos del proyecto?

Preguntas específicas de la investigación:

- ¿Cómo asegurar que el proyecto cuenta con la información geotécnica más adecuada para la toma de decisiones?
- ¿Cómo asegurar la transferencia de las lecciones aprendidas, especialmente desde un punto de vista geotécnico, de una fase a otra del proyecto y de proyectos similares?

- ¿Cómo asegurar que se considere los recursos humanos, técnicos y financieros que requiere el proyecto en sus diferentes etapas?
- ¿Cómo gestionar el conocimiento y captar el conocimiento del capital humano?

Estas preguntas capturan lo que realmente interesa responder, sin embargo, dichas preguntas no apuntan a lo que se debería estudiar. Las proposiciones teóricas son las que conducen al fenómeno que se debería estudiar. En la siguiente sección se trata este tema.

3.2.1.2 Proposiciones teóricas

En este segundo componente cada proposición dirige su atención hacia algo que debería ser examinado dentro del alcance del estudio. Yin (2002) indica que el investigador se debe esforzar para indicar algunas proposiciones que lo lleven en una dirección correcta. Bajo este contexto las proposiciones de esta investigación provienen de las siguientes fuentes:

- Desde las hipótesis generales de la investigación
- Desde el marco teórico desarrollado

En coherencia con la revisión bibliográfica y en función a las preguntas de investigación se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis Primer Grado

- Implementar la metodología de Gestión de Riesgo del PMI ayudará a identificar, analizar y planificar las respuestas de los riesgos geotécnicos mineros del proyecto.
- Implementar una metodología de Gestión del Conocimiento permitirá la transmisión de lecciones aprendidas, minimizando los riesgos, así como a lograr que el proyecto se desarrolle en los plazos y costos establecidos.

Hipótesis Segundo Grado

- Una correcta gestión de riesgos geotécnicos asegura contar con los recursos humanos, técnicos y financieros adecuados, lo que impactará directamente en la seguridad de los trabajadores y trabajadoras, además de ayudar a cumplir las metas de costos y plazos del proyecto (cumplir el plan minero).

Acorde al análisis del marco teórico se plantean las siguientes proposiciones teóricas y asociado a ellas se definen los factores de análisis, las cuales están definidas en la siguiente tabla.

PROPOSICIONES	FACTORES DE ANÁLISIS
Una adecuada metodología para la gestión del riesgo geotécnico me permite una correcta identificación y priorización de los riesgos geotécnicos mineros en las diferentes fases del proyecto.	Análisis interno y externo de documentos técnicos relacionados a riesgos geotécnicos en las diferentes etapas de un proyecto mineros.
Una adecuada documentación de lecciones aprendidas me permite mejor gestión de los riesgos geotécnicos del proyecto.	Lecciones aprendidas de etapas anteriores y otros proyectos similares.
Una adecuada evaluación a la madurez de la organización me permite determinar las brechas en el equipo encargado de la información geotécnica del proyecto.	Determinar el grado de madurez de la organización y del equipo encargado de la información geotécnica. Determinar la capacidad de liderazgo
Una adecuada asignación de recursos financieros, técnicos y humanos para la generación y análisis de la información geotécnica base me permite asegurar el correcto análisis de la información.	Revisar las metodologías utilizadas para la definición de los diferentes recursos.

Tabla 3.1 Proposiciones teóricas y sus factores de análisis
(Fuente: Adaptado desde Alvarado, 2015)

3.2.1.3 Unidades de análisis

La unidad de análisis es donde se reúne la información de los individuos que formarán parte del estudio del caso. Las unidades consideradas en el presente estudio corresponden:

1. Superintendencia de Geotecnia de DMH
2. Superintendencias de Geotecnia de otras Divisiones de Codelco.

3. Expertos Externos que estén o hayan estado relacionados con proyectos de estas características.

En las diferentes Divisiones, la Superintendencia de Geotecnia es la encargada de capturar, analizar y entregar la información geotécnica base para el proyecto, todo este proceso generalmente es apoyado por expertos externos, quienes revisan gran parte de la información. Esta información es entregada al área de Diseño Geotécnico para la delineación de las siguientes fases, posteriormente el área de Planificación de Corto Plazo realiza la secuencia extractiva para finalmente la parte operativa (Operaciones Mina) implemente los respectivos diseños.

3.2.1.4 Datos relacionados a las proposiciones

En este punto se realizará una contrastación empírica de la teoría, para tal objetivo se evaluarán cada una de las proposiciones e interrelaciones derivadas a partir del marco teórico.

Proposición 1.- Una adecuada evaluación de la madurez del área encargada de la evaluación del riesgo geotécnico minero me permite conocer la realidad interna de la organización a ese nivel. En este punto se realizará un estudio sobre la madurez de la superintendencia en la que se trabajará.

Proposición 2.- Una adecuada gestión de la superintendencia me permite cumplir con los requerimientos solicitados por el proyecto: En este punto se realizará un estudio sobre la gestión de la superintendencia respecto a los plazos utilizados y calidad de información entregada.

Proposición 3.- Una adecuada metodología para la gestión del riesgo geotécnico minero me permite una correcta identificación, anticipación y priorización de los riesgos geotécnicos. En este punto se evaluará la gestión sobre los riesgos geotécnicos mineros identificados y no identificados.

Proposición 4.- Una adecuado modelo de competencias nos asegura contar con el personal idóneo para la gestión del riesgo geotécnico minero: Aquí se

evaluará las competencias actuales y las requeridas por los entes encargados de la información y evaluación del riesgo geotécnico.

3.2.1.5 Criterios para interpretar los resultados de la investigación

A partir del marco teórico, en el cual se plantea una serie de proposiciones, se tendrán que desarrollar una serie de preguntas que tendrán que considerarse en diferentes herramientas que capturarán el conocimiento empírico para el caso. En función de dicha información se procederá a validar o a rechazar las proposiciones, conformándose finalmente el entregable de la investigación, el cual contará con un respaldo tanto de tipo teórico como de tipo empírico.

3.2.2 El desarrollo de la teoría en el diseño del trabajo

Para la elaboración de la guía para la gestión de riesgo geotécnico, el presente trabajo de investigación se basa en una adaptación al caso de riesgos geotécnicos mineros, de la metodología de Gestión de Riesgo propuesta por el PMI y sus 6 etapas.

1. Planificar la Gestión de Riesgos
2. Identificar los Riesgos
3. Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos
4. Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos
5. Planificar la Respuesta a los Riesgos
6. Monitorear y Controlar los Riesgos

De igual forma, durante el desarrollo de la investigación también se pretende explorar otras metodologías de evaluación del riesgo, como la del IPMA por ejemplo.

3.2.3 Criterios para juzgar la calidad del diseño de la investigación

De acuerdo a Yin (2003), cuatro pruebas han sido comúnmente usadas para establecer la calidad de algunas investigaciones sociales empíricas, dentro

de ellas se incluye el estudio de casos. En la siguiente tabla se muestran las pruebas a que se someterá la presente investigación. (Yin, 2002)

Prueba	Táctica del Estudio del Caso	Fase de la Investigación en que la táctica ocurre
Validez de la Construcción	Uso de múltiples fuentes de evidencia Establecer cadenas de evidencia Tener informadores claves que revisen el borrador del reporte del estudio del caso	Recolección de datos Recolección de datos Composición
Validez Interna	Hacer una comparación de modelos Hacer una construcción de explicaciones Dirigir las explicaciones rivales Usar modelos lógicos	Análisis de datos Análisis de datos Análisis de datos Análisis de datos
Validez Externa	Usar la teoría en estudios de un caso Usar la replicación lógica en múltiples estudios del caso	Diseño de la investigación Diseño de la investigación
Fiabilidad	Usar un protocolo en el estudio del caso Desarrollar una base de datos del estudio del caso	Recolección de datos Recolección de datos

Tabla 3.2 Tácticas del estudio del caso para las cuatro pruebas de diseño aplicadas en investigación.

(Fuente: Adaptado desde Cosmos Corporation, 2018)

Además de los datos configurados en la tabla anterior Yin (2002) da a conocer las definiciones de cada prueba para el diseño del estudio del caso. A continuación se presenta un resumen de las pruebas que serán aplicadas en la investigación.

3.2.3.1 Validez de la construcción

Se consideraran para la presente investigación, las tres tácticas recomendadas para la validez de la construcción, es decir, se utilizarán las siguientes tácticas:

- a) La utilización de múltiples fuentes de evidencia. Las principales fuentes de evidencia serán: gerentes, directores, superintendentes, especialistas geotécnicos.

- b) Establecer cadenas de evidencia para cada caso considerado en la investigación.
- c) Se establecerá para cada caso, un grupo de “informadores y colaboradores” claves, para que revisen el borrador del reporte del estudio de cada uno de los casos.

3.2.3.2 Validez interna

La presente investigación tiene contemplado realizar la contrastación del modelo teórico y la construcción de explicaciones como principales fuentes para la prueba de validez interna.

3.2.3.3 Validez externa

El uso de la teoría en cada uno de los casos únicos a analizar y la utilización de la replicación lógica entre los resultados de los casos, serán las tácticas a través de las cuales se piensa verificar la validez externa en la presente investigación.

3.2.3.4 Fiabilidad

La realización de un protocolo del estudio del caso y el desarrollo de una base de datos del estudio (para cada caso) serán los elementos presentados para garantizar la fiabilidad de la investigación.

3.2.4 Diseño del Estudio del Caso

3.2.4.1 Diseño de Caso Acoplado

“Nombre del caso: Propuesta para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos mineros aplicados a proyectos de explotación minera tipo rajo abierto.”

La presente investigación es del tipo simple, el diseño del caso corresponde a un “caso representativo o típico”, donde el objetivo es capturar las circunstancias y condiciones de una situación común (Yin, 2002).

Las 3 unidades de análisis corresponden a las Superintendencias de Geotecnia de la División Ministro Hales, de otras Divisiones y expertos externos relacionados al tema de investigación. Todas estas unidades cuentan con un área de geotecnia, encargada de capturar y analizar toda la información base del proyecto.



Figura 3.4 Diseño simple, acoplado o integrado
(Fuente: Elaboración propia a partir de Yin, 2002)

Como la presente investigación se apoya en un diseño de caso acoplado, el estudio contempla la realización de encuestas y entrevistas en cada unidad de análisis del caso.

Las razones por las cuales se escogieron las entidades correspondientes a las unidades principales de análisis, serán dadas a conocer en el protocolo del caso.

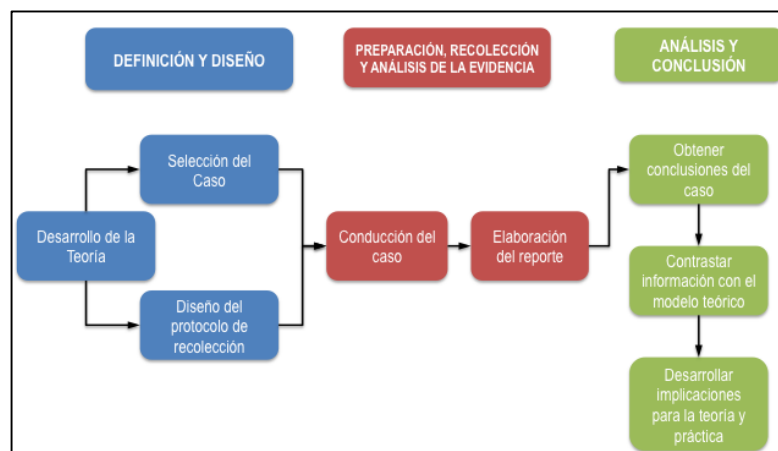


Figura 3.5 Metodología de investigación del trabajo empírico.
(Fuente: Adaptado a partir de Yin, 2002)

3.3 CONDUCCIÓN DE LOS CASOS

En el desarrollo de cada uno de los estudios empíricos se tomará una actitud positiva ante cualquier cambio que sea aconsejable para el mejor desarrollo del estudio, por ejemplo a nivel de los instrumentos de evaluación, tales como las entrevistas y las encuestas a las diversas unidades de análisis.

3.3.1 Adiestramiento y preparación para un estudio del caso específico

Para éxito en el estudio del caso, la investigación considera la elaboración de un protocolo de estudio del caso, este documento expone los pasos a seguir según lo propuesto por Yin (2002).

3.3.2 Desarrollo del caso piloto

En esta investigación, el desarrollo del caso piloto consiste en validar y aplicar las encuestas en primera instancia al encargado de la información geotécnica. A través de este proceso se validará la pertinencia de cada una de las preguntas y se modificarán para mejorar su entendimiento al momento de aplicarla al resto de las unidades.

Las razones para la selección del caso piloto corresponden a la visión general que posee el encargado de la información, y el aporte significativo que puede realizar para mejorar el proceso identificación, obtención y análisis de información.

3.3.3 Recolección de la evidencia

Los principales instrumentos para la recolección de evidencias utilizados en la presente investigación, serán entrevistas a personas claves y encuestas a miembros de cada unidad de análisis.

También se está considerando realizar observaciones en terreno durante el desarrollo del proyecto, para tener la oportunidad de capturar eventos importantes

relacionados con el tema de investigación. Finalmente las observaciones también incluirán la revisión de registros de otras empresas, informes de lecciones aprendidas de etapas anteriores u otros proyectos y bibliografía técnica específica.

3.3.3.1 Entrevistas y Encuestas

La investigación ha contemplado la realización de los siguientes tipos de entrevistas:

- Entrevista al Superintendente de Geotecnia y Jefes de área de la Superintendencia de Geotecnia DMH.
- Encuestas a Superintendentes de Geotecnia de otras Divisiones.
- Entrevistas a expertos (geotécnicos) externos que tengan experiencia asesorando este tipo de proyectos.

Cada uno de estos estudios de campo será detallado en el “Protocolo del caso”, para su realización se ha tenido en cuenta las recomendaciones propuestas por Yin (2002).

3.3.3.2 Observaciones

Considera la asistencia del investigador a las reuniones semanales de operaciones del proyecto, donde se comentan las novedades relevantes, incluidas las geotécnicas. También se considera visitas regulares a las operaciones del proyecto para poder observar los avances en las diferentes fases y el comportamiento de los diferentes diseños considerados en el Plan vigente versus las proyecciones realizadas en los modelos geotécnicos.

3.3.3.3 Documentación

En esta etapa de la investigación se considera la documentación que ha utilizado el investigador para elaborar el marco teórico relacionado a la gestión de riesgos mineros del proyecto y por otro lado considera la documentación técnica generada por etapas anteriores del proyecto o proyectos similares que son previas a la presente investigación, es decir, lecciones aprendidas.

3.3.4 Principios de la recolección de datos

En la recolección de datos se consideró 3 principios relevantes, de acuerdo a la metodología propuesta por Yin (2002), estos son:

- Uso de múltiples fuentes de evidencia
- Crear una base de datos del estudio del caso
- Mantener una cadena de la evidencia

3.3.4.1 Uso de fuentes múltiples de evidencia

La presente investigación considera múltiples fuentes de evidencia, ya que considera personal de la división que se encuentra trabajando en el proyecto, así como también personal técnico de otras divisiones y a expertos asesores externos. El personal considerado en la investigación también se encuentra ocupando distintos niveles de responsabilidad, desde la dirección hasta la toma de información en terreno. Toda la información recolectada será contrastada con el marco teórico estudiado para converger en modelo sólido de una metodología para la gestión del riesgo geotécnico de un proyecto.



Figura 3.6 Convergencia de la evidencia en la investigación (Fuente: Adaptado de Alvarado, 2005)

Fuente de Evidencia	Desarrollo
Entrevistas	A superintendentes y directores de Geotecnia de las diferentes Divisiones de la Zona Norte
Encuestas	Cuestionarios realizados a supervisores y jefes de área de las diferentes unidades de análisis.
Documentos	Planes vigentes. Procedimientos e instructivos. Bases de diseño Estándares Geotécnicos Corporativos.
Informes	Revisiones técnicas (GRB's) Reportes de las fases anteriores del proyecto.

Tabla 3.3 Distintas fuentes de evidencia consideradas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

3.3.4.2 Crear una base de datos del estudio del caso

Se desarrollara una base de datos de toda la evidencia empírica entre las cuales se destacarán los siguientes:

- Resumen de las respuestas por unidad de análisis.
- Resumen de las entrevistas realizadas.
- Resumen de las observaciones realizadas.
- Resumen de los documentos técnicos relevantes revisados.

3.3.4.3 Mantener una cadena de la evidencia

Está considerado en la presente investigación, mantener un proceso de cadena de la evidencia, donde cada conclusión y alcance parcial fundamenta otra conclusión y desarrollo, fundamentando en cada caso, cada uno de los elementos descritos en la Figura 3.7.

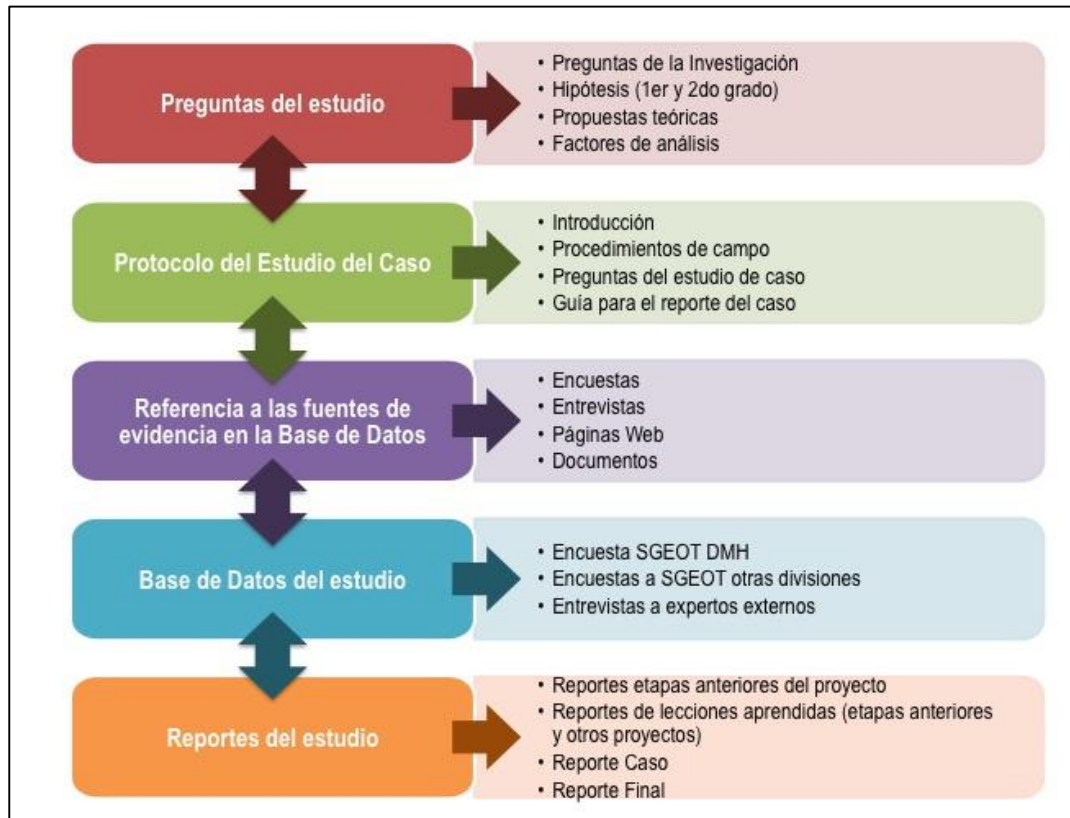


Figura 3.7 Cadena de la evidencia aplicada a la investigación empírica.
 (Fuente: Adaptado desde Yin, 2002)

3.4 EL PROTOCOLO DEL ESTUDIO DEL CASO

“Propuesta para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos del proyecto aplicado a proyectos de explotación minera tipo rajo abierto”

Para poder aumentar la fiabilidad de la investigación y para poder guiar al investigador durante el proceso de recolección de datos se confeccionará un protocolo que estará conformado por cuatro elementos principales:

- Introducción al estudio del caso
- Procedimientos de campo
- Preguntas del estudio
- Reporte del caso

En la Figura 3.8 se muestra en detalle el formato de protocolo para cada caso de la investigación que se está desarrollando.

1. Introducción al estudio del caso y propósitos de protocolo <ul style="list-style-type: none">• Preguntas, hipótesis y proposiciones del estudio.• Estructura teórica para el estudio empírico (modelo teórico).• Carta de introducción, ésta deberá incluir: propósito u objetivo del estudio, personas involucradas en la conducción y apoyo de la investigación, etc.• Razones para la selección de los sitios.
2. Procedimiento de campo <ul style="list-style-type: none">• Datos del sitio a ser visitado, tales como: nombre de los sitios a ser visitados, nombre y cargo de los contactos, otras fuentes de información, etc.• Planificación y programación del plan de recolección de datos.
3. Preguntas del estudio del caso <ul style="list-style-type: none">• Preguntas solicitadas al caso. Estas preguntas deben guiar al investigador durante el estudio de caso• Preguntas solicitadas a entrevistados específicos. Se debe indicar la estructura y duración de cada entrevista.<ul style="list-style-type: none">• Preguntas a los superintendentes (entrevistas)• Preguntas a los líderes de área de la SGEOT - DMH (encuestas entrevistas)• Preguntas a expertos externos (entrevistas)
4. Guía para el reporte del caso

Figura 3.8 Formato de Protocolo para cada caso de la Investigación.
(Fuente: Adaptado desde Yin, 2002)

A continuación se desarrollarán cada uno de los procesos relacionados al protocolo de la investigación, el cual se desarrolló para cada caso, capitalizando la experiencia luego del desarrollo de cada uno de los casos.

3.4.1 Introducción al estudio del caso y propósitos del protocolo.

3.4.1.1 Preguntas, hipótesis y proposiciones del estudio y sus factores de análisis asociado.

Esta información se encuentra ubicada en el título “3.2.1 Componentes del diseño de la investigación” del presente capítulo, donde se encuentra detalladas las preguntas de investigación, las proposiciones teóricas y sus factores de análisis.

3.4.1.2 Estructura teórica para el modelo empírico.

- Estudios de madurez de la organización en identificación y gestión de los riesgos geotécnicos mineros.
- Teoría de recursos, capacidades y la gestión del conocimiento
- Teoría del capital intelectual
- Gestión del Riesgo (Geotécnico Minero)

3.4.1.3 Carta introducción.

La carta introducción tiene por objetivo principal presentar la investigación a cada uno de los encuestados o entrevistados, donde se resalta el propósito y los objetivos de la investigación, además de las personas involucradas en la conducción y apoyo del estudio. En la Figura 3.9 se presenta la carta de introducción.

3.4.1.4 Razones por la selección del Caso y las Unidades de Análisis

La empresa seleccionada para el desarrollo del caso corresponde a una División del distrito norte de la Corporación Nacional del Cobre, es la División más joven que se encuentra operando y explotando un proyecto a rajo abierto (desde 2010). De acuerdo a los futuros planes mineros, las dimensiones de la operación irán incrementando de forma importante, razón por la cual el investigador ve la necesidad de implementar un sistema de gestión de riesgo geotécnico minero para poder dar respuesta a las futuras exigencias de la operación en los temas relacionados a la información base geotécnica.

Actualmente el equipo geotécnico y los servicios asociados toman una gran cantidad de información los cuales no siempre son desarrollados y analizados con el suficiente tiempo y profundidad. También no existe una metodología definida ni mapas de procesos para la gestión de la información relevante del proyecto.

De acuerdo a la estructuración de la investigación, se ha seleccionado una metodología en el caso de estudio, Metodología para la gestión de los riesgos geotécnicos a objeto de identificar y gestionar de la mejor forma posible para poder anticiparse a posibles eventos.

Antofagasta 28 de Julio de 2017.

Sr. *Nombre Apellido1 Apellido2*
Cargo
Nombre de la Superintendencia y la División

Estimado Señor:

El objetivo de la esta carta es presentar a usted la investigación denominada “Propuesta para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos aplicado a proyectos de explotación minera tipo rajo abierto” que se está llevando a cabo como parte del programa de magíster en gestión integral de proyectos de la Universidad Católica del Norte, Antofagasta. Esta actividad de investigación esta dirigida por el Doctor en Ingeniería de Proyectos de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona – España, y académico de la Universidad Católica del Norte, Antofagasta – Chile, señor Luis Alvarado Acuña.

Actualmente, la investigación se encuentra en la fase de estudio de campo, el cual se está respaldando en el método del caso. Por tal motivo, se requiere un acercamiento a usted como persona referente al tema de la investigación, además de que actualmente forma parte de una de las unidades de análisis de la organización del caso. Uno de los principales objetivos de esta fase es recopilar información relevante respecto a la gestión de riesgo geotécnico en las diferentes unidades de análisis, por lo tanto, esta carta está dirigida a directores, superintendentes, jefes de área, supervisores y expertos externos.

Me gustaría solicitar parte de su valioso tiempo, experiencia y paciencia para responder a una serie de preguntas en una entrevista a programar, de acuerdo a su disponibilidad. Su cooperación es esencial para el desarrollo de la presente investigación. Los resultados de este estudio, contenidos en su texto final, estarán a su disposición una vez que esté finalizada la investigación.

Para finalizar, me gustaría expresar mi gratitud por su valiosa cooperación en el desarrollo del presente estudio y quedo a su disposición para cualquier tipo de consulta.

Me despido atentamente, agradeciendo nuevamente su cooperación.

Rodrigo Bautista Aguirre Morales
Geólogo
Aspirante al título de Magíster en Gestión Integral de Proyectos
Universidad Católica del Norte
Antofagasta, Chile

**Figura 3.9 Carta de introducción trabajo de investigación.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)**

- El estudio del caso seleccionado se conducirá con unidades de análisis:
 - Superintendencia de Geotecnia de DMH.
 - Superintendencia de Geotecnia de otras Divisiones.
 - Expertos externos.

La selección de las unidades de análisis es por el involucramiento que existe en el desarrollo de la información geotecnia.

3.4.2 Procedimientos de Campo

Como parte de la investigación, se tiene considerado visitar las diferentes Divisiones del Distrito Norte, División Chuquicamata, División Radomiro Tomic, División Gabriela Mistral, además de la División Ministro Hales, donde se está llevando a cabo esta investigación. En la siguiente tabla se presenta una lista de los contactos considerados en el estudio de campo.

No	Nombre	Apellido	Unidad Análisis	Cargo	Encuesta/Entrevista	División
1	Eric	Lopez	UA1	Superintendente de Geotecnia	Entrevista	DMH
2	Rodrigo	Alvarez de Araya	UA1	Encargado Diseño Geotécnico	Encuesta	DMH
3	Rodrigo	Aguirre	UA1	Encargado de la Caract. Geotécnica	Encuesta	DMH
4	Jorge	Tapia	UA1	Encargado de Geotecnia Operativa	Encuesta	DMH
5	Amaia	Nebreda	UA1	Encargado de la Hidrogeología	Encuesta	DMH
6	Milke	Díaz	UA2	Superintendente de Geotecnia	Entrevista	DCH
7	Rodrigo	Araya	UA2	Jefe de Caract. e Hidrogeología	Encuesta	DCH
8	Claudio	Rojas	UA2	Superintendente de Geotecnia	Entrevista	DRT
9	Diego	Silva	UA2	Encargado de la Caract. Geotécnica	Encuesta	DRT
10	Juan	Oliva	UA2	Superintendente de Geotecnia	Entrevista	DGM
11	Gonzalo	Galindo	UA2	Encargado de la Caract. Geotécnica	Encuesta	DGM
12	Luis	Olivares	UA3	Director de Geotecnia Corporativa	Entrevista	CCM
13	Fernando	Villegas	UA3	Director de Geotecnia	Entrevista	Distrital
14	Danko	Zaro	UA3	Director de Geología	Entrevista	Distrital
15	Claudio	Suarez	UA3	Geólogo Geotécnico Senior	Entrevista	VP
16	José	Blondel	UA3	Geólogo Geotécnico Senior	Entrevista	JBG

**Tabla 3.4 Contactos considerados para la presente investigación.
(Fuente: Elaboración Propia, 2018)**

3.4.3 Preguntas del Estudio del Caso

3.4.3.1 Preguntas solicitadas al caso.

Corresponden a las preguntas de investigación, establecidas por las preguntas generales, de hipótesis y de proposiciones del modelo teórico.

3.4.3.2 Preguntas solicitadas a entrevistados específicos.

Estas preguntas estarán dirigidas principalmente a los profesionales que tienen a cargo las áreas de geotecnia de las diferentes divisiones y a los expertos externos.

- Preguntas a los Superintendentes de Geotecnia de las Divisiones del distrito norte.
- Preguntas a los líderes de área de la SGEOT – DMH.
- Preguntas a expertos externos.

3.4.3.3 Preguntas a los Superintendentes de Geotecnia.

Se estima que las entrevistas durarán una hora y las preguntas están orientadas a aspectos específicos relacionados con la gestión del riesgo geotécnico en proyectos mineros que se encuentren en la etapa de explotación.

Factor de Análisis 1: Nivel de Madurez de la SGEOT – DMH

Para evaluar la madurez del área se adaptó el modelo desarrollado por Kerzner para determinar la madurez en gestión que posee la organización. Se ha enfocado desde un punto de vista de la gestión de los riesgos geotécnicos y considerando sólo el universo de la superintendencia de geotecnia.

También se evaluará mediante el Modelo de Madurez del Manejo de Riesgo en la Industria Minera (MRIM) el cual fue desarrollado considerando los trabajos de Hudson Ladder y la operación Bayside Aluminium, administrada por BHP Billiton, ubicada en Richards Bay, Sud Africa.

Para mayores detalles, ver los Anexos (Modelo de Madurez y Cuadro de Madurez del Manejo de Riesgo de la Industria Minera).

Factor de Análisis 2: Modelo de Gestión de la SGEOT – DMH

Mapa de Procesos

1. ¿Cuenta el área con un modelo de gestión definido?
2. ¿Existe un “mapa de procesos” para su área/superintendencia?
3. Si su respuesta anterior fue “NO”, ¿cree usted que es necesario contar con un mapa de procesos por área?
4. Si su respuesta anterior fue “SI”, ¿cree usted que el mapa de procesos se hace cargo de forma adecuada de los procesos de su área?
5. ¿Cree usted que un buen mapa de procesos mejoraría la gestión en su área?

Definición de las Tareas de cada área

6. ¿Cree usted que están claramente definidas todas las tareas que son responsabilidad de su área?
7. ¿Cuenta con una descripción detallada de cada una de esas tareas?
8. ¿Las tareas definidas para el área cuentan con una clasificación de prioridades?
9. ¿Existen procedimientos y/o instructivos para la ejecución de dichas tareas?
10. ¿Ha participado en la confección y/o revisión/actualización de los procedimientos de su área?
11. ¿Los procedimientos vigentes del área tienen menos de un año desde su última revisión?
12. ¿Cuenta con todas las herramientas tecnológicas (software y hardware) que requiere?

Gestión del Equipo

13. ¿El líder del área mantiene una buena comunicación con el equipo?
14. ¿Se permite una comunicación directa y participación activa de mejora al resto del equipo?

15. ¿Se comunican los planes estratégicos relacionados con el área a todos los miembros del equipo?
16. ¿Se planifican las actividades, se establecen los objetivos y se definen claramente los responsables?
17. ¿Existen revisiones periódicas (reuniones semanales) del avance de las actividades planificadas?
18. ¿Los miembros del equipo cuentan con un plan de actividades generales por gestión con sus correspondientes indicadores?
19. ¿Al final de cada gestión se presentan los resultados correspondientes al desempeño de cada miembro del equipo?
20. ¿Se realizan reconocimientos al personal por su buen desempeño?
21. ¿Cuenta el área con el personal técnico requerido?

Factor de Análisis 3: Gestión del Riesgo (geotécnico) en la SGEOT - DMH

Planificación de la gestión de riesgos (Entrevistas sólo a Superintendentes y Directores)

1. ¿Durante el proceso de diseño de taludes se incluye la planificación de los riesgos geotécnicos?
2. ¿Con que plazo se realiza la planificación de la siguiente fase? ¿es suficiente?
3. ¿Qué parámetros se utilizan para planificar los riesgos geotécnicos?
4. ¿Qué parámetros adicionales cree que podrían considerarse?
5. ¿Se realiza el registro de los interesados (stakeholders)?
6. ¿Se analizan los factores ambientales de la empresa?
7. ¿Cuáles son las técnicas analíticas utilizadas en la planificación del riesgo?
8. ¿Con qué frecuencia se evalúan o revisan los riesgos geotécnicos?

Identificación de riesgos geotécnicos

9. ¿Tiene identificados todos los riesgos geotécnicos que pueden afectar su proyecto (fase)/operación?

10. ¿Existe una base formal de información histórica del conocimiento acumulado para identificar riesgos?

11. ¿Qué técnicas de recopilación se utilizan?

Análisis cualitativo de riesgos

12. ¿Se realiza una priorización de los riesgos geotécnicos identificados para su análisis y/o acción posterior?

13. ¿Existe una evaluación combinada de probabilidad de ocurrencia e impacto de los riesgos geotécnicos?

14. ¿Qué herramientas de análisis de riesgo utiliza?

15. ¿Se documentan las lecciones aprendidas?

16. ¿Las lecciones aprendidas están al alcance de todo el personal?

17. ¿Se utilizan las lecciones aprendidas en el estudio de las siguientes fases?

18. ¿Quién es el responsable de exigir y documentar las lecciones aprendidas?

19. ¿Existe interiorización en el equipo de las lecciones aprendidas?

20. ¿Cómo se almacenan las lecciones aprendidas?

21. ¿Se realizan estadísticas de los principales problemas identificados en cada fase?

22. ¿Los datos entregados son un aporte para el estudio de la siguiente fase?

Análisis cuantitativos de riesgos

23. ¿Se analizan los efectos de los riesgos geotécnicos sobre los objetivos de la operación (por ejemplo plazo, costo)?

24. ¿Qué técnicas y herramientas se utilizan?

25. ¿La operación/proyecto (fase) tiene determinado el nivel de incertidumbre de la información?

26. ¿El área cuenta con una métrica para definir el requerimiento de información mínima de cada input al proceso de diseño de taludes?

27. ¿Se cuenta con la información (modelos) suficiente para la etapa en la que se encuentra la operación/proyecto (fase)?

Planificación de respuesta al riesgo

28. ¿Se analizan las estrategias para riesgos negativos y/o positivos a utilizar según la envergadura de la fase/proyecto?
29. ¿Se analizan las opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas?
30. ¿Quiénes son los encargados de analizar las respuestas a los riesgos?
31. ¿Cuenta el área con un plan de respuesta a los riesgos identificados?

Controlar los riesgos

32. ¿Tiene identificado un rango de opciones para manejar los riesgos?
33. ¿Cuenta con planes de acción para reducir/controlar cada riesgo identificado?
34. ¿Se ha definido una categorización para la implementación de las medidas de control?
35. ¿Existen planes de mitigación?
36. ¿Existe un plan de monitoreo?
37. ¿De que consta la plataforma de monitoreo?

Factor de Análisis: Modelo de Competencias en la SGEOT – DMH

Trabajo en equipo y habilidades gerenciales

1. ¿Se realizan reuniones de equipo para planificar el desarrollo de la información a entregar para el análisis y diseño de las siguientes fases?
2. ¿Se realizan reuniones para revisar las desviaciones de lo proyectado con lo real?
3. ¿Si la respuesta anterior es afirmativa, con que periodicidad?
4. ¿Se plantean acciones correctivas a seguir por parte del equipo para disminuir las desviaciones?
5. ¿Hay cooperación oportuna de la dirección (gerencia) para el control de los riesgos identificados?
6. ¿Tienen los integrantes de su área/superintendencia la posibilidad de asistir a las reuniones gerenciales, exponer los objetivos de las próximas fases y recibir sugerencias?

7. ¿Se recibe de la gerencia y de otras áreas interesadas comentarios y aportes para el desarrollo de los diseños?
8. Cuando su equipo de trabajo solicita información interna o externa a la superintendencia ¿la respuesta está dentro del plazo solicitado?
9. ¿Está la gerencia frecuentemente solicitando información o consultando sobre las desviaciones identificadas?
10. Cuando existen conflictos entre áreas por recursos, espacio o colaboradores, ¿es aplicada una solución equitativa?
11. ¿Los líderes de áreas, se reúnen periódicamente para analizar los puntos negativos de los conflictos y aplicar soluciones?

Recursos y capacidades, y la gestión del conocimiento

12. ¿Está preparado su personal técnico para generar información (modelos, parámetros, evaluación en terreno etc.) para los diseños de las próximas fases?
13. ¿Son sus profesionales calificados y expertos en la metodología utilizada para la generación de la información base y los diseños geotécnicos?
14. ¿Tienen suficiente know-how para generar la información requerida para el desarrollo de los diseños geotécnicos de las siguientes fases?
15. ¿Realizan un control integral de la información base y los diseños proyectados?
16. ¿Tiene su área/superintendencia capacidad de generar información para las fases proyectadas?
17. ¿Considera que son efectivas las relaciones entre las distintas áreas que entregan información para el desarrollo de los diseños geotécnicos?
18. ¿En la elaboración de los diseños geotécnicos de una fase, son identificadas todas las tareas y éstas son jerarquizadas?
19. ¿Para cada tarea en la generación de información para los diseños geotécnicos de una fase, se determina con alto grado de certeza con los recursos humanos y materiales que se tienen?

20. ¿Son documentadas todas las lecciones aprendidas una vez finalizada una etapa (fase)?
21. ¿Existe una etapa de socialización/revisión, antes o durante el desarrollo de una nueva fase, de las lecciones aprendidas en fases anteriores?

3.5 PAUTAS PARA EL ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN DE LA INVERTIGACIÓN A PARTIR DE LA EVIDENCIA

En esta sección se indicará y justificará la estrategia y las técnicas de análisis de la evidencia que se utilizarán en la presente investigación, además, se desarrollan detalladamente los reportes que se generarán a partir de la evidencia.

3.5.1 Estrategia de análisis de la evidencia utilizada en la investigación.

La estrategia de análisis que se utilizará en la presente investigación será “contar con las proposiciones teóricas del estudio” ya que según Yin (2002), *“se utilizará esta estrategia cuando los objetivos originales y diseños del estudio del caso están basados en las proposiciones de la investigación”*

Las proposiciones definieron las preguntas, a partir de ellas se definirán las explicaciones y análisis de resultados. Las encuestas contarán con preguntas cerradas y abiertas, enfocadas principalmente hacia la revisión de la gestión de riesgos en las etapas anteriores del proyecto, específicamente en el área de la geotecnia, además se considerará explorar la gestión de comunicación, trabajo en equipo, madurez del área encargada de la información geotécnica, los recursos capacidades y gestión del conocimiento entre otros.

3.5.2 Técnicas de análisis de la evidencia

Las técnicas de análisis que se utilizará en la presente investigación son: la elaboración de una explicación y la técnica denominada síntesis de casos cruzados. A continuación se detalla cada una de estas técnicas.

3.5.2.1 Elaboración de una explicación

Dado el tipo de metodología del caso del presente trabajo de investigación, tipo explicativo, se escogió este tipo de análisis de la evidencia. Al respecto Yin (2002), plantea que este procedimiento es principalmente relevante en estudios del caso explicativos.

3.5.2.2 Síntesis de casos cruzados

Otra técnica de análisis de la evidencia que se utilizará es la técnica de “Síntesis de casos cruzados”. En este trabajo se utilizará para el análisis de las subunidades de los casos, es decir, las diferentes superintendencias de las otras divisiones. De acuerdo a Yin (2002), una advertencia importante en la conducción de este tipo de síntesis de casos cruzados es que la revisión de las tablas para estos modelos cuente con una fuerte argumentación e interpretación, y no remitirse exclusivamente a cuentas numéricas, por lo que dicha recomendación será tomada en cuenta a la hora de elaborar los reportes con la información cruzando tanto los casos como las sub-unidades.

3.5.3 Utilización de otras herramientas analíticas para el análisis de la evidencia

De acuerdo a las herramientas analíticas descritas y resumidas por Miles y Huberman (1994), en la investigación se considerarán las siguientes:

- Colocar la información en diferentes sentidos.
- Hacer una matriz de categorías y colocar la evidencia dentro de tales categorías.
- Crear esquemas o figuras con los datos.
- Tabular la frecuencia de los diferentes eventos.
- Cumplir los requisitos para una alta calidad de análisis.

De acuerdo a lo expresado por Robert Yin (2002), se seguirán todos y cada uno de los requisitos para una alta calidad del análisis de la evidencia, quien

expone que no importa qué estrategia y técnica de análisis de la evidencia se haya escogido, se deberá hacer todo lo necesario para estar seguro que el análisis sea de alta calidad. Al menos cuatro principios subyacen bajo toda buena investigación en las ciencias sociales y requieren una gran atención.

1. El análisis debería mostrar que se consideraron todas las evidencias.
2. El análisis de la evidencia debería considerar, si es posible, todas las interpretaciones rivales importantes.
3. El análisis de la evidencia debería considerar a los aspectos más importantes del estudio del caso. Se tienen que demostrar las mejores habilidades analíticas enfocadas en la cuestión más importante, preferiblemente definiéndolo al comienzo del estudio del caso.
4. Se debería utilizar el conocimiento experto y previo del investigador en el estudio del caso.

Unidad de Análisis	Elemento a Evaluar Factores de Análisis				Reporte unidad de análisis
	FA1. Madurez del área SGEOT	FA2. Modelo de Gestión de la SGEOT	FA3. Gestión de Riesgo de la SGEOT	FA4. Modelo de Competencias SGEOT	
Análisis cruzado de los Factores					
UA1. SGEOT DMH	Encuestas	Encuestas/ Entrevistas	Encuestas/ Entrevista	Encuestas/ Entrevistas	Reporte área SGEOT DMH
UA2. SGEOT otras Div.	Encuestas	Encuesta	Encuestas/ Entrevista	Encuestas	Reporte área SGEOT otras Div.
UA3. Expertos Externos			Encuestas/ Entrevista	Entrevista	Reporte Expertos Externos
Análisis de los Factores	Reporte Nivel de Madurez	Reporte Modelo de Gestión	Reporte Gestión de Riesgo geotécnicos	Reporte Modelo de Competencias	Reporte General Análisis Empírico

Figura 3.10 Estructura para los Reportes del Caso.

(Fuente: Adaptado desde Alvarado, 2015)

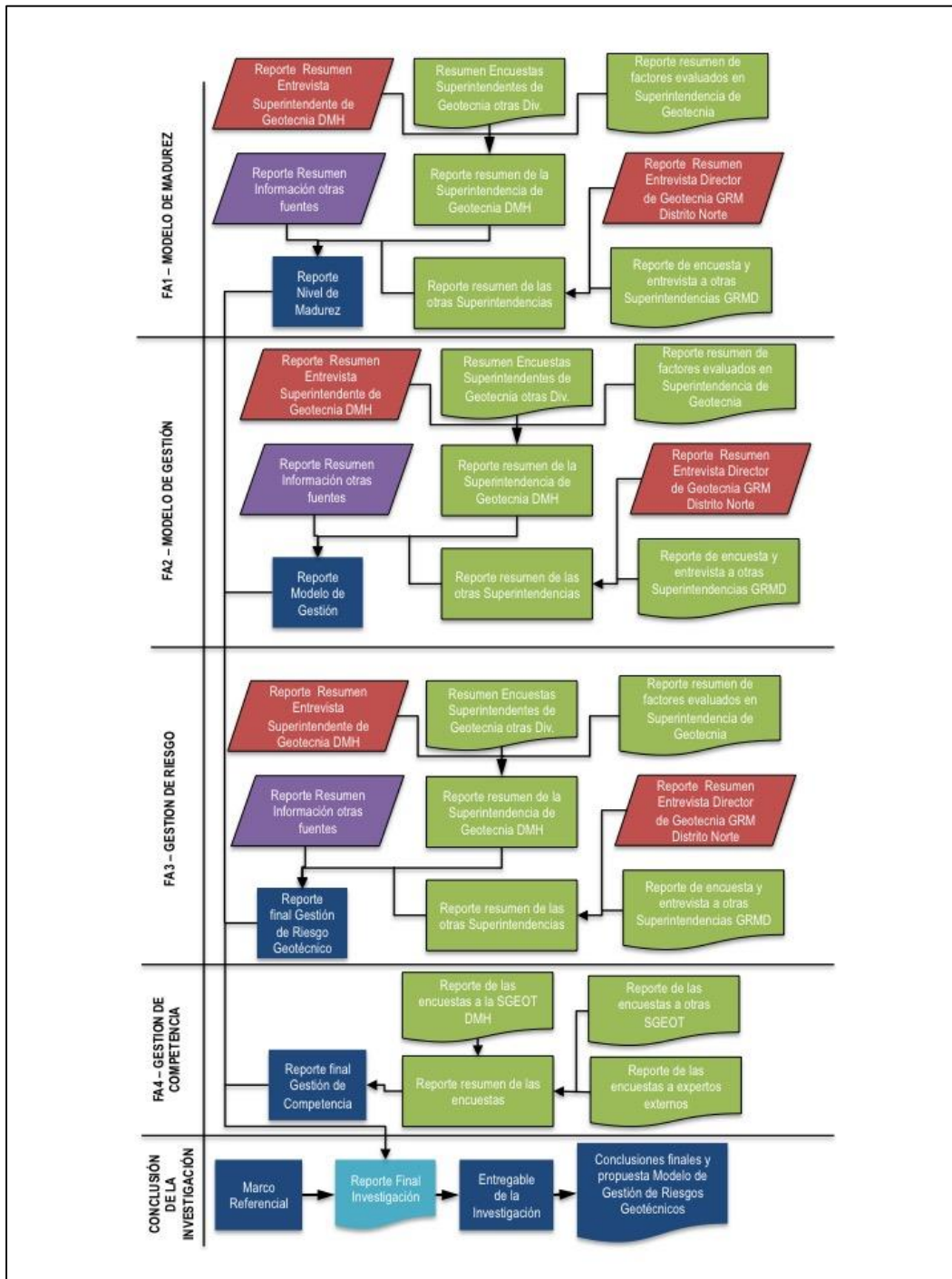


Figura 3.11 Relación de reportes en función del tipo de evidencia.
(Fuente: Adaptado desde Alvarado, 2005)

3.5.4 Desarrollo de reportes en la investigación

El reporte final del caso incluirá las conclusiones obtenidas de la investigación. Este reporte tendrá por finalidad el de apoyar el diseño de un modelo para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos del proyecto, el cual deberá considerarse como base para la evaluación del riesgo geotécnico en las siguientes etapas o en próximos proyectos de estas características.

3.5.4.1 Identificación de la audiencia

La audiencia principal a la cual va dirigida la presente investigación es el mundo académico en que se encuentra inserto este proyecto de investigación, específicamente al Magister en Gestión Integral de Proyectos, doceava edición, programa dictado por la Universidad Católica del Norte, sede Antofagasta. Además se pretende aportar con este trabajo a todas las Divisiones de la Corporación que pasen por una operación similar.

3.5.4.2 Formato para escribir el reporte de la investigación

En el presente trabajo de investigación, por cada unidad de análisis se creará un reporte, el cual considerará la fuente de evidencia de la información, es decir, los reportes estarán en función de cada una de las unidades de análisis, así como del tipo de evidencia. Este tipo de reportes se expresará en múltiples reportes, como se puede observar en la Figura 3.11 Relación de reportes en función del tipo de evidencia.

3.5.4.3 Estructura para la composición de la investigación

Dado que el estudio del caso aplicado a la presente investigación es del tipo explicativo y por el marco en que se desarrolla la presente investigación se ha optado por una estructura para la composición del caso del tipo “Analítica lineal”.

De acuerdo a Yin (2002), en este tipo de estructura la secuencia de los capítulos comienza con el problema que está siendo estudiado y una revisión de la literatura relevante. Luego los otros capítulos proceden a cubrir la metodología

utilizada, los resultados desde el análisis y la recolección de datos, y finalmente las conclusiones e implicaciones de los resultados.

3.5.4.4 Procedimiento estándar para la realización de un reporte

De acuerdo a Yin (2002), para la realización del reporte tres procedimientos importantes corresponden al estudio del caso. A continuación se desarrollarán cada uno de ellos y como han sido cubiertos en la presente investigación.

- a) **Dónde y cómo comenzar la composición del reporte:** La composición del reporte, ha comenzado en la etapa del proyecto de tesis, donde se formularon las hipótesis y donde se desarrolló gran parte del marco teórico de los principales tópicos relacionados con la investigación.
- b) **Identidad de los casos:** Los casos presentes en la investigación serán tratados de una forma abierta. No obstante, no se realizará una identificación explícita de las distintas divisiones y sus respuestas, solamente se identificarán las divisiones que participaron en la investigación.
- c) **La revisión del reporte final del estudio del caso:** De acuerdo a lo expuesto en el protocolo del caso, se tiene contemplado una última entrevista, en la cual se presentará el reporte final a un experto y se esperará para ver su opinión, objeciones y aportes, los cuales se considerarán en el reporte final de la investigación.

3.5.5 Tipos de reportes empelados en el análisis de la evidencia

En esta sección se analizarán los reportes que se derivarán a partir de la evidencia empírica y se indicará el contenido de cada uno de ellos.

En el presente trabajo se realizará los siguientes reportes:

- **Reporte Resumen:** Corresponde al reporte que contiene el análisis a cada una de las unidades, incluirá las repuestas de las encuestas y entrevistas realizadas a los diferentes miembros de los distintos equipos.

- Reporte de Análisis: Corresponde al reporte de los valores promedios obtenidos para las diferentes preguntas agrupadas en los factores. Se pondrá énfasis en la gestión de riesgo de las etapas anteriores, problemas del proyecto relacionados al tema de investigación, gestión y madurez de la comunicación en el equipo encargado de la información base y experiencia de los directores del proyecto y la unidad encargada de la información y análisis geotécnico.
- Reporte del Caso: Corresponde a la metodología que se utilizará en la investigación.
- Reporte final: Corresponde a las conclusiones que se obtienen al final de la investigación, sobre las cuales se basa el investigador para proponer un modelo de gestión de riesgo geotécnico.

CAPÍTULO IV

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

4.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se ha desarrollado con el propósito de presentar los resultados obtenidos luego de realizar las encuestas y entrevistas para evaluar la:

- Madurez del área.
- Modelo de gestión de la Superintendencia de Geotecnia.
- Gestión de riesgo geotécnico de la Superintendencia de Geotecnia y proyectos similares.
- Modelo de competencias de la Superintendencia de Geotecnia.

De igual forma se contempló el análisis de los resultados de las encuestas, entrevistas y otras fuentes de información respecto al tema de la investigación, cuya finalidad fue validar o refutar las proposiciones teóricas que se realizaron en el Capítulo III.

Los resultados obtenidos en las encuestas realizadas son presentados en forma de tablas y gráficos de barras con el porcentaje de respuestas según las alternativas disponibles.

Toda la información generada es adjuntada en los respectivos anexos del presente trabajo de investigación, en este capítulo sólo se presentarán los resultados y resúmenes de los mismos.

4.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO EMPÍRICO

4.2.1 Resultados encuesta madurez del área.

Para evaluar la madurez del área se consideró enfocar desde dos puntos de vista, el primero tiene relación con la madurez del área en administrar y gestionar un proyecto y se utilizó la propuesta resumida de Kezner. El segundo punto de vista tiene relación con el nivel de madurez en el manejo del riesgo

(minero), para lo cual se utilizó la propuesta desarrollada por Joy (2005), la cual se basa en el modelo de 5 niveles desarrollado por Hudson (2001).

4.2.1.1 Madurez del área en el manejo del riesgo (minero)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al evaluar las unidades de análisis 1 y 2 con la tabla de madurez del “Manejo del Riesgo en la Industria Minera (MRIM)”. Según esta tabla, el MRIM se divide en 5 niveles, desde el más bajo denominado “Vulnerable” (nivel 1) hasta el nivel máximo o “Resiliente” (nivel 5), en la Tabla 4.1 se describe brevemente las características de cada nivel.

NIVELES	MADUREZ DEL MRIM	CARACTERÍSTICAS
Nivel 1	Vulnerable	Se acepta que los incidentes ocurran
Nivel 2	Reactiva	Prevenir un incidente similar
Nivel 3	Conforme	Prevenir incidentes antes de que ocurran
Nivel 4	Proactiva	Mejorar los sistemas
Nivel 5	Resiliente	La forma de "hacer" el negocio

Tabla 4.1 Niveles de madurez del Manejo del Riesgo en la Industria Minera (MRIM).

(Fuente: Elaboración Propia, 2018)

La evaluación del MRIM se realizó de dos formas, mediante una tabla de elaboración propia (ver Tabla 4.2), la cual considera los 10 aspectos descritos para la clasificación del Manejo del Riesgo en la Industria Minera. La segunda evaluación fue realizada utilizando la “Herramientas de autoevaluación para MRIM” propuesta en el “Minerals industry safety and health risk management guideline”, en la cual se evalúan 7 aspectos para la identificación del nivel de madurez.

En ambos casos los resultados fueron similares, confirmando el nivel de madurez de las unidades evaluadas, las cuales resultaron entre Proactivas (Nivel 4) a Resilientes (Nivel 5). En ambos casos los resultados son consistentes con la realidad de la industria, especialmente en operaciones de las dimensiones de las unidades evaluadas (gran minería). En la Figura 4.1 se muestra el resultado para

la unidad de análisis 1 (Superintendencia de Geotecnia de la División Ministro Hales), mostrando que en todos los aspectos evaluados la UA1 se mueve entre los niveles 4 a 5. El resto de las evaluaciones son muy similares y se adjuntan en los correspondientes anexos.

Nº	ÁREA EVALUADA MRIM	PUNTAJE
1	Cultura de seguridad	4.5
2	Entrenamiento/Capacitación	4
3	Comunicación	4
4	Involucramiento	4
5	Políticas/Normas	5
6	Análisis de los Riesgos	4.5
7	Cumplimiento de las normas	4.5
8	Uso de EPP	4.5
9	Investigación de incidentes	4
10	Monitoreo y Auditorias	5

Tabla 4.2 Aspectos evaluados para la clasificación de UA1 y UA2 según MRIM.

(Fuente: Elaboración Propia, 2018)

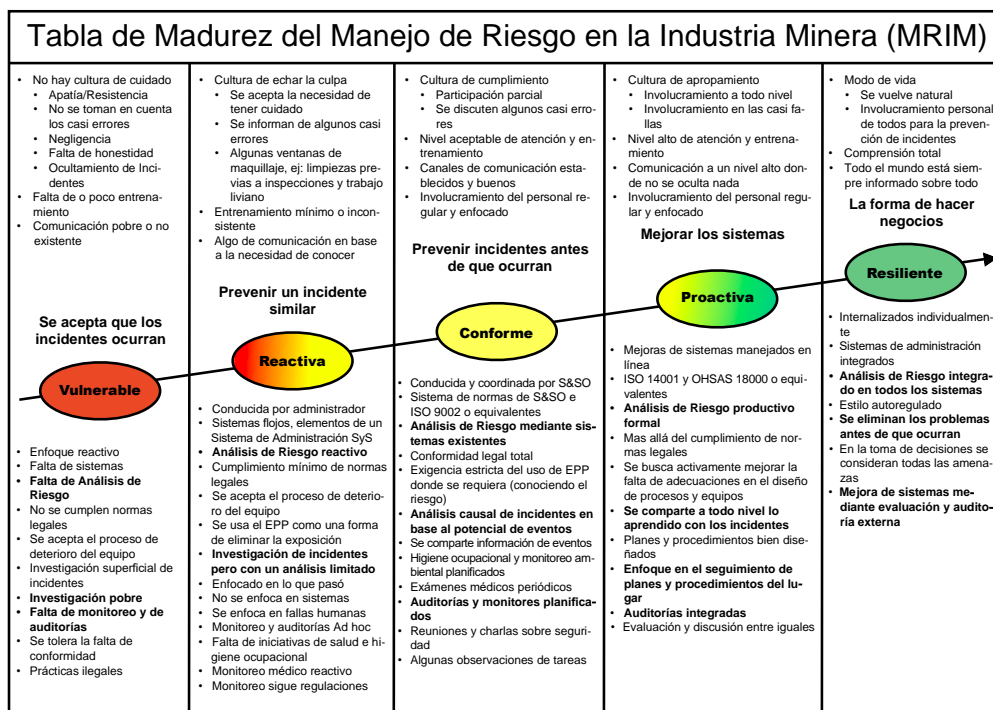


Tabla 4.3 Herramientas de autoevaluación para MRIM.

(Fuente: Minerals Industry Health & Safety Centre AU, 2008)

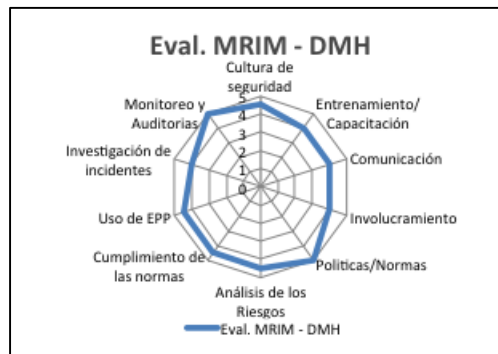


Figura 4.1 Resultado de la Evaluación de Madurez realizada en DMH (Fuente: Elaboración propia, 2018)

4.2.2 Resultados Encuesta Modelo de Gestión de las Unidades de Análisis.

A continuación se presenta el resultado de las encuestas realizadas a las unidades de análisis 1 y 2, encuesta que se enfocó en levantar información referente al modelo de gestión de las unidades mencionadas.

La presente encuesta se realizó a un total de 9 personas, 5 de la UA1 y 4 de la UA2, las cuales trabajan actualmente en las diferentes superintendencias de geotecnia de las divisiones del distrito norte. Los resultados se presentan en tres tablas, las cuales resumen las respuestas obtenidas y se agrupan de acuerdo a las opciones de respuesta que estaban consideradas. La Tabla 4.4 resume los resultados obtenidos de las primeras 12 preguntas que tenían como opción “Sí”, “No” y/o “No se / Parcialmente” (según corresponda). La Tabla 4.5 resume el resultado de las siguientes 7 preguntas, las cuales contaban con 4 opciones de respuestas: “Definitivamente si / Siempre” (según corresponda), “La mayor parte del tiempo”, “A veces”, “Definitivamente no / Nunca” (según corresponda). Finalmente la Tabla 4.6 resume el resultado de la última pregunta respecto a este factor de análisis, la cual tenía tres opciones de respuesta.

FA2. Modelo de Gestión de la SGEOT	UA1			UA2		
	Si	No	No se / Parcialmente	Si	No	No se / Parcialmente
¿Cuenta el área con un modelo de gestión definido?	20%	60%	20%	50%	50%	0%
¿Existe un “mapa de procesos” para su área/superintendencia?	0%	100%		75%	25%	
Si su respuesta anterior fue “NO”, ¿cree usted que es necesario contar con un mapa de procesos por área?	100%	0%		50%	0%	
Si la respuesta 3 fue “SI”, ¿cree usted que el mapa de procesos se hace cargo de forma adecuada de los procesos de su área?	0%	0%	0%	75%	25%	0%
¿Cree usted que un buen mapa de procesos mejoraría la gestión en su área?	100%	0%		100%	0%	
¿Cree usted que están claramente definidas todas las tareas que son responsabilidad de su área?	60%	20%	20%	50%	0%	50%
¿Cuenta con una descripción detallada de cada una de esas tareas?	0%	40%	60%	50%	0%	50%
¿Las tareas definidas para el área cuentan con una clasificación de prioridades?	0%	60%	40%	25%	50%	25%
¿Existen procedimientos y/o instructivos para la ejecución de dichas tareas?	20%	0%	80%	50%	0%	50%
¿Ha participado en la confección y/o revisión/actualización de los procedimientos de su área?	80%	20%		100%	0%	
¿Los procedimientos vigentes del área (al menos uno) tienen menos de un año desde su última revisión?	60%	40%		75%	25%	
¿Se permite una comunicación directa y participación activa de mejora al resto del equipo?	100%	0%		75%	25%	

Tabla 4.4 FA2. Análisis cuantitativo, Modelo de Gestión de la SGEOT Parte I

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

La gestión en las diferentes UA se analiza, inicialmente, en base a la determinación de si el área cuenta o no con procesos formales de gestión, incluyendo la evaluación de la existencia e importancia de los mapas de procesos. En cuanto a la definición de un modelo de gestión formal, los resultados muestran

la mayor parte de las unidades evaluadas no cuentan con un modelo formal de gestión. Respecto a los mapas de procesos, sus beneficios y la definición de responsabilidades, los resultados fueron más homogéneos, coincidiendo entre todas las unidades que contar con un mapa de procesos y una buena definición de responsabilidades tendría un efecto directo y positivo sobre el tema principal de la investigación.

FA2. Modelo de Gestión de la SGEOT	UA1				UA2			
	Definitivamente si	La > parte del tiempo	a veces	Definitivamente no	Definitivamente si	La > parte del tiempo	a veces	Definitivamente no
¿El líder del área mantiene una buena comunicación con el equipo?	0%	60%	20%	20%	25%	50%	0%	25%
¿Se comunican los planes estratégicos relacionados con el área a todos los miembros del equipo?	0%	40%	60%	0%	25%	50%	0%	25%
¿Se planifican las actividades, se establecen los objetivos y se definen claramente los responsables?	0%	60%	40%	0%	25%	25%	50%	0%
¿Existen revisiones periódicas (reuniones semanales) del avance de las actividades planificadas?	0%	40%	60%	0%	50%	25%	25%	0%
¿Los miembros del equipo cuentan con un plan de actividades generales por gestión con sus correspondientes indicadores?	40%	20%	20%	0%	25%	50%	0%	25%
¿Al final de cada gestión se presentan los resultados correspondientes al desempeño de cada miembro del equipo?	40%	0%	60%	0%	75%	0%	0%	25%
¿Se realizan reconocimientos al personal por su buen desempeño?	0%	0%	80%	0%	50%	0%	25%	25%

Tabla 4.5 FA2. Análisis cuantitativo Modelo de Gestión de la SGEOT Parte II.

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Respecto a la comunicación también se observa resultados positivos y bastante homogéneos entre las diferentes unidades de análisis, en ambos casos

la mayor parte del equipo reconoce que en general existe una buena comunicación del líder del área hacia el equipo, sin embargo se ve que hay una oportunidad de mejorar específicamente la comunicación de los planes estratégicos

FA2. Modelo de Gestión de la SGEOT	UA1			UA2		
	Definitivamente si	Si, al límite de sus capacidades	Definitivamente no	Definitivamente si	Si, al límite de sus capacidades	Definitivamente no
¿Cuenta el área con el personal técnico requerido?	0%	100%	0%	20%	60%	0%

Tabla 4.6 FA2. Análisis cuantitativo Modelo de Gestión de la SGEOT Parte III

(Fuente: Elaboración propia, 2018)

En la última parte de la encuesta, se identificó un aspecto muy relevante con la investigación y que está relacionado con la disponibilidad del personal técnico requerido, si bien todos coinciden que las diferentes unidades de análisis cuentan con el personal técnico requerido, todos también coinciden que los recursos están al límite de sus capacidades.

4.2.3 Resultados Encuesta Gestión de los Riesgos Geotécnicos

A continuación se presenta el resultado de las encuestas y entrevistas realizadas a las unidades de análisis 1, 2 y 3, encuesta que se enfocó en levantar información referente al modelo de gestión de riesgo de la SGEOT y proyectos similares. Esta encuesta se realizó a un total de 12 personas, 4 de la UA1, 4 de la UA2 y 4 expertos externos de la UA3, las cuales trabajan actualmente en las diferentes superintendencias de geotecnia de las divisiones del distrito norte y en proyecto similares (en el caso de la UA3).

La investigación arrojó que sólo el 25% identifica que se desarrollan formalmente los 5 procesos de la gestión de riesgo propuesta por el PMI, sin embargo todos los procesos de forma individual son identificados al menos una

vez, a su vez el proceso de identificación de los riesgos (63%) y control de los riesgos (50%) son los más reconocidos.

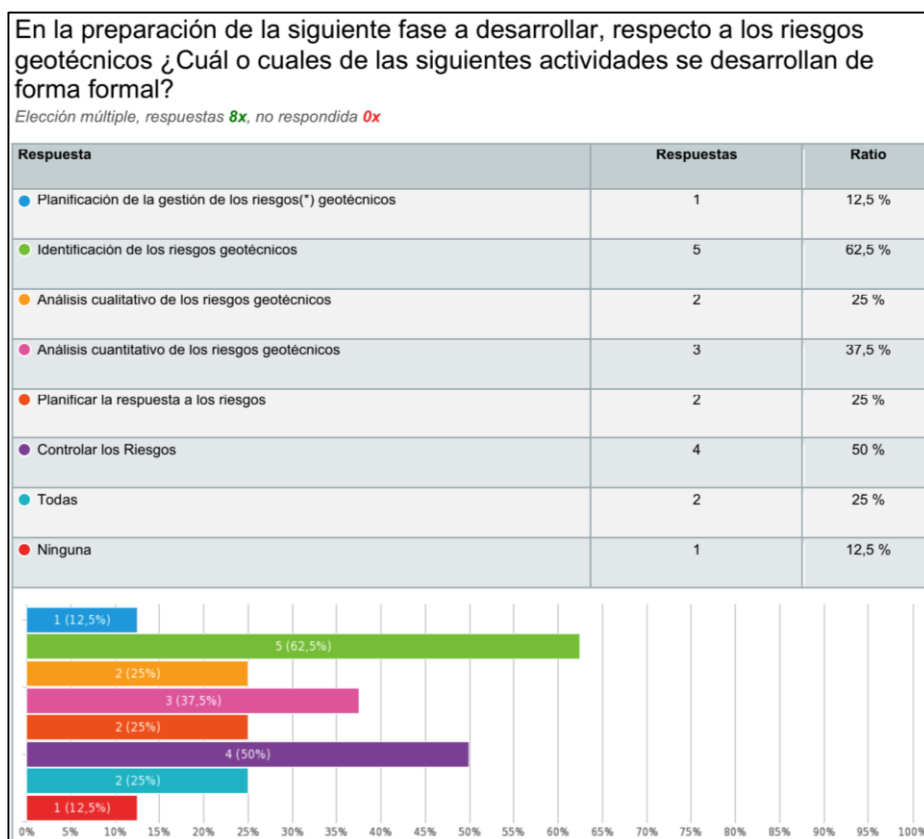


Figura 4.1 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Finalmente de acuerdo al diagnóstico se observa que está el espacio para revisar e implementar un sistema de gestión, esto ayudaría a mejorar los porcentajes de análisis ya sea cualitativo, como cuantitativo, así como también la planificación, todos se encuentran alrededor del 25%. A continuación se presentan los resultados separados por proceso.

Planificación. Consistente con el punto anterior, la evaluación del plazo que existe para planificación y desarrollo de las siguientes fases, la mayor parte de los encuestados (75%) considera que no cuentan con el suficiente plazo para desarrollar esta actividad. El diagnóstico indica que se debe dar más espacio a este proceso.

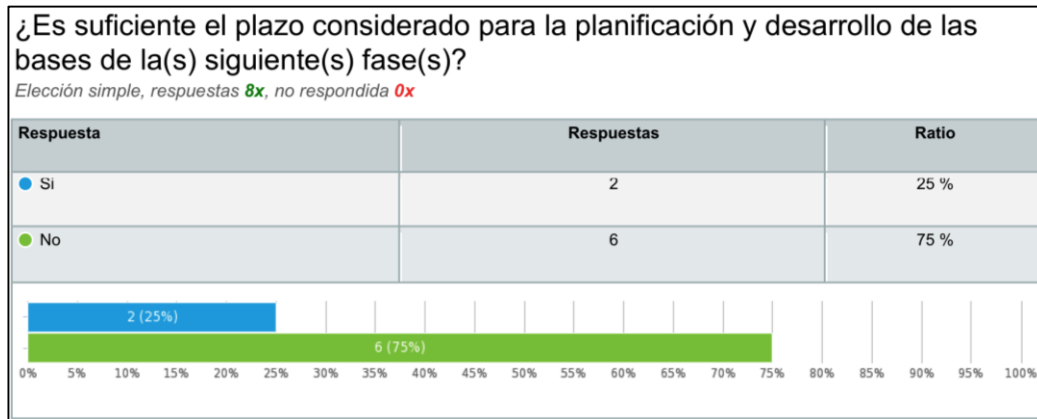


Figura 4.2 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Identificación de los Riesgos. Los resultados muestran que el 50% de los encuestados afirma que todos los riesgos geotécnicos que pueden afectar a las siguiente fases están reconocidos y el otro 50% afirma que no o no todos los riesgos están identificados, esto puede estar relacionado con el nivel de información básica que cuenta cada unidad de análisis, ya que los riesgos geotécnicos están directamente relacionados con el grado de incertidumbre de los modelos geotécnicos. El diagnostico indica que se debe revisar los procesos de identificación de riesgos geotécnicos.

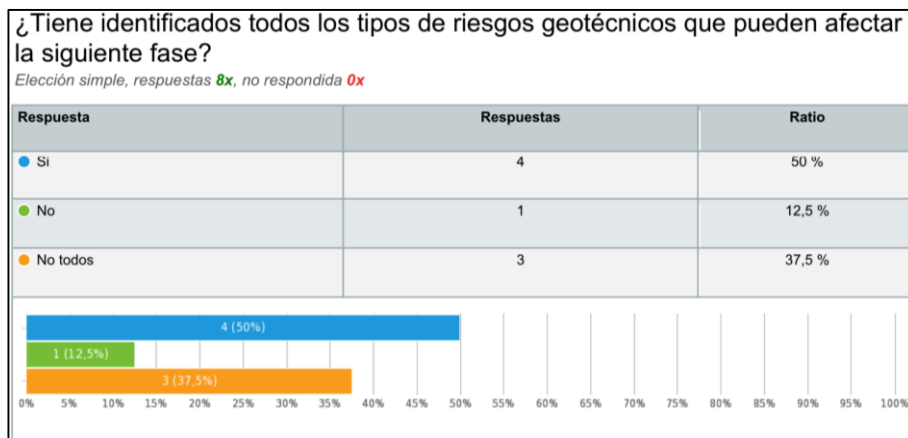


Figura 4.3 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Análisis de los riesgos geotécnicos. Respecto al análisis de los riesgos geotécnicos, las encuestas realizadas arrojaron que la evaluación o revisión de estos se hace al menos cada vez que se requiere (38%), siendo mayormente realizado de forma regular o siempre (50%), la complejidad de la operación puede condicionar la periodicidad de este aspecto, para operaciones que tengan características geotécnicas más favorables la frecuencia de análisis será menor que en operaciones complejas desde un punto de vista geotécnico.

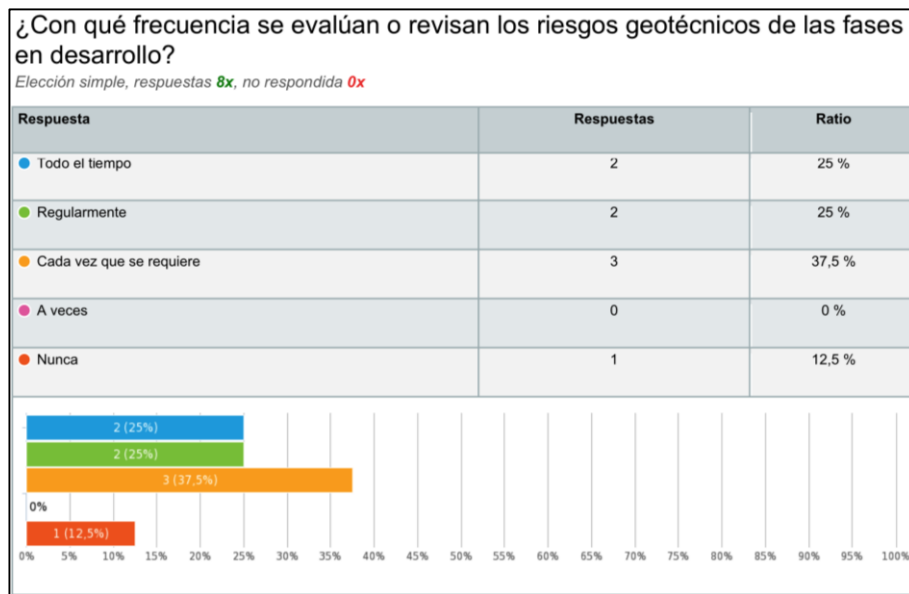


Figura 4.4 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Con relación a la información histórica de los riesgos y/o eventos identificados en fases anteriores, muy importantes en el proceso de análisis de riesgos geotécnicos, especialmente cuando se está planificando el desarrollo de una fase a continuación de una desarrollada previamente, 62.5% de los encuestados no sabe o afirma que no existe una base de datos formal con esta información. El diagnostico indica que se debe revisar este proceso.

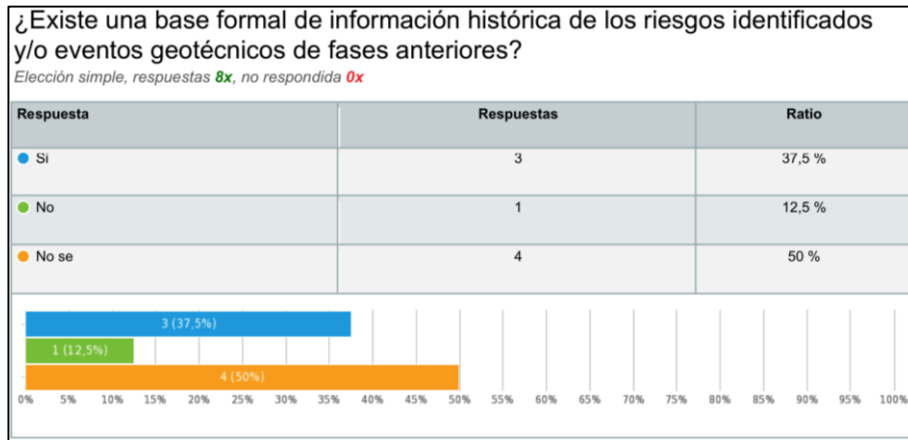


Figura 4.5 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Las técnicas más utilizada para la recopilación y/o análisis geotécnicos fueron la observación directa (87.5%), seguida por el back análisis (75%), las investigaciones científicas y otras técnicas no superan el 12.5%. Para ambas técnicas principales se hace crítico contar con el personal técnico adecuado, dada la complejidad de ambas actividades, además de una base de datos histórica robusta para poder respaldar y consultar cada vez que sea necesario, ya que en base a ella se realizarán los procesos de calibración principalmente. El diagnostico indica que se debe revisar este proceso.

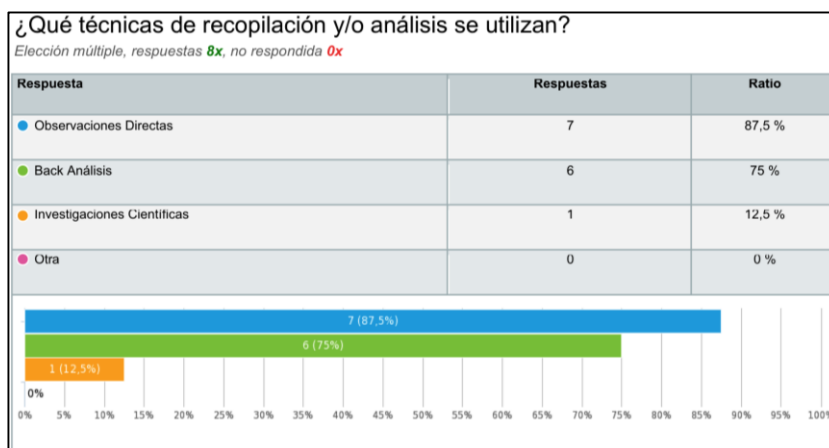


Figura 4.6 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Respecto a las herramientas de análisis del riesgo geotécnico que más se utilizan, el juicio experto fue el más destacado (62,5%), seguido por las técnicas de brainstorming, método Delphi, análisis de impacto y bow tie todos con un 12,5 % y otras con un 37,5%. La herramienta más utilizada indica que todas las unidades de análisis, de alguna forma, se apoyan en expertos externos para realizar los análisis de riesgo geotécnico. El diagnóstico indica que se debe revisar este proceso.

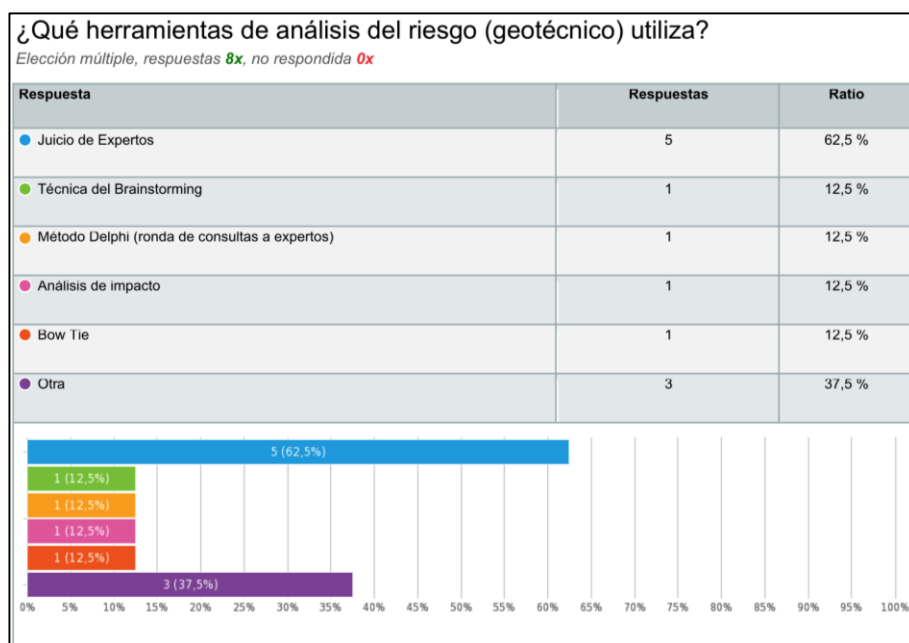


Figura 4.7 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Planificación de los riesgos. Los resultados en la planificación de los riesgos geotécnicos son consistentes con las evaluaciones anteriores. En el proceso de planificación de las siguientes fases el 75% de los consultados afirma que las lecciones aprendidas sólo se utilizan a veces y sólo un 25% afirma que si son parte de la planificación de la siguiente fase. El diagnóstico indica que se debe revisar este proceso.

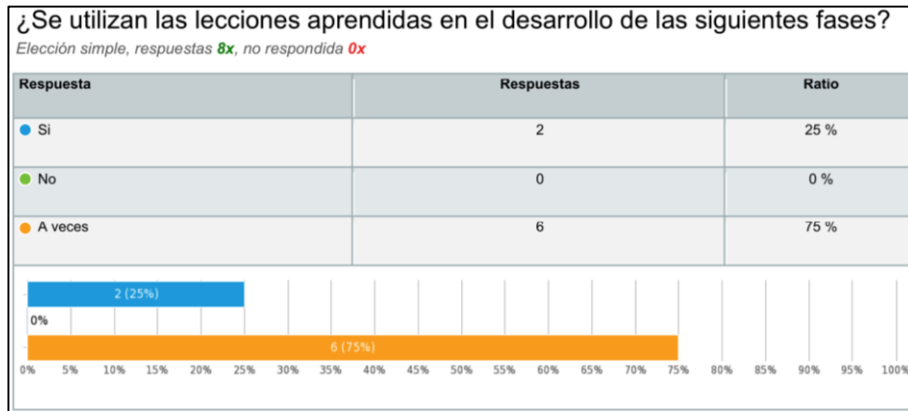


Figura 4.8 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Respecto a la información requerida para la planificación de las siguientes fases, el 50% indica que se cuenta con la información parcial, 25% indica que no se cuenta con la información suficiente y sólo el 25% indica que se cuenta con la información necesaria para planificar la siguiente fase. Este resultado está estrechamente relacionado con la unidad de análisis ya que el nivel de información difiere de un yacimiento a otro. El diagnóstico indica que se debe revisar este proceso.

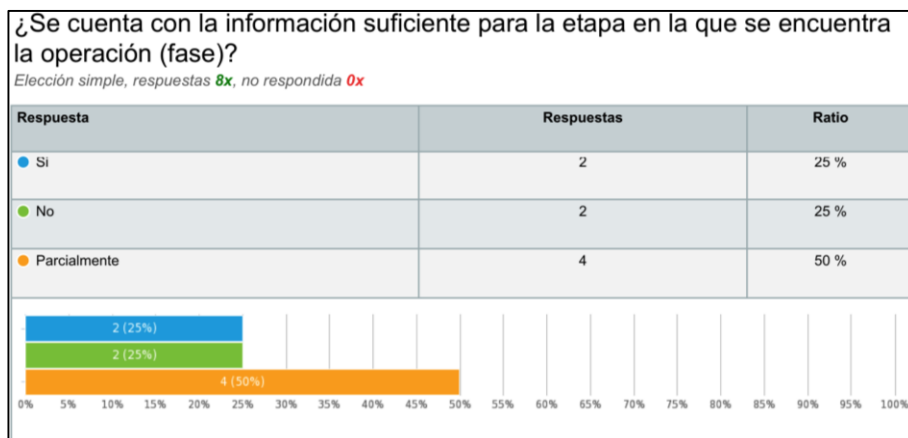


Figura 4.9 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Con relación al nivel de confiabilidad de la información requerida para la planificación de las siguientes fases, el 75% de los encuestados indica que el nivel de confiabilidad de la información está parcialmente determinada. El diagnóstico indica que se debe revisar este proceso.



Figura 4.10 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Respecto a la relación de la información mínima requerida y su impacto con la posibilidad de anticipar o identificar los riesgos geotécnicos, el 87.5% concuerda que no contar con el mínimo requerido impacta directamente en la posibilidad de anticiparnos. En base a este resultado y considerando la información anterior, el diagnóstico indica que se debe revisar este proceso.

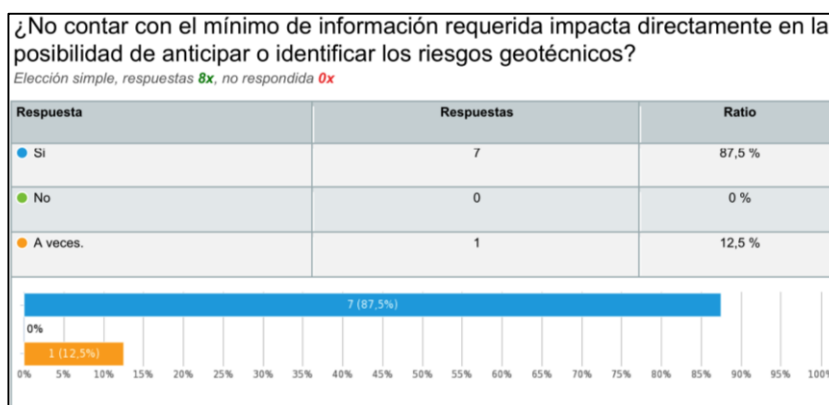


Figura 4.11 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Finalmente respecto a la consulta de si existe un plan formal de respuesta a los riesgos geotécnicos identificados, el 37.5% afirma que no existe y el 25% no sabe si existe uno, mientras que el 37.5% indicó que si cuenta con plan formal de respuestas a los riesgos geotécnicos, el diagnóstico indica que se debe revisar este proceso.

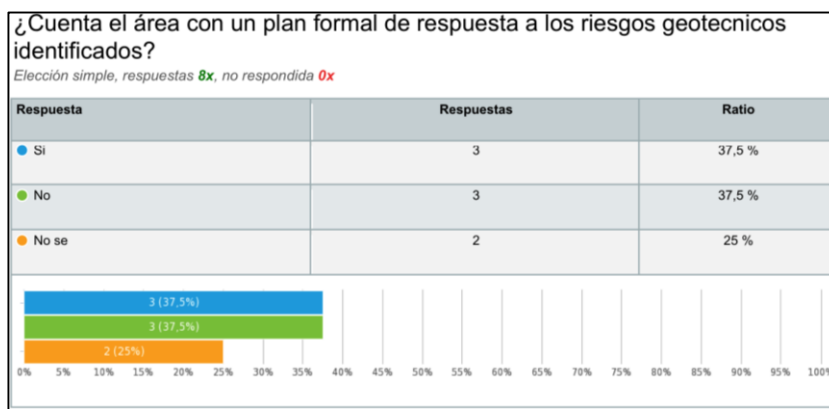


Figura 4.12 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración Propia, 2018)

Control de los riesgos geotécnicos. A diferencia de los puntos anteriores, todas las unidades de análisis coinciden en afirmar que existe un buen control y monitoreo de los riesgos geotécnicos, el 100% de los encuestados afirma que existe un plan de monitoreo en su unidad de análisis. Esto es consistente con el nivel de criticidad de esta actividad con relación a la operación, el diagnóstico indica que se debe buscar la forma de optimizar este proceso.

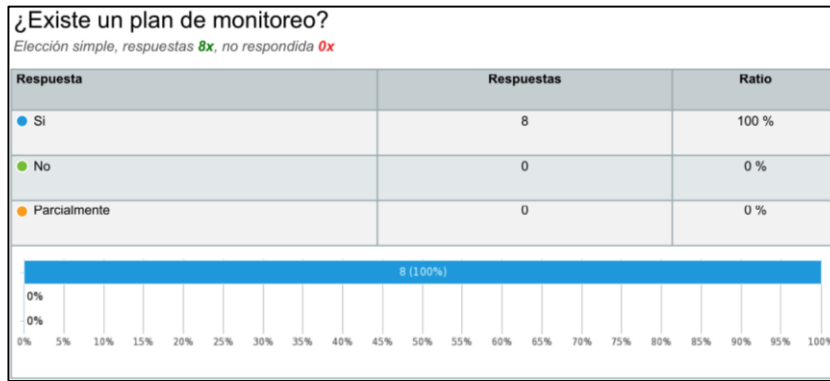


Figura 4.13 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

De igual forma las plataformas de monitoreo descritas para las diferentes unidades de análisis son muy similares, el 100% cuenta con sistema de prismas, radares e instrumentación hidrogeológica monitoreando continuamente. Existen otros sistemas (37.5%) que algunas unidades mencionaron, entre esos encontramos clino-extensómetros, crack meters, TDR. El diagnostico indica que se debe buscar la forma de optimizar este proceso.

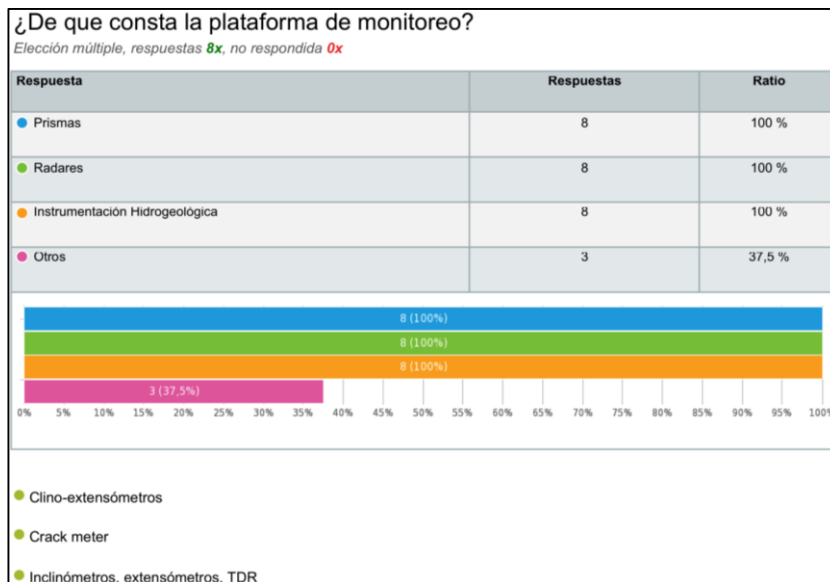


Figura 4.14 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

4.2.4 Resultados Encuesta Modelo de Competencias Superintendencia de Geotecnia

Los modelos de competencias traducen los conocimientos, habilidades, motivos y atributos de las personas en conductas observables y repetibles, que pueden ser fácilmente identificables y modeladas mediante la gerencia del talento...

...las competencias determinan las conductas que producen resultados para la empresa, ya sea en el desempeño de un rol/cargo o en otras situaciones organizacionales.

Este factor de análisis se evaluó entre los superintendentes, directores y expertos externos, trata de evaluar en las diferentes unidades de análisis cual es el estado de las competencias del equipo, los productos que realizan y el grado de interacción que tienen con los mandos superiores.

A la consulta de la posibilidad de interactuar con la gerencia de la operación, presentando los objetivos de las próximas fases a desarrollar para recibir sugerencias, en todas las respuestas se manifiesta que existe esa instancia, al menos a veces. Considerando que puede llegar a ser relevante para el desarrollo de las competencias, este factor se debe revisar este proceso.

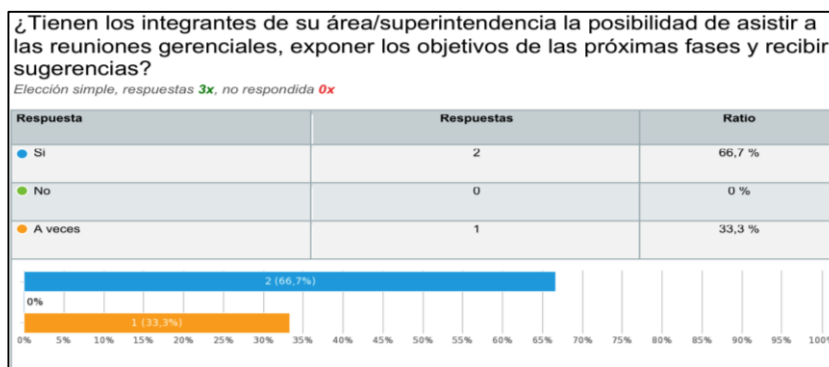


Figura 4.15 Resultados encuestas.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

Respecto a la consulta de si el personal técnico tiene la capacidad para generar la información necesaria para los diseños de las próximas fases, el 66.7% respondió afirmativamente y el 33.3% manifestó parcialmente, esto debido a que uno de los equipos de una unidad de análisis estaba con un profesional menos. Sin embargo la totalidad de unidades analizadas cuenta con servicios de terceros que apoyan en la captura y generación de información. El diagnostico indica que se debe buscar la forma de optimizar este proceso.

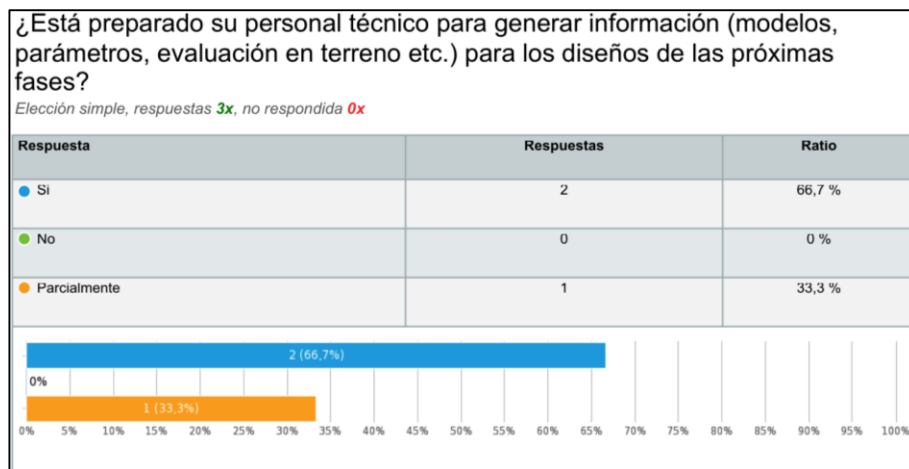


Figura 4.16 Resultados encuestas.
(Fuente. Elaboración propia, 2018)

Cuando se consultó respecto a la experiencia de los profesionales del equipo en las metodologías requeridas para desarrollar los productos, todas las unidades de análisis respondieron afirmativamente, esto indica que al momento de seleccionar los candidatos la selección por lo general es adecuada.

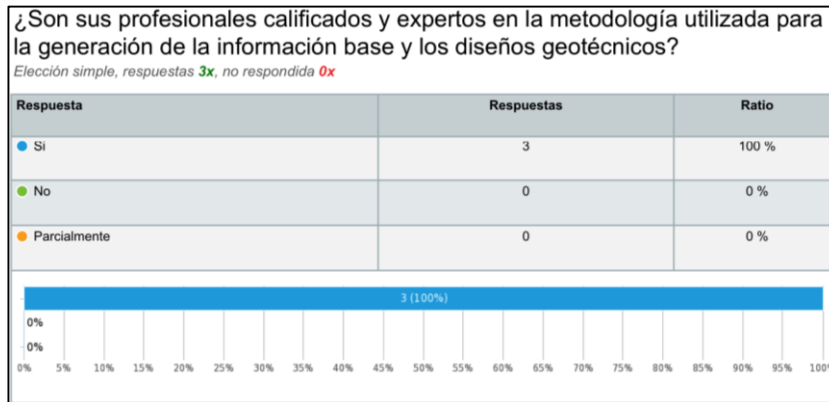


Figura 4.17 Resultados encuestas.
 (Fuente: Elaboración propia, 2018)

Sin embargo cuando se consulta a la dirección sobre el grado de certeza para la definición de los recursos humanos y técnicos sólo el 33.3% responde de forma afirmativa, y el 66.7% responde parcialmente. Esto implica que se debe revisar este proceso

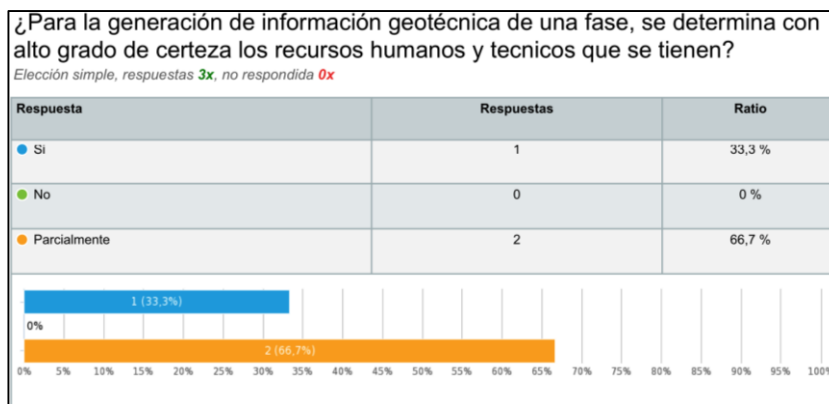


Figura 4.18 Resultados encuestas.
 (Fuente: Elaboración propia, 2018)

4.2.5 Resumen de Resultados

Después de haber presentado brevemente los casos cruzados, podemos resumir las conclusiones generales de los factores de análisis presentados:

- EL nivel de madurez de las unidades evaluadas resultaron entre Nivel 4 (Proactiva) a Nivel 5 (Resiliente), acorde con la realidad y exigencia de la industria de la gran minería.
- No existe un modelo de gestión formal establecido en las diferentes unidades de análisis, la implementación de uno ayudaría con la gestión del riesgo geotécnico a través de la implementación de un mapa de procesos.
- Después de realizar una medición de la información disponible para las siguientes fases, quedó en evidencia que si no existe una correcta gestión, tanto el financiamiento como la información corren riesgo.
- Respecto a la comunicación se reconoce que existe en general una buena comunicación, tanto transversal como verticalmente. El espacio de mejora está en la comunicación de los planes estratégicos.
- Respecto al personal técnico, si bien todas las unidades cuentan con los profesionales que requieren, con las competencias y el know how de los procesos, todas manifiestan que los profesionales están al límite de sus capacidades, generando de cierta forma un espacio buscar la forma de optimizar el tiempo de dichos profesionales. La implementación de un sistema de gestión debe contribuir con este aspecto. Esto es consistente con la evaluación de los plazos que se tienen para la planificación de las siguientes fases.
- En cuanto a los procesos propuestos por PMI para la gestión del riesgo, en la mayor parte de las unidades, tanto la identificación como el control son los más desarrollados y utilizados. Se debe mejorar los ámbitos de planificación de los riesgos, el análisis y la planificación de la respuesta a los riesgos identificados, quedó en evidencia la importancia de contar con la información necesaria en los tiempos requeridos para el proyecto. Es de vital importancia tener el tiempo suficiente para realizar los análisis pertinentes.
- Respecto a la cantidad y calidad de información básica se ha reconocido que es sumamente relevante para poder identificar los riesgos geotécnicos, dado que existe una relación directa (inversamente proporcional) entre el grado de confiabilidad de los modelos geotécnicos con el riesgo geotécnico. Esto también ratifica que contar con una buena planificación contribuye directamente con la gestión del riesgo geotécnico.
- Además se requiere determinar el grado de confiabilidad de la información básica, tanto para la planificación de la información como para la evaluación de las siguientes fases.
- La información histórica de eventos y/o riesgos geotécnicos identificados en etapas anteriores no es gestionada de la mejor forma, se debe implementar una base de datos formal y se debe definir un responsable ya que esta información es utilizada directamente en los análisis y los diseños de las siguientes fases, así como en la calibración de los modelos para la evaluación de potenciales futuros riesgos.
- Se debe implementar un plan formal de respuestas a los riesgos geotécnicos identificados, esto ayudaría a optimizar los tiempos de respuesta y la toma de decisiones.

- Parte de los resultados obtenidos en la información revisada comprobó que la calidad de la información está directamente relacionada a la solidez del equipo a cargo.

4.3 ANÁLISIS CRUZADO

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las 3 unidades de análisis, luego de haber realizado todas las encuestas y entrevistas.

Análisis cruzado	Factores de Análisis			
	Unidad de Análisis	FA1. Madurez del área SGEOT	FA2. Modelo de Gestión de la SGEOT	FA3. Gestión de Riesgo de la SGEOT
UA1. SGEOT DMH	Entre nivel 4 a 5. Proactivas a Resilientes	No cuenta con Modelo formal de Gestión. Existe buena comunicación.	Buen nivel en la id y control del riesgo geotécnico. Se debe mejorar los ámbitos de planificación de las respuestas a los riesgos.	Cuenta con el personal técnico, pero al límite de sus capacidades.
UA2. SGEOT otras Div.	Entre nivel 4 a 5. Proactivas a Resilientes	No cuenta con Modelo formal de Gestión. Existe buena comunicación.	Buen nivel en la id y control del riesgo geotécnico.	Cuenta con el personal técnico, pero al límite de sus capacidades.
UA3. Expertos Externos	N/A	Sugerencia: Muy importante los mapas de procesos.	Se debe definir el grado de conf. de la información (incertidumbre), ya que está directamente relacionada al riesgo geotécnico.	Las UA1 y UA2 cuentan con buen nivel de profesionales, se debe asegurar continuidad.

Tabla 4.7 Análisis Cruzado Factores de Análisis considerados.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

4.4 ANÁLISIS DE OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN EN CADA FACTOR DE ANÁLISIS.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados de otras fuentes de información en cada factor de análisis.

Otras fuentes de info.	Factores de Análisis			
	FA1. Madurez del área SGEOT	FA2. Modelo de Gestión de la SGEOT	FA3. Gestión de Riesgo de la SGEOT	FA4. Modelo de Competencias SGEOT
UA1. SGEOT DMH	Se incorpora la evaluación del MRIM	N/A	Se revisan las guías geotécnicas corporativas, estándares, Normas, políticas, informes de gestión de riesgos.	Se revisa descripciones de cargo y alcance de los servicios de empresas colaboradoras
UA2. SGEOT otras Div.	Se incorpora la evaluación del MRIM	N/A	Se revisan las guías geotécnicas corporativas, estándares, Normas, políticas, informes de gestión de riesgos.	N/A
UA3. Expertos Externos	N/A	N/A	Se revisaron las Guías para el diseño de taludes.	N/A

Tabla 4.8 Otras fuentes de info por Factores de Análisis considerado.
(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO V

ENTREGABLE DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

El entregable de la presente investigación corresponde a una “Guía para la gestión de los riesgos geotécnicos de un proyecto de explotación minera tipo rajo abierto”

En el siguiente documento resume los resultados, análisis, investigaciones y recomendaciones obtenidas durante la elaboración de la tesis titulada “Propuesta para la aplicación de la metodología PMI para la gestión de los riesgos geotécnicos del proyecto aplicado a proyectos de explotación minera tipo rajo abierto”, realizada en el marco de la versión 12 del Magíster en Gestión Integral de Proyectos, dictado por el Departamento de la Gestión de la Construcción, perteneciente a la Universidad Católica del Norte sede Antofagasta.

El objetivo de este documento es utilizar la metodología propuesta por el PMI para apoyar en la gestión del riesgo geotécnico en empresas que se encuentran operando minas a rajo abierto. La guía que se presenta está particularmente diseñada para la División Ministro Hales.

La metodología se basa principalmente en los resultados obtenidos en el Capítulo IV, las guías geotécnicas y los estándares geotécnicos & geomecánicos para proyectos mineros, ambos realizados por la Vicepresidencia Norte de Codelco, la Guía para el Diseño de Taludes (Read & Stacey, 2009), y del Marco Teórico propuesto en el Capítulo III.

De acuerdo a la información técnica revisada y las entrevistas realizadas a los expertos externos, la mayor parte de los riesgos geotécnicos asociados a los taludes del rajo, surgen de la incertidumbre inherente en las descripciones cualitativas y cuantitativas del macizo rocoso, es decir el grado de incertidumbre que tiene el modelo geotécnico y de la incertidumbre asociada a los análisis llevados a cabo usando dichos modelos. El primer tipo de incertidumbre surge

especialmente de la variabilidad inherente y el error de medición, mientras que la segunda se conoce a veces como la transformación de la incertidumbre (Phoon & Kulhawy, 1999).

Esta guía se basa en un flujograma que incluye todos los procesos del diseño de taludes, basado en el diagrama propuesto en la Guía para el Diseño de Taludes (Read & Stacey, 2009), adaptado a la DMH.

5.2 OBJETIVO DE LA GUÍA

El principal objetivo de esta guía es entregar las herramientas básicas y los pasos a seguir para poder gestionar los riesgos geotécnicos a partir de la metodología propuesta por el PMI, de tal forma de poder planificar la gestión, identificar, analizar, planificar las respuestas y mitigar, eliminar o controlar los riesgos geotécnicos; de esta forma poder asegurar el cumplimiento del plan minero y las metas de seguridad, producción y costos de la operación.

5.3 ALCANCE

Este documento se presenta como una guía geotécnica, para su uso práctico en la gestión del riesgo geotécnico asociado a proyectos mineros que se encuentren en la fase de operaciones, utilizando la metodología de rajo abierto.

5.4 DEFINICIONES (GLOSARIO)

A continuación se entregan las principales definiciones que están relacionadas con los objetivos de esta guía.

Análisis de riesgo: Un proceso sistemático para comprender la naturaleza y deducir el nivel de riesgo.

Consecuencia: El resultado o el impacto de un evento.

Control de riesgos: el proceso de selección y aplicación de medidas para modificar el riesgo.

Criterio de Aceptabilidad, CA: Corresponde al conjunto de requisitos que debe cumplir un talud para que su grado de estabilidad sea considerado aceptable. Usualmente el criterio de aceptabilidad depende de la magnitud y consecuencias de una eventual inestabilidad del talud considerado; y se define en términos de valores mínimos o máximos permisibles para uno o más de los siguientes parámetros: factor de seguridad, probabilidad de falla, volumen de la probable inestabilidad, sector con o sin rampa, etc.

Criterios de riesgo: Los términos de referencia por la cual el significado de riesgo es evaluado.

Criticidad: Condición donde se presenta una gran variedad de riesgos geotécnicos (e.g. pueden ocurrir deslizamientos planos y también de cuñas y también caídas de bloques) y/o los mismos presentan una probabilidad de ocurrencia media o mayor (usualmente más grande que 20%).

Equilibrio Límite: Cuando la estabilidad de una estructura alcanza un factor de seguridad igual a 1, lo que se traduce en la igualdad de la capacidad de soporte respecto a la sollicitación actuante sobre la estructura.

Evaluación de riesgo: El proceso de comparar el nivel de riesgo contra criterios de riesgo.

Evaluación del riesgo: El proceso general de planificación, identificación de riesgos, análisis de riesgo, evaluación de riesgo y control de riesgo.

Factor de Seguridad, FS: Corresponde a la razón entre la resistencia del material y la sollicitación actuante sobre el mismo. Es adimensional y generalmente se define en términos de su valor medio en una potencial superficie de ruptura. De acuerdo con esto, si FS es mayor que 1.0 se tiene una condición estable o de “no falla”; si FS es igual a 1.0 se tiene una condición de “equilibrio Límite” o “falla incipiente”; y si FS es menor que 1.0 se tiene una condición de falla o inestabilidad. En general se acepta que mientras mayor sea el valor de FS menor será la probabilidad de falla.

Falla de un talud minero: Condición donde parte del material que conforma un talud minero sufre desplazamientos excesivos o inadmisibles, modificando la geometría del talud de modo tal que afecta la normal operación del sector. La falla puede ser rápida o lenta. El volumen de material afectado, usualmente proporcional a la importancia de las consecuencias de la falla, queda delimitado por la geometría del talud y por una superficie de ruptura o límite de la zona de fluencia.

Geometría de un Banco: La geometría de un talud minero queda determinada por los parámetros que se muestran en la Figura 5.1 y se definen a continuación:

- **ALTURA DE BANCO, h_B :** Unidad básica de un talud. Corresponde a la altura de los bancos de la mina. Usualmente queda definida por consideraciones operacionales, asociadas a los equipos de carguío, y no por razones geotécnicas.
- **INCLINACIÓN CARA DE BANCO, α_b :** Corresponde a la inclinación de la cara de los bancos respecto a la horizontal. Usualmente queda definida por las estructuras menores presentes en el macizo rocoso a nivel de banco, pero también depende fuertemente de la calidad de la tronadura, el daño que las mismas inducen en el macizo rocoso y el tipo de equipo que realice el remate del banco.
- **ANCHO DE BERMA, b :** Corresponde al ancho de las bermas. Usualmente queda definido por el volumen de los derrames asociados a inestabilidades a nivel de banco, los cuales deben ser contenidos por las bermas.
- **ANGULO INTERRAMPA, α_{\square} :** Corresponde a la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une las patas de los bancos. Este valor se utiliza comúnmente en planificación minera y aunque no corresponde a la inclinación geotécnica del talud interrampa presenta la ventaja de no variar con el número de bancos. El ángulo interrampa queda determinado por la geometría del sistema banco-berma. La inclinación geotécnica del talud interrampa queda definida por la inclinación de una

línea imaginaria que une la pata del banco inferior con la cresta del banco superior del talud interrampa. Conforme con esto y a diferencia del ángulo interrampa comúnmente utilizado en la planificación minera, la inclinación geotécnica del talud interrampa varía con la altura entre rampas. (tomado de la Guía geotécnica N°7)

- **ALTURA INTERRAMPA, h_r :** Corresponde a la altura máxima permisible entre rampas. Esta altura queda usualmente definida por consideraciones geotécnicas y seguridad.
- **ANCHO DE RAMPA, b_r :** Corresponde al ancho de las rampas. Usualmente queda definido por razones operacionales asociadas a los equipos de transporte.
- **ANGULO GLOBAL, α_o :** Corresponde al ángulo que define la pared del rajo, medido como la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une la pata del banco inferior con la cresta del banco superior de la pared en el sector considerado.
- **ALTURA GLOBAL, h_o :** Corresponde a la altura de la pared del rajo, medida desde la pata del banco inferior a la cresta del banco superior de la pared en el sector considerado.

Gestión de riesgos: La cultura, los procesos y las estructuras dirigidas hacia la consecución de oportunidades potenciales, mientras que la gestión de los efectos adversos.

Identificación de riesgos: el proceso de determinar qué, dónde, cuándo, por qué y cómo algo podría suceder.

Macizo Rocoso: Se define como macizo rocoso un volumen homogéneo e importante de material, conformado por un conjunto numeroso de bloques de roca intacta y planos de discontinuidades geológicas que definen y delimitan estos bloques. El término homogéneo significa que el volumen considerado cumple TODOS los siguientes requisitos:

- Corresponde a una misma unidad litológica; vale decir, a un mismo tipo de roca con un mismo tipo y grado de alteración.
- Presenta el mismo patrón estructural (o sea, se ubica dentro de un mismo dominio estructural).
- Presenta un mismo grado de fracturamiento.

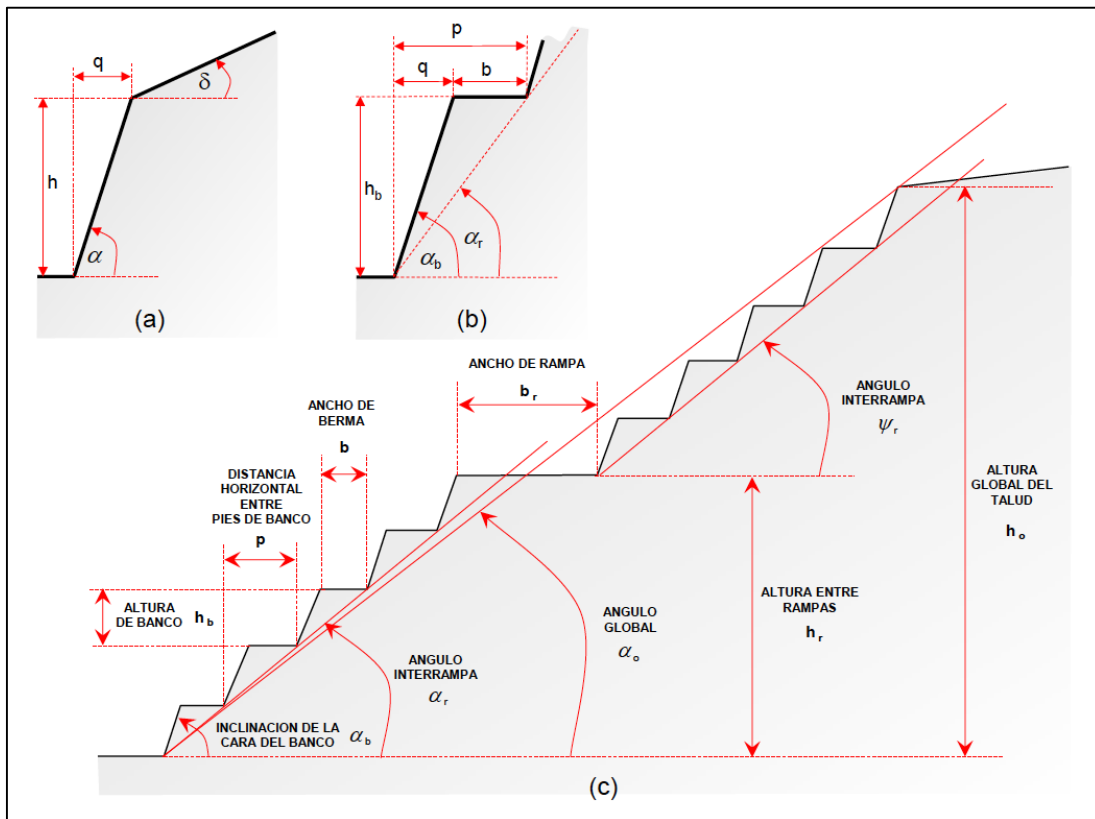


Figura 5.1 Parámetros de una geometría talud sencillo

(a), banco talud de una mina a rajo abierto (b), y talud completo mina a rajo abierto, (c).

(Fuente: Guía geotecnia N° 7, 2017)

Mapeo (Logeo): Corresponde registro gráfico y alfanumérico de las propiedades observables del macizo rocoso.

Margen de Seguridad, MS: Corresponde a la diferencia entre el Factor de Seguridad FS, evaluado para una condición particular, y el valor de equilibrio

límite; por lo tanto si MS es menor que 0.0 el FS es menor que 1.0 y por tanto la PF será mayor que 0.0%.

Margen de Seguridad, MS: Corresponde a la diferencia entre el Factor de Seguridad FS, evaluado para una condición particular, y el valor de equilibrio límite; por lo tanto si MS es menor que 0.0 el FS es menor que 1.0 y por tanto la PF será mayor que 0.0%.

Peligro Sísmico: Es la caracterización del contexto probabilístico y determinístico de las potenciales fuentes sísmicas presentes y activas en el entorno del sitio de estudio. Un parámetro de cuantificación del peligro es la magnitud de un evento sísmico. También el tiempo de retorno o tiempo de recurrencia de excedencia de cierto nivel de aceleración máxima horizontal/vertical de suelo, constituye un parámetro de peligro sísmico.

Peligro: Una fuente de daño potencial; una posible ocurrencia o condición que podría conducir a lesiones, daños al medio ambiente, retraso o pérdida económica.

Plano de Discontinuidad Geológica: Planos que atraviesan la roca y cuya génesis está asociada a uno o más procesos geológicos. Pueden ser de distintos tipos: laminaciones, planos de estratificación, fisuras, diaclasas, fallas, etc. Pueden estar abiertas o selladas. Su principal característica es que constituyen planos de debilidad o de menor resistencia que la roca. Usualmente, en el macizo rocoso aparecen agrupadas en familias o sistemas. Su extensión o persistencia puede variar mucho y dependiendo del volumen que intercepte, algunas podrán tratarse en forma estadística mientras que otras deberán considerarse individualmente.

Probabilidad de Falla, PF: Corresponde a la probabilidad de que ocurra una falla. Se define como la probabilidad que FS sea igual o menor que 1.0, o que el margen de seguridad, MS, sea igual o menor que 0.0.

Probabilidad: La probabilidad o la frecuencia de ocurrencia de un evento, se describe en términos cualitativos o cuantitativos.

Riesgo Geotécnico: Es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un siniestro geotécnico y el costo de las consecuencias que trae la ocurrencia de este siniestro. Conforme con esto, el riesgo geotécnico tiene unidades de costo.

Riesgo Sísmico: Es una medida del grado de exposición (vulnerabilidad) que tanto la población como infraestructura, en el más amplio sentido, poseen respecto de un determinado *Peligro Sísmico*. El riesgo sísmico se define formalmente como el producto de 2 variables: la vulnerabilidad o exposición y el peligro sísmico. La vulnerabilidad ante un evento sísmico reside esencialmente en la materialidad de cierta edificación y el suelo sobre el que ésta existe. En el caso de taludes, la vulnerabilidad depende fuertemente de las variables de altura, ángulo de talud, condiciones hidrológicas y geológicas del suelo-roca que lo contiene. Un parámetro de particular del riesgo en taludes es el factor de seguridad (FS) o la Probabilidad de Falla.

Riesgo: la posibilidad de que ocurriera algo que tendrá un impacto sobre los objetivos.

Roca Intacta: Volumen de roca de tamaño pequeño pero representativo de la petrofábrica de la roca considerada, sin mostrar irregularidades ni defectos tales que influyan en su comportamiento mecánico propio, especialmente en lo que dice relación con la cinemática de su ruptura.

Siniestro Geotécnico: Problema de origen geotécnico y/o asociado a entes geotécnicos (e.g. una zona de falla) que afecta, directa o indirectamente, al proyecto minero considerado (aunque no necesariamente altera su condición de operatividad).

Sismo de Operación (SDO): Corresponde a un sismo de intensidad moderada, pero con una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil del proyecto o mina. El SDO corresponde a un evento sísmico con un periodo de retorno de 50 años, y cuya intensidad tiene una probabilidad de excedencia del 50% (Karzulovic, 2005).

Sismo: Fenómeno asociado a la ruptura repentina (segundos a minutos) de una porción de volumen terrestre. Esta ruptura genera ondas elásticas o sísmicas que se propagan por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas se dejan sentir tanto por la población como por estructuras, y dependiendo de la amplitud del movimiento (desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo) y de su duración, el sismo producirá mayor o menor intensidad.

Strength Reduction Factor (SRF): Conocido como SRF o factor de reducción de esfuerzos, es utilizado por métodos numéricos (por ejemplo los elementos finitos) para determinar el Factor de Seguridad. La técnica de la reducción de la resistencia al corte (SSR) utilizada en la modelación numérica de problemas de estabilidad de taludes, corresponde a una aproximación simple e iterativa que comprende la búsqueda sistemática de un factor de reducción de esfuerzos (SRF) o factor de seguridad que lleva al talud a su condición límite de falla.

Superficie de Falla: Puede ocurrir en taludes desplazamientos tales que afecten a la estructura de suelo o roca, con superficies de falla que penetran en su cuerpo. Se considera que la superficie de falla se forma cuando en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia al corte del material; a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento a lo largo de la cual se produce la falla.

Terremoto Máximo Probable (TMP): Un terremoto máximo probable (TMP), correspondiente a un sismo violento o de gran intensidad, pero con una probabilidad de ocurrencia relativamente pequeña durante la vida útil del proyecto o mina. El TMP corresponde a un evento sísmico con un periodo de retorno de 100 años, y cuya intensidad tiene una probabilidad de excedencia del 10% (Karzulovic, 2005).

Terremoto: Significa esencialmente “movimiento del terreno”. En idiomas latinos, además, se hace referencia a un sismo de proporciones “mayores”, o bien, de dimensiones regionales, diferenciándolo de un temblor. Bajo esta caracterización, los terremotos coinciden con zonas de ruptura cuyo ancho sismogénico, a lo largo de la zona de acoplamiento, se acerca al máximo posible. Sismológicamente hablando, sus longitudes de onda son particularmente largas y ya no es posible tratar los sismogramas sintéticos con un modelo de fuente puntual. Esto coincide, en el caso de Chile, con sismos cuya magnitud es aproximadamente $M > 7.5$. Desde los terremotos del Maule-Chile 2010 y Sendai-Japón 2011, se ha aceptado en publicaciones incorporar a la palabra terremoto en inglés, el adjetivo “giant”, por referirse a un “mega”- terremoto.

Tolerancia al Riesgo: Grado, cantidad o volumen de riesgo que una organización está dispuesta a resistir o aguantar.

Unidad Geotécnica Básica (UGTB): Corresponde a los tipos de roca intacta obtenidos de la superposición de la litología, alteración y mineralización. Por lo tanto, para su definición, se requiere de la existencia de los modelos respectivos de litología, alteración y mineralización del yacimiento o zona de interés. La definición de Unidad Geotécnica Básica, permite dimensionar los requerimientos de ensayos de laboratorio, en términos de las unidades a ensayar. Eventualmente, una misma UGTB podría considerar más de un grupo o asociación de litología y/o alteración y/o mineralización, si es que estos presentan propiedades (índices y mecánicas) similares.

Vulnerabilidad: Conjunto de situaciones tales que la ocurrencia de cualquiera de ellas afecta la condición de operatividad del proyecto y/o la continuidad del proceso productivo.

5.5 GESTIÓN DEL RIESGO GEOTÉCNICO

De acuerdo al PMBOOK® “la gestión de los riesgos del proyecto incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión de riesgos, así como la identificación, análisis, planificación de respuesta y control de los riesgos de un

proyecto. Los objetivos de la gestión de los riesgos del proyecto consisten en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos (oportunidades), y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos en el proyecto”. En la Figura 5.2 se muestra los procesos considerados en la gestión de los riesgos del proyecto, de acuerdo al PMI, y los que se aplicarán en esta guía.

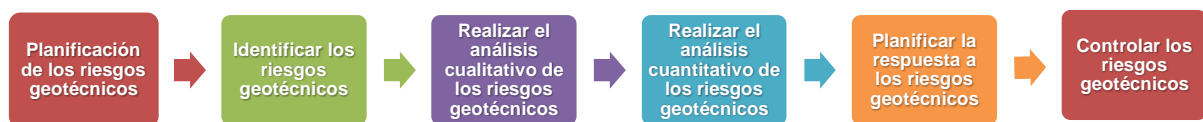


Figura 5.2 Descripción general de la gestión del riesgo propuesta.
(Fuente: Elaboración Propia, 2018)

5.5.1 Planificar la gestión de los riesgos geotécnicos

Esta primera etapa consiste en definir cómo realizar las actividades de gestión de los riesgos geotécnicos. Realizar una correcta planificación de los riesgos geotécnicos es vital para, de acuerdo a lo indicado en el PMBOOK®, comunicarse y obtener el acuerdo y el apoyo de todos los interesados, tanto internos como externos, a fin de asegurar que el proceso de gestión de riesgos geotécnicos sea respaldado y llevado a cabo de manera eficaz durante las actividades de planificación de las siguientes fases. De acuerdo a la guía para el diseño de taludes, sugiere considerar las siguientes actividades al inicio de la evaluación del riesgo geotécnico asociado a operaciones de rajo abierto: Establecer el contexto externo, establecer el contexto interno, establecer el marco de gestión de riesgos y definir los criterios de riesgo.

5.5.1.1 Establecer el contexto externo

Establecer el contexto externo implica definir el entorno externo en el que se está operando, y la relación entre la División y ese entorno externo. Esto implica consideraciones de la gerencia y entes superiores de la corporación, los interesados externos y sus percepciones de la División, la organización, además de los entornos sociales, normativos, culturales, políticos, financieros y competitivos en los que opera la mina. Muchas de estos temas no se consideran

normalmente dentro del ámbito del diseño de una fase, pero cuando se está evaluando el riesgo de una falla de talud global en un rango de dimensiones importantes, necesitan ser consideradas, pero una vez establecidos, probablemente no cambien significativamente entre el diseño de una fase a otra.

Inicialmente, esta guía sólo mencionará algunos de estos aspectos en forma general, los cuales podrán ser completados en futuras revisiones.

5.5.1.2 Establecer el contexto interno

Para establecer el contexto interno se requiere una comprensión del negocio y otras metas y objetivos de la operación (por ejemplo, sociales, medioambientales, etc.), y las estrategias para alcanzarlas. También implica una comprensión de los interesados directos internos, la cultura de la organización (incluido su tolerancia al riesgo) y, la estructura y funciones de la división en términos de personas, sistemas, procesos y acceso a capital. Por ejemplo, estos pueden influir en los controles o métodos utilizados para limitar la probabilidad o consecuencias de la falla de los taludes.

Para poder identificar algunos de los interesados directos internos, en la siguiente figura se presenta el proceso básico para el diseño de taludes que ocupa DMH para el desarrollo de las siguientes fases. Ahí podremos identificar algunos interesados internos.

Respecto a la cultura organizacional, especialmente la tolerancia al riesgo, de acuerdo a las encuestas y entrevistas realizadas, la tolerancia al riesgo en general es baja en todas las unidades entrevistadas, lo cual es consistente con el ambiente en el cual se desarrolla esta actividad.

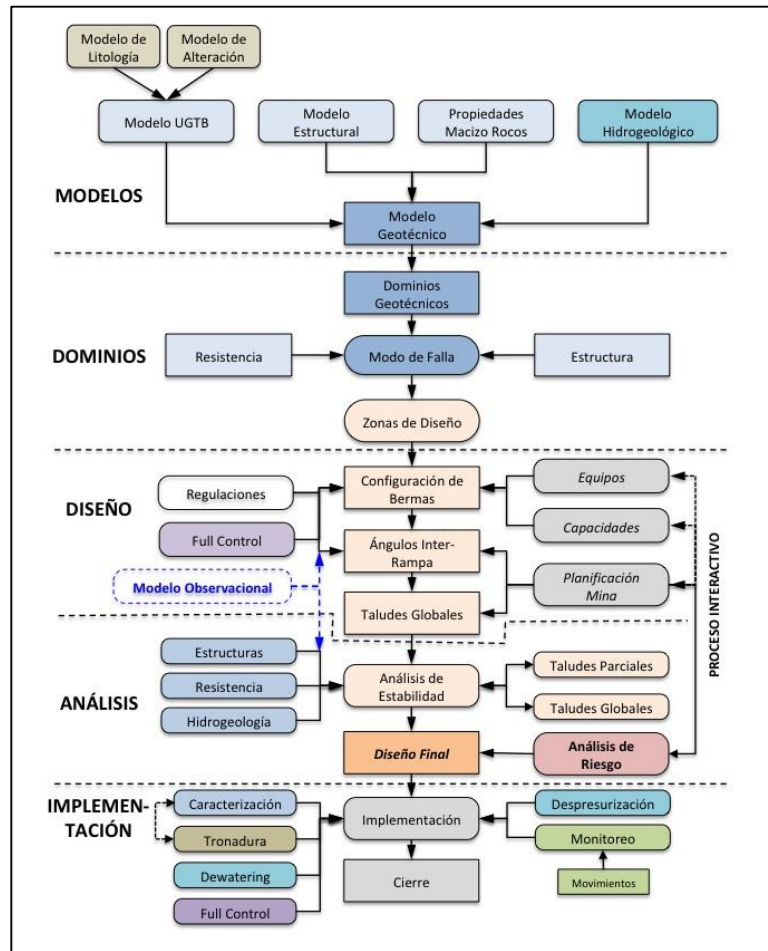


Figura 5.3 Diagrama mostrando el proceso de diseño de taludes. (Fuente: Adaptado de Read, J. & Stacey, P., 2009)

5.5.1.3 Establecer el contexto de la gestión de riesgos

En esta etapa se debe definir claramente los objetivos, límites y alcance del proceso de gestión de riesgo. En el caso de las operaciones a rajo abierto, los objetivos son generalmente maximizar tanto la seguridad como la rentabilidad económica. Esta etapa también implica la definición de funciones y responsabilidades de las distintas áreas y de las personas que participan en el proceso de gestión de riesgo geotécnico, los recursos requeridos y los registros que se deberán mantener.

5.5.1.4 Definir el criterio de riesgo

De acuerdo a la guía para el diseño de taludes “Desarrollar criterios de riesgo consiste en identificar los criterios (operativos, técnicos, financieros, sociales, jurídicos, ambientales) contra los cuales el riesgo geotécnico será evaluado. En las operaciones tipo rajo abierto, los riesgos geotécnicos son principalmente (pero no exclusivamente), riesgos de seguridad y riesgos económicos.

Dado que el principal riesgo geotécnico en las operaciones a rajo abierto es el fallamiento de taludes, ya sea a nivel de banco, inter-rampa o global, pasa a ser muy relevante la correcta definición de los **criterios de aceptabilidad (CA)** antes de realizar los análisis de estabilidad. DMH cuenta con guías corporativas que detallan este proceso, específicamente la guía geotécnica N°9 “Definición de los Criterios de Aceptabilidad (Factor de Seguridad y Probabilidad de Falla)”, donde se entregan los elementos básicos que deben ser considerados cuando se desea definir, revisar y/o modificar uno o más criterios de aceptabilidad asociado al diseño geotécnico de taludes.

De acuerdo a la Guía Geotécnica N°9 los “criterios de aceptabilidad se definen en términos de valores máximos permisibles para uno o más de los siguientes parámetros”:

- Factor de Seguridad, FS.
- Probabilidad de falla, PF.
- Desplazamiento acumulado del talud, D.
- Tasa de desplazamiento del talud, V.

5.5.2 Identificar los riesgos geotécnicos

La identificación de riesgos es un proceso iterativo, la identificación de los riesgos geotécnicos consiste principalmente en identificar todos los riesgos que deberán ser analizados y gestionados durante el desarrollo de la correspondiente fase. Es por esta razón que se debe tener especial cuidado en tener siempre

presente la cantidad y calidad de la información que se está utilizando ya que ella está directamente relacionada con el nivel de incertidumbre de nuestros análisis. Además también se debe considerar que los riesgos que no sean identificados en esta etapa, no serán analizados. “El objetivo es identificar: que, donde, cuando, porque y como algo podrá ocurrir que represente un peligro o un riesgo” (Read & Stacey, 2009).

En general la identificación de los riesgos empieza con la identificación de peligros o fuentes potenciales de causar daño, y los peligros están relacionados con fuentes potenciales de energía, en este caso particular, de las 10 potenciales energías identificadas por Joy y Griffiths (2005), que son: gravedad, eléctrica, mecánica, química, presión, ruido, termal, radiación, mecánica humana y biológica, en una operación de rajo abierto nos concentraremos principalmente en la energía gravitacional, con el objetivo de prevenir caída de rocas y fallamiento de taludes en diferentes escalas. También debemos considerar energías como la presión (de poros)/esfuerzos en las paredes de los taludes, energías termales especialmente en días con diferencias significativas de temperatura, y energías químicas relacionadas tanto con los explosivos utilizados en las tronaduras y que pueden causar daños significativos a las caras de los taludes, así como las aguas subterráneas que pueden alterar o degradar el macizo rocoso y/o las estructuras por donde están circulando.

A continuación y como una guía para iniciar la identificación de riesgos, se entrega una lista con posibles fuentes y enfoques que pueden ser de utilidad, modificado de UNSW (2003):

- Revisar en fases anteriores, especialmente eventos históricos, operaciones cercanas.
- Revisar requerimientos tanto estándares de la corporación como legales.
- Revisar experiencias personales de los miembros del equipo a través de un “brainstorming”, también considerar consultores externos con experiencia en áreas específicas.

- Considerar las etapas en el proceso, el riesgo inherente en cada etapa y como podría ocurrir una falla – se recomienda contar con un mapa de procesos.
- Usar un check list como guía. Cada operación es única y en el caso particular de DMH, las condiciones naturales del depósito generan mayores riesgos que el promedio de la industria.
- Realizar auditorías técnicas para monitorear y chequear.
- Usar herramientas de análisis tales como Bow-Tie, WRAC, HVCC, etc.

Por su parte la Guía para el Diseño de Taludes señala que “en el caso de las operaciones a rajo abierto, la mayor fuente de riesgos geotécnicos son las fallas de taludes a nivel de bancos, interrampas y globales”, por lo tanto pasa a ser el riesgo geotécnico prioritario a evaluar. Las consecuencias de estos fallamientos pueden tener un impacto en seguridad y/o económico, podrían categorizarse, según Tapia (2007), en uno o más de los siguientes grupos:

- Daño a las personas (lesionadas o fatales).
- Daño a equipos.
- Impacto en la producción (por ejemplo: pérdida de producción, costos por saneamiento, perdida de acceso temporal a mineral o postergación de la extracción a la siguiente fase)
- Fuerza mayor (un impacto económico mayor, por ejemplo una falla global de talud).
- RR.HH. (Huelga de personal propio y/o colaboradores).
- Relaciones adversas con interesados y/o la comunidad.

5.5.2.1 Posibles Causas de Futuras Inestabilidades

En la siguiente figura se resumen las posibles causas de futuras inestabilidades, se considera desde la información básica hasta su implementación con operaciones. Se utilizó la técnica de la recopilación y brainstorming para su construcción.

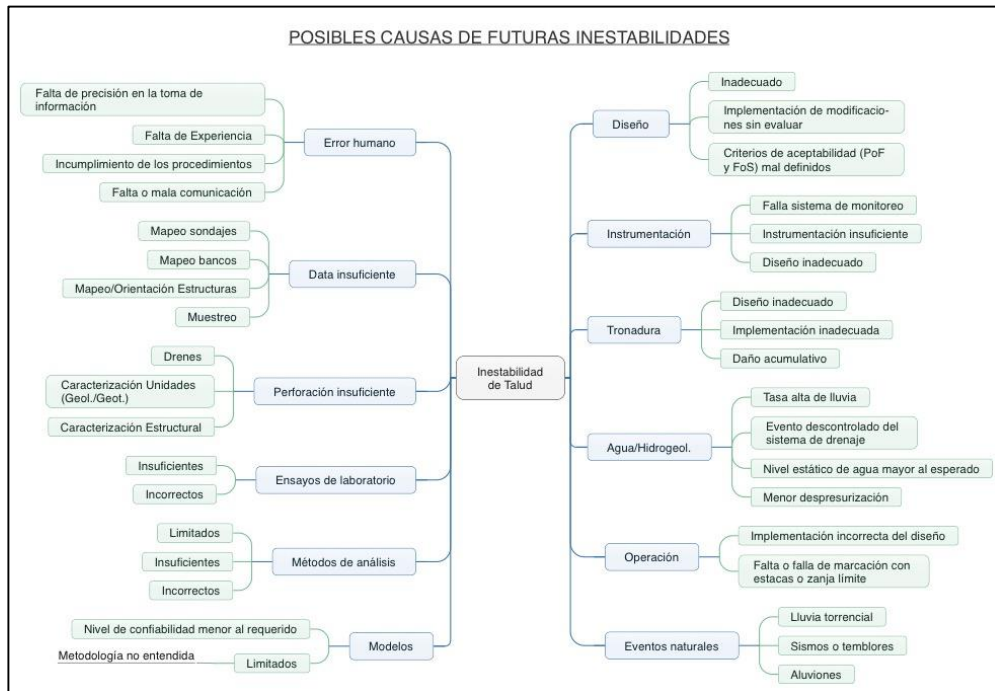


Figura 5.4 Posibles causas de futuras inestabilidades.
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

5.5.3 Análisis cualitativo de los riesgos geotécnicos

Según el PMBOK “realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos es el proceso de priorizar riesgos para análisis o acción posterior evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos. El beneficio clave de este proceso es que permite a los directores de proyecto reducir el nivel de incertidumbre y concentrarse en los riesgos de alta prioridad”.

Como se mencionó en el punto anterior, en el caso de las operaciones a rajo abierto, el riesgo principal que se tiene identificado está relacionado con el fallamiento de taludes a diferentes escalas.

5.5.3.1 Herramientas y técnicas para realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos.

Algunas de las herramientas y técnicas que sugieren varios autores, son las siguientes:

- Evaluación de la Probabilidad por el Impacto.

- Matriz de Probabilidad e Impacto.
- Evaluación de la calidad de los datos.
- Categorización de los riesgos.
- Evaluación de la urgencia de los riesgos.
- Bow-Tie
- Juicio Experto.

Varias de las herramientas mencionadas serán desarrolladas en el siguiente punto, 5.5.4 Análisis cuantitativo de los riesgos geotécnicos.

5.5.4 Análisis cuantitativo de los riesgos geotécnicos

Según el PMBOK “realizar el Análisis cuantitativo de Riesgos es el proceso de analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que genera información cuantitativa sobre los riesgos para apoyar la toma de decisiones a fin de reducir la incertidumbre del proyecto.” Además se indica que a diferencia del análisis cualitativo de riesgo, este análisis no siempre se puede llevar a cabo, debido a que no siempre estarán disponibles los elementos para realizar los análisis cuantitativos requeridos, el responsable de realizar esta tarea deberá considerar utilizar el juicio experto para determinar la necesidad y la viabilidad del análisis cuantitativo de riesgos.

El análisis cuantitativo de riesgos debe repetirse según las necesidades, como parte del proceso de control de los riesgos, para determinar si se ha reducido satisfactoriamente el riesgo. En el análisis cuantitativo de riesgo geotécnico en taludes de rajo abierto, el nivel de riesgo es generalmente cuantificado como:

$$\text{Riesgo (geotécnico)} = \text{Probabilidad de Falla} \times \text{Consecuencia del Evento.}$$

En la etapa de operación o desarrollo, se recomienda usar el análisis cuantitativo (cuando sea posible). El resultado de esta evaluación debe ser

evaluado contra el criterio de aceptabilidad definido para cada tipo de inestabilidad identificado.

5.5.4.1 Incertidumbre de la información.

Tal como se menciona en el punto 5.5.3 Análisis Cualitativo del Riesgo, el riesgo geotécnico principal en una operación de rajo abierto está relacionado con la inestabilidad de taludes, el cual a su vez está estrechamente relacionado con la incertidumbre inherente de las descripciones cualitativas y cuantitativas del macizo rocoso y la geología del yacimiento en cuestión, las cuales son parte del modelo geotécnico. Esa incertidumbre a su vez es también parte de todos los análisis que se realizarán utilizando dichos modelos. Por esta razón se vuelve a recalcar la importancia que se debe dar a la evaluación y gestión de la información base que reduzca los niveles de incertidumbre a niveles aceptables y definidos por la corporación (en los “Estándares Geotécnicos y Geomecánicos para Proyectos Mineros”).

Según la guía para el diseño de taludes: “En minería a rajo abierto, la incertidumbre de los datos proviene de las dificultades recurrentes de los geólogos, ingenieros geólogos e ingenieros geotécnicos para predecir las propiedades y características variables inherentes de los materiales naturales”. Además menciona que los tipos de incertidumbre relevante para estos análisis, pueden agruparse en tres:

- Incertidumbre geológica.
- Incertidumbre de los parámetros.
- Incertidumbre de los modelos.

Por otro lado, (Tapia et al, 2007) detalla un poco más las principales incertidumbres encontradas en un Análisis Cuantitativo de Riesgo, las cuales son:

- Desviaciones en la resistencia de la roca.
- Desviaciones en las características estructurales.
- Desviaciones geológicas.

- Desviaciones freáticas.
- Requerimientos sísmicos.
- Confiabilidad en los cálculos.
- Confiabilidad en el monitoreo de taludes.
- Diferentes escalas de falla de taludes.

Para poder evaluar, reducir y controlar la incertidumbre de la información base, los responsables de la captura de esta información deben referirse a los siguientes documentos corporativos:

- Guía 1: Guía para la Estimación de Propiedades Geomecánicas de la Roca Intacta, Estructuras Geológicas y Macizo Rocoso.
- Guía 2: Guía para el Mapeo Geotécnico de Sondajes, Bancos y Túneles.
- Guía 3: Guía para el Mapeo Geotécnico Digital de Bancos y Excavaciones Subterráneas.
- Guía 4: Guía para la Determinación de Coeficiente Sísmico para Diseño de Taludes en Rajo, Pilas de Lixiviación y Botaderos.
- Guía 5: Guía para la Caracterización Hidrogeológica en Rajo y Subterránea.
- Guía 6: Guía para la Captura de Información Básica en Rajo y Subterránea.

5.5.4.2 Tipos de Inestabilidades en Rajo Abierto

Las inestabilidades más comunes que se presentan en operaciones de Rajo abierto se pueden clasificar en dos grupos:

1. Con control estructural:
 - a. Cuña
 - b. Falla Plana
 - c. Volcamiento

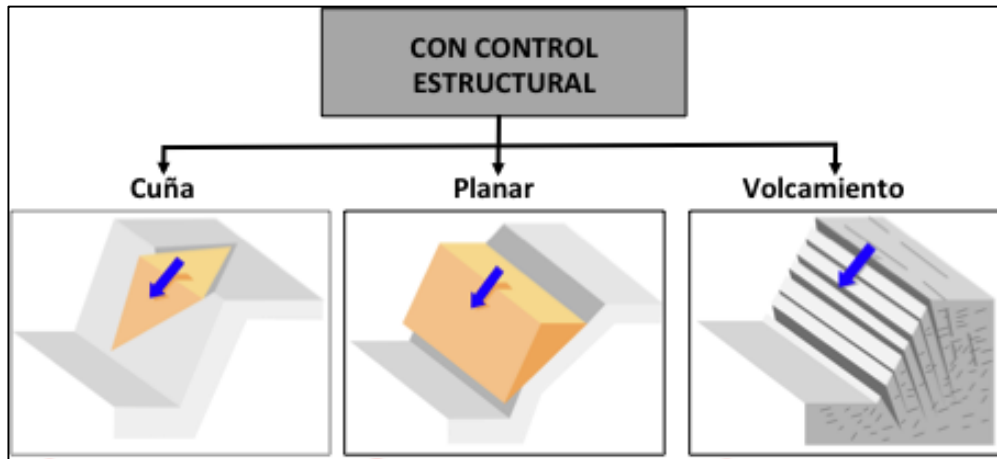


Figura 5.5 Posibles inestabilidades con control estructural.
(Fuente: Curso ECF 11 DMH, 2018)

- 2. Sin control estructural
 - a. Fallamiento circular
 - b. Caída de rocas

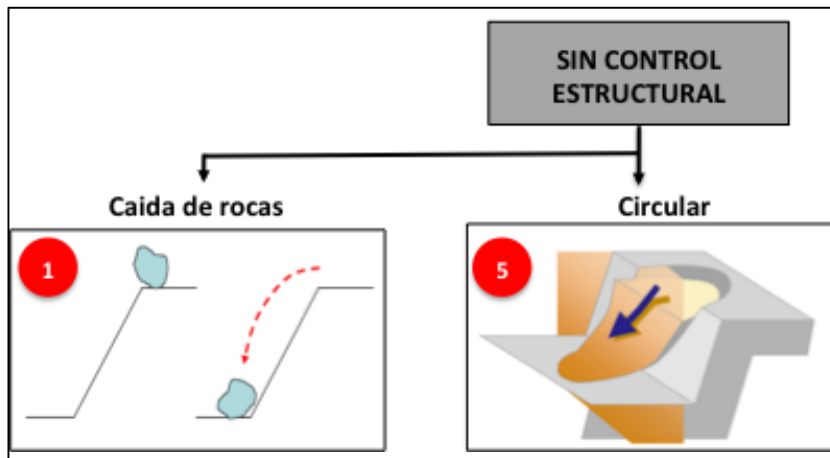


Figura 5.6 Posibles inestabilidades sin control estructural.
(Fuente: Curso ECF 11 DMH, 2018)

5.5.4.3 Herramientas y técnicas para realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos.

De acuerdo a las entrevistas realizadas las principales herramientas que se utiliza para realizar análisis de riesgos geotécnicos son:

- Definición de criterios de aceptabilidad
- Evaluación de la Probabilidad por el Impacto (Matriz de Riesgo Geotécnico)
- Análisis Banco – Berma, Inter-rampa y Global.
- Análisis Retrospectivo o back-análisis.
- Análisis Bow-Tie
- Juicio Experto.

5.5.4.4 Definición de criterios de aceptabilidad.

De acuerdo a la definición de las Guías Geotécnicas de Codelco, los Criterios de Aceptabilidad corresponden “al conjunto de requisitos que debe cumplir un talud para que su grado de estabilidad sea considerado aceptable. Usualmente el criterio de aceptabilidad depende de la magnitud y consecuencias de una eventual inestabilidad del talud considerado; y se define en términos de valores mínimos o máximos permisibles para uno o más de los siguientes parámetros:

- Factor de Seguridad
- Margen de Seguridad
- Probabilidad de Falla
- Índice de Confiabilidad.

Los criterios de aceptabilidad deben ser establecidos para poder definir que diseño es el correcto para determinada operación o que probabilidad de falla la organización está dispuesta a aceptar (Diaz, 2018).

La corporación cuenta con la “Guía Geotécnica N°9.- Definición de los criterios de aceptabilidad” en la cual se entregan los elementos y conceptos

básicos que deben ser considerados para definir modificar y/o revisar uno o más criterios de aceptabilidad en diseño geotécnico de taludes mineros.

La guía geotécnica N°9 debe ser utilizada por los responsables de llevar a cabo el diseño de taludes mineros, además requiere que los respectivos Ejecutivos y Gerentes deben comprender y definir el nivel de riesgo geotécnico que están dispuestos a aceptar durante su gestión.

5.5.4.5 Matriz de Riesgo Geotécnico en DMH

Las matrices de riesgo son muy utilizadas como medio de comunicación de los resultados principales de una evaluación de riesgo, se utilizan mucho para poder presentar los resultados del análisis de la probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias o impactos y su evaluación usando los criterios de aceptabilidad. En la corporación se tiene definida una matriz de 7x7 (ver Figura 5.7) Figura 5.7 Matriz de Riesgo DMH.

).

Impacto	Crítico	7	13	14	15	16	17	18	19
	Muy Alto	6	12	13	14	15	16	17	18
	Alto	5	8	9	10	11	15	16	17
	Significativo	4	7	8	9	10	11	15	16
	Medio	3	3	4	5	9	10	14	15
	Bajo	2	2	3	4	5	9	10	14
	Muy Bajo	1	1	2	3	4	5	6	10
			1	2	3	4	5	6	7
			Improbable	Remoto	Poco Probable	Posible	Probable	Muy Probable	Casi Seguro
Probabilidad/ Frecuencia									

Figura 5.7 Matriz de Riesgo DMH.
 (Fuente: Modelo Integral de Gestión de Riesgos y Controles DMH, 2017)

En DMH se realizó un análisis de probabilidad vs impacto con respecto a la inestabilidad de taludes, utilizando la metodología de riesgo inherente y riesgo residual, de acuerdo a este análisis una vez aplicados los controles el riesgo residual reduce de 19 (punto negro, figura 5.4) a 17 (punto gris, figura 5.4) pero aún se encuentra en una zona de alto impacto.

5.5.4.6 Análisis Banco – Berma, Inter-rampa y Global

De acuerdo a la Guía Geotécnica 7: Definición y Actualización Bases de Diseño Geotécnico, Análisis Banco-Berma, Inter-Rampa y Global, “En los taludes mineros con la sola excepción de rocas muy débiles o en el caso de macizos rocosos muy fracturados, la gran mayoría de los problemas de estabilidad en taludes rocosos ocurre con algún grado de control estructural; que influye en la cinemática de la inestabilidad, la superficie de ruptura y el volumen afectado. Así, si la inestabilidad está totalmente definida por estructuras, el control estructural es total y la superficie de ruptura queda definida por uno o más planos estructurales, originando los típicos deslizamientos planos, deslizamientos de cuñas o volcamientos de bloques que usualmente se describen en los textos de mecánica de rocas; mientras que si la inestabilidad queda solo en parte definida por una o más estructuras, el control estructural es parcial y parte de la ruptura ocurre a través del macizo rocoso.

Por otra parte, salvo aquellos casos donde se observa un mecanismo simple, típicamente asociado a un total control estructural, las inestabilidades de los macizos rocosos responden a mecanismos variados y complejos, que dependen de las características geológico-geotécnicas, estructurales e hidrogeológicas propias de cada talud. Esto dificulta la extrapolación de experiencias ganadas en un sitio a otro y, al mismo tiempo, hace necesario que el ingeniero encargado del análisis de la estabilidad de los taludes rocosos tenga un buen entendimiento de estas características y su efecto en los posibles mecanismos de falla que podría presentar el talud analizado.

Las condiciones de estabilidad que definen el mecanismo de falla en un talud, pueden ser originado en un macizo rocoso por las siguientes condiciones:

- Fallamiento del macizo rocoso controlado completamente por estructuras.
- Fallamiento del macizo rocoso controlado parcialmente por estructuras.
- Fallamiento del macizo rocoso sin control estructural.

El detalle completo de cómo realizar este análisis está descrito en la “Guía Geotécnica 7: Definición y Actualización Bases de Diseño Geotécnico, Análisis Banco-Berma, Inter-Rampa y Global”

En la siguiente figura se presenta un esquema general del análisis del sistema banco – berma.

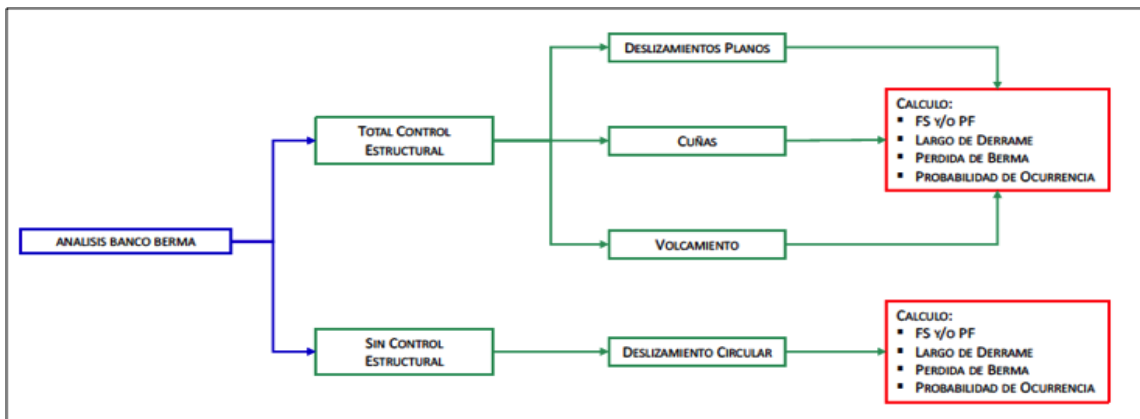


Figura 5.8 Esquema de la metodología para realizar análisis banco-berma.

(Fuente: Guía 7 Definición y Actualización de Bases de Diseño)

5.5.4.7 Análisis Retrospectivo o Back-análisis.

Es un enfoque descriptivo que revisa acciones pasadas, con el objetivo de llegar a conclusiones veraces y entender el porqué de algunas situaciones actuales. Se trata de una recopilación de datos empíricos que nos permiten una solución o comprensión de un fenómeno que sucedió o que está en proceso de desarrollo. Los análisis retrospectivos, en general, deben cubrir los siguientes dos focos básicos y principales:

- Foco Cualitativo, que se refiere a entregar respuestas conceptuales en relación al evento o caso de interés. Por ejemplo, realizar hipótesis y llegar

a la definición del mecanismo de falla (singular o mixta) que generó la inestabilidad o deslizamiento.

- Foco Cuantitativo, relacionado con magnitudes de conjunto de propiedades o parámetros geotécnicos de interés que necesitan ser validados y/o calibrados para mejorar u optimizar los diseños futuros. Por ejemplo, la resistencia al corte de fallas geológicas y/o del macizo rocoso.

Para un adecuado proceso de análisis retrospectivo se recomienda seguir los siguientes pasos generales:

1. Caracterización del evento de interés
2. Clasificación del evento
3. Consultas de factores y causa “raíz” del evento
4. Definir el tipo de análisis y herramienta
5. Ejecutar un análisis de sensibilidad y del tipo paramétrico
6. Conclusiones y recomendaciones

Para el desarrollo de análisis retrospectivos de situaciones de estabilidad/inestabilidad en Ingeniería Geotécnica se recomienda usar como base el siguiente diagrama resumido.

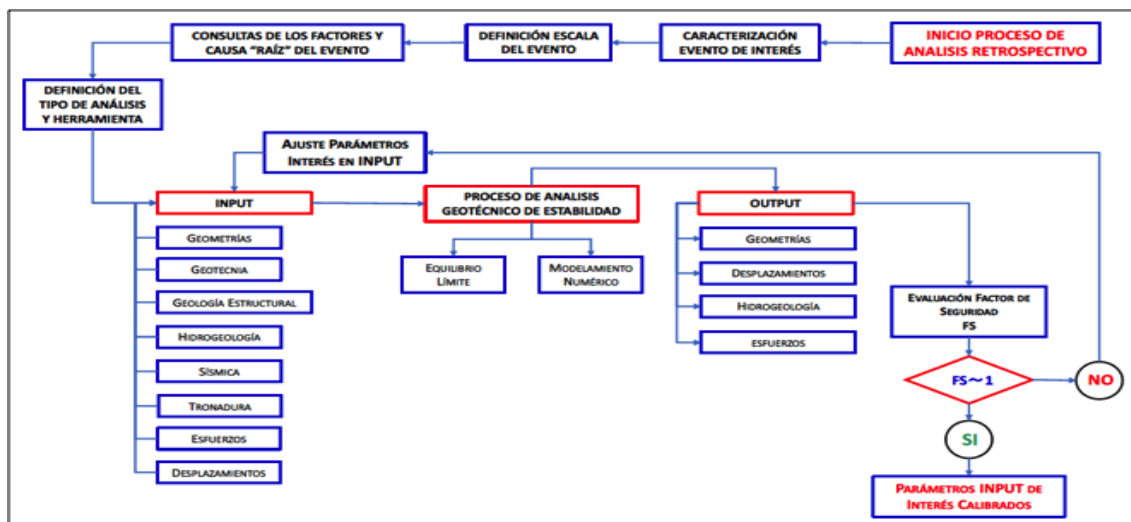


Figura 5.9 Proceso de Back-análisis.
(Fuente: Guía Geotécnica 8, 2017)

Para el detalle de este análisis en particular se debe seguir los pasos de acuerdo a lo definido en la Guía 8.- Análisis Retrospectivo o Inverso.

5.5.4.8 Análisis Bow-Tie.

El Bow-Tie es una herramienta de análisis sencilla que es muy utilizada para la evaluación y análisis de riesgos. Es un método visual que describe y analiza los caminos entre causas y consecuencias de un cierto riesgo (Ormella, 2016). En nuestro caso la presencia de una posible inestabilidad.

En la Figura 5.10 Análisis Bow-Tie Inestabilidad de Taludes.
se muestra un análisis bow-tie en base a las posibles causas que podrían generar una inestabilidad de taludes y que se encuentran detalladas en la Figura 5.4 Posibles causas de futuras inestabilidades.

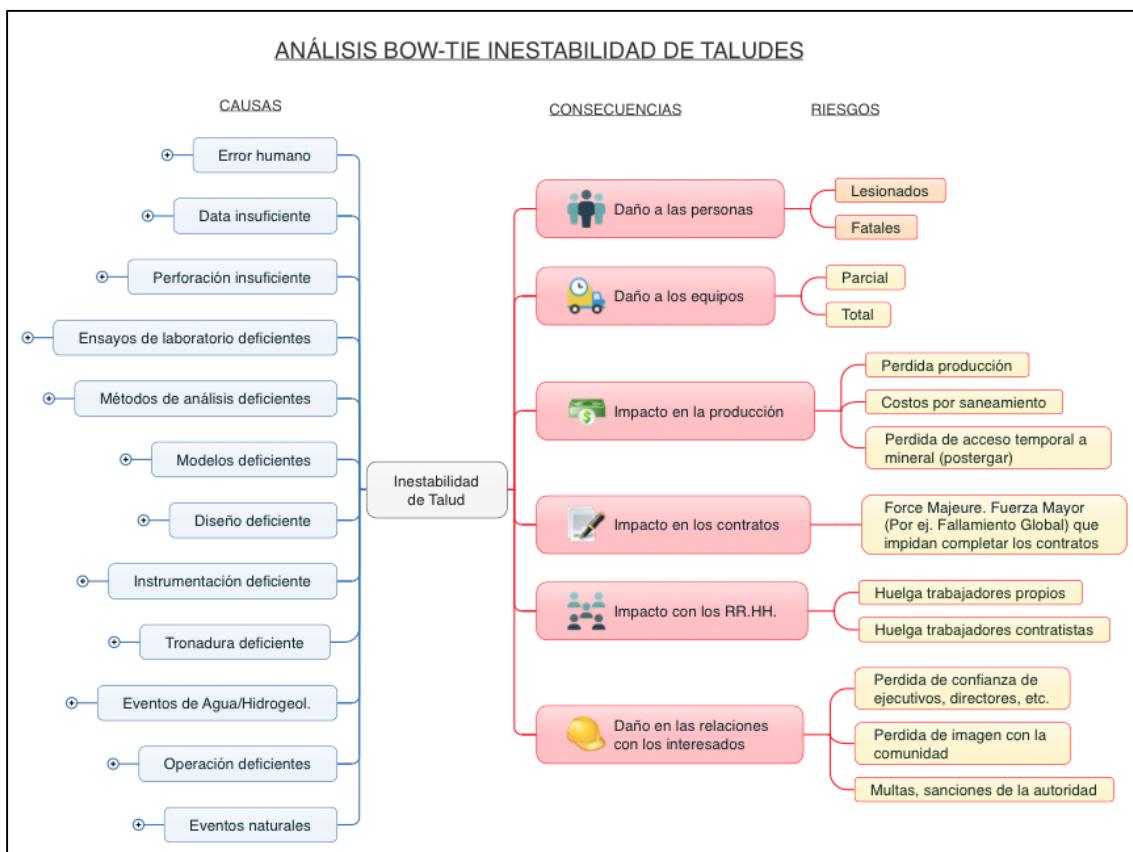


Figura 5.10 Análisis Bow-Tie Inestabilidad de Taludes.
(Fuente: Modificado de Tapia, 2007)

5.5.4.9 Juicio de Expertos

De acuerdo al PMBOK el juicio de expertos aporta en la identificación de los impactos potenciales, para evaluar la probabilidad de ocurrencia, también pueden intervenir en la interpretación de los datos y en la identificación de las debilidades de las herramientas de análisis utilizadas, determinando si es la más adecuada o no. Todo esto considerando las capacidades y la cultura del equipo de trabajo y la organización.

De acuerdo a los resultados de las entrevistas, todas las áreas entrevistadas trabajan, de forma regular, con expertos externos en las diferentes áreas que requiere la geotecnia.

5.5.4.10 Resumen herramientas de análisis recomendadas

En la siguiente tabla se hace un resumen de las Herramientas de análisis de riesgo geotécnico para las diferentes etapas de un proyecto (fase) a rajo abierto.

Etapa	Tipo de Análisis Recomendado
Planificación	Cualitativo Bow- Tie Juicio Experto Determinar nivel de incertidumbre
Diseño	Cualitativo Cuantitativo Bow-Tie Probabilidad vs Impacto Juicio Experto Definición Criterios de Aceptabilidad Determinar nivel de incertidumbre
Desarrollo	Cuantitativo Bow-Tie Back Análisis Juicio Experto Categorización Determinar nivel de incertidumbre

**Tabla 5.1 Herramientas sugeridas para un análisis de riesgo.
(Fuente: Modificado del LOP, 2009)**

5.5.5 Planificar respuesta a los riesgos geotécnicos

De acuerdo al PMBOK “Planificar la Respuesta a los Riesgos (geotécnicos) es el proceso de desarrollar opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que debe abordar los riesgos en función de su prioridad, introduciendo recursos y actividades en el presupuesto, el cronograma y el plan para la dirección del proyecto, según las necesidades”.

De acuerdo a los resultados de las entrevistas realizadas y sobre los resultados tabulados de las encuestas a profesionales del área, esta actividad es la menos desarrollada (en las diferentes superintendencias consultadas) dentro del ciclo de la gestión de los riesgos geotécnicos. En general muchas veces que se presentan riesgos geotécnicos durante la operación del yacimiento, varios de ellos ya se habían presentado en condiciones bastante similares, pero no existe, en la mayor parte de los casos, registros formales de ellos. Tampoco se tiene un plan o planes de respuesta a los riesgos geotécnicos más comunes.

Para esta etapa de la gestión de los riesgos geotécnicos identificados en la operación, el PMBOK sugiere considerar lo siguiente:

- Cada respuesta requiere una comprensión del mecanismo por el cual se abordará el riesgo.
- Debe identificarse y asignarse una persona específica responsable.
- Las respuestas a los riesgos deben adecuarse a la importancia del riesgo, ser rentables, realistas dentro del contexto, acordadas por todas las partes involucradas.
- Ideal poder seleccionar la respuesta óptima entre varias opciones.
- Definir la periodicidad de las revisiones.

La estrategia que se sigue en los casos de tener riesgos con impacto negativo son: Evitar, Transferir y Mitigar. También, bajo ciertos aspectos, se puede considerar el Aceptar. Las estrategias de Evitar y Mitigar generalmente se

utilizan para riesgos críticos de alto impacto, por otro lado las estrategias de Transferir y Aceptar se utilizan para riesgos menos críticos y con bajo impacto global.

Algunas de las opciones que se mencionan en la Guía para el Diseño de Taludes, con respecto a tratamientos de riesgos geotécnicos asociados a operaciones de rajo abierto son:

- Evitar el riesgo no empezando o continuando la actividad que generó el riesgo geotécnico (inestabilidad).
- Cambiar la probabilidad de ocurrencia del evento que genera el riesgo, por ejemplo cambiando el ángulo interrampa del talud, de tal forma que se reduce la probabilidad de resultados negativos.
- Cambiar las consecuencias del evento para reducir las posibles pérdidas o lesiones, por ejemplo cambiando el tamaño potencial de un fallamiento, reduciendo la altura del talud.
- Compartir el riesgo con otras partes, a través de contratos, participaciones o joint ventures.
- Reteniendo el riesgo y buscando como administrarlo.

En el punto **5.5.6 Controlar los riesgos geotécnicos** se mencionan algunas estrategias para el control de las posibles inestabilidades.

5.5.5.1 Gestión de la información de eventos geotécnicos.

Uno de los resultados relevantes de la encuesta tiene relación con la gestión de la información de los eventos geotécnicos históricos, actualmente no existe una forma de documentar formalmente los eventos geotécnicos, sin embargo existe evidencia muy importante de eventos pasados que podrían aportar en la planificación de las respuesta a futuros eventos.

A continuación se plantea la implementación de un sistema de documentación de lecciones aprendidas, dividido en tres etapas, desde la recolección de información en un pc local hasta la implementación de una base de

datos Divisional (Distrital). En la Figura 5.11 Sistema de gestión de lecciones aprendidas (L.A.).

se muestra el detalle de las tres etapas propuestas.

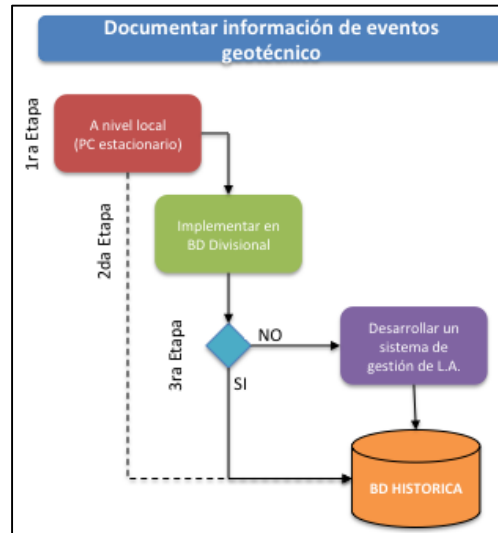


Figura 5.11 Sistema de gestión de lecciones aprendidas (L.A.).
(Fuente: Elaboración propia, 2018)

5.5.6 Controlar los riesgos geotécnicos

De acuerdo al PMBOK “Controlar los Riesgos es el proceso de implementar los planes de respuesta a los riesgos, dar seguimiento a los riesgos identificados, monitorear los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a través del proyecto”.

En base a las respuestas de las encuestas y entrevistas realizadas en la presente investigación, además de la evidencia que existe en las unidades de análisis operativas, esta etapa de la gestión de los riesgos geotécnicos, es una de las más desarrolladas en la etapa operativa del proyecto, debido principalmente a los estándares y requisitos que tiene la organización para controlar las inestabilidades de taludes en operaciones a rajo abierto.

Dado que la principal energía involucrada en los riesgos geotécnicos es la gravedad, Joy y Griffiths (2005) sugirieron una estrategia general de seis puntos para poder controlar los peligros asociados a liberación de energías no deseadas.

Esta tabla fue adaptada para fallamientos de talud en rajos abiertos, gatillados por energía gravitacional.

Es importante establecer en todos los casos cuan efectivos fueron los controles implementados. Puede que algunos controles no sean implementados de la forma que fueron diseñados, por lo que podrían entregar menor protección contra riesgo identificado.

Nº	ESTRATEGIA	EJEMPLOS
1	Prevenir la redistribución de la energía.	No realizar minería o extracción.
2	Reducir la cantidad de energía redistribuida.	Bajar ángulos de talud (más horizontales). Usar "dewatering" para despresurizar el talud.
3	Prevenir la liberación de energía.	Robustecer el diseño y los procedimientos de minería. Construir un soporte (buttress) en la cara del talud.
4	Modificar la tasa de liberación o la distribución espacial de la energía	Bajar la tasa de extracción con respecto a lo planificado. Incrementar la tasa de "dewatering"
5	Separar la liberación de energía y la posible estructura en tiempo y espacio.	Permitir un periodo de reposo después de la tronadura. Monitoreo, planes de gestión geotécnica y procedimientos de evacuación.
6	Separar la liberación de energía de la posible estructura con una barrera	Instalar barreras de contención y bermas de seguridad. Incrementar los anchos de bermas en los bancos (desacoples).

Tabla 5.2 Estrategias para prevenir y gestionar el efecto de la liberación de energía gravitacional que active un fallamiento de talud.
(Fuente: Joy & Griffiths, 2005)

5.5.6.1 Jerarquización de controles.

En la Tabla 5.3 se presenta una jerarquización de controles para riesgos geotécnicos que ponen en peligro la seguridad de las personas. Es muy importante reevaluar el riesgo con las medidas de control implementadas para determinar si el riesgo residual es aceptable.

Nº	CONTROL	DESCRIPCIÓN
1	Eliminación	Si es posible, eliminar el riesgo, para que no llegue al trabajador.
2	Substitución	Se puede reorganizar el plan de extracción o se puede extraer otra área para reducir el riesgo?
3	Aislación	Realizar la tarea utilizando métodos/equipos remotos
4	Controles de Ingeniería	Cambiar el diseño de la fase o usar barreras duras y monitoreo para hacer el proceso más seguro
5	Administración	Generar procedimientos específicos, entrenamiento de competencias, procedimientos estándar de operación. Monitoreo con planes de respuesta a la acción de gatillo el riesgo.
6	EPP	Botas de seguridad, casco, guantes, protección auditiva, etc. (último recurso, depende del comportamiento del trabajador para reducir el riesgo)

Tabla 5.3 Jerarquización de los controles.
(Fuente: Guía para el diseño de taludes, 2017)

En la Tabla 5.4 se resumen las medidas de control geotécnico más comunes que se utilizan en operaciones tipo rajo abierto, están agrupadas en las siguientes tres categorías: detectar movimiento del talud, reducir el impacto de fallamientos de talud y caída de rocas, y controlar el desplazamiento de los taludes

Nº	PELIGRO/RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
1	Movimiento del Talud.	Detectar movimiento mediante: monitoreo del talud, mapeo de bancos, full control, instalar extensómetros, prismas, piezómetros.
2	Fallamiento del Talud.	Reducir el impacto de un fallamiento mediante: Incrementar las bermas (desacoples), incrementar sistemas de contención, reducir el ángulo de talud, aislar la pata de los bancos (pretilas), soporte secundario (mallas).
3	No controlar el movimiento del talud.	Despresurización, tronaduras adecuadas, soportes (buttress), reforzamiento del macizo.

Tabla 5.4 Medidas de control geotécnico comunes en rajos.
(Fuente: Guía para el diseño de taludes, 2017)

En muchas ocasiones las medidas de control que se deben tomar son simples y no hay muchas alternativas, pero en ciertas ocasiones las opciones no

serán muy evidentes y deberá realizarse una evaluación de las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

En base al análisis Bow Tie realizado por DMH para el riesgo de inestabilidad de taludes, se deben asegurar los siguientes controles:

- Asegurar la captura de información base correcta y oportuna.
- Asegurar la correcta y oportuna actualización de los modelos geotécnicos.
- Elaboración, validación y aprobación de Bases Geotécnicas
- Revisión indicadores Full Control
- Auditorías GRB - Geotechnical Review Board.
- Monitoreo continuo a taludes.
- Simulacros de evacuación de mina / Plan de Emergencia.

5.5.6.2 Monitoreo Geotécnico de Taludes.

El monitoreo geotécnico fue uno de los puntos más altos en los resultados de las encuestas y entrevistas realizadas para la presente investigación, todas las unidades de análisis destacan la importancia de los sistemas de monitoreo y plan de comunicación, las unidades operativas coinciden en los tipos y cantidades de equipos que se cuentan para realizar dicha tarea y todo el personal técnico responsable de la información geotécnica destaca la importancia de este control.

Esto está en línea con los requerimientos corporativos exigidos en los Estándares de Control de Fatalidades (ECF), donde se en los requisitos a la organización se menciona: “Disponer de una estrategia para el control de estabilidad de terreno, que considere a lo menos frecuencia de monitoreo, recursos, medidas de control, alertas y verificación de la efectividad de las medidas de control”. Además está identificado como uno de los controles críticos de terreno (Regla N° 5: Caída de rocas, derrumbes, colapso de talud, fallamiento de pilas mina rajo, botaderos, pilas por falla de terreno) en las “Reglas que salvan la vida”.

De acuerdo a las guías de diseño de taludes, los objetivos principales del monitoreo de taludes son:

- Mantener condiciones de operación seguras para proteger al personal y equipos de la mina.
- Contar con alertas tempranas de potenciales zonas inestables de tal forma que los planes puedan ser modificados para minimizar el impacto de las inestabilidades.
- Proveer información geotécnica para: el análisis de cualquier mecanismo de inestabilidad que se desarrolle, diseñar los planes de respuesta apropiados y servir como base para futuros diseños.
- Evaluar el rendimiento del diseño de talud implementado.

Algunas de las acciones/sistemas que se deben considerar para el monitoreo geotécnico durante la operación de los rajos son:

- Inspección visual (full control, mapeo).
- Medición de grietas, manual o con extensómetros.
- Fotogrametría.
- Escaneo Laser.
- Control con radares (incluye control satelital InSAR).
- Inclínómetros.

Respecto a la instrumentación que va típicamente en pozos, estos son:

- Inclínómetros
- TDR (time domain reflectometers)
- Extensómetros
- Geófonos microsísmicos
- Piezómetros

Actualmente DMH cuenta con la siguiente instrumentación:

- 5 Georadares.
- 2 Estaciones totales robotizadas.
- 350 prismas aprox.
- 5 Inclínómetros y 13 piezómetros.

Con lo que asegura el corto plazo, pero deben trabajarse en los requerimientos y necesidades para los desafíos a mediano plazo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

6.1 RESPECTO A LAS PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN.

¿Cómo puedo gestionar de forma más eficiente los riesgos geotécnicos del proyecto, que afectan a la seguridad, producción y costos del proyecto?

El trabajo de investigación indica que se debe implementar un sistema predictivo, a partir de mejorar la información que se genera para las siguientes fases. Se evidencia que existe un excelente control de los principales riesgos geotécnicos identificados para este tipo de operación. Específicamente la instrumentación geotécnica que está disponible en todas las unidades de análisis operativas presenta el mismo estándar, con tecnología de última generación y existe servicios y recursos destinados a la operación de dicha instrumentación. De acuerdo a los resultados de la información de la UA1, uno de los puntos que se podría mejorar en este aspecto es la cantidad de tiempo que se destina para el análisis de la información. Se mencionó que actualmente se están desarrollando proyectos de innovación en esta materia.

Se demostró que la calidad y cantidad de información base geotécnica que se cuenta es relevante al momento de evaluar los riesgos geotécnicos, ya que el grado de incertidumbre de la información está directamente relacionada con el riesgo geotécnico y una manera de poder reducir la posibilidad de futuras inestabilidades es contando con modelos y base de datos acordes a la etapa correspondiente del proyecto. Durante el 2017 la corporación emitió los “estándares geotécnicos y geomecánicos para proyectos mineros” donde se entrega datos cuantificados para medir las diferentes etapas de un proyecto, esto es muy relevante ya que antes de contar con esta referencia, no había un consenso de cuáles eran los parámetros y las cantidades que se debería contar para poder asegurar el desarrollo de una etapa, desde un punto de vista geotécnico.

Respecto a la seguridad, todas las unidades de análisis mostraron un estándar alto en seguridad, esto acorde con el ámbito donde se desarrollan.

¿Cómo asegurar que el proyecto cuenta con la información geotécnica más adecuada para la toma de decisiones?

A través de la aplicación de los estándares y guías geotécnicas, además de la planificación anticipada de la captura de información, los documentos mencionados describen en detalle la cantidad y calidad de información que se requiere para el desarrollo de las siguientes fases.

¿Cómo asegurar la transferencia de las lecciones aprendidas, especialmente desde un punto de vista geotécnico, de una fase a otra del proyecto y de proyectos similares?

A través de la implementación de un sistema formal de documentación de lecciones aprendidas, esto puede contribuir en forma directa a la gestión de los riesgos geotécnicos de las siguientes fases a desarrollar, actualmente no existe en ninguna de las unidades de análisis un sistema formal de documentación de lecciones aprendidas, la mayor parte de esta información reside en computadores locales o respaldos personales de los profesionales de las distintas superintendencias.

¿Cómo asegurar que se considere los recursos humanos, técnicos y financieros que requiere el proyecto en sus diferentes fases?

A través de la implementación de un sistema formal de gestión de riesgos geotécnicos, donde se especifiquen todos los recursos necesarios para desarrollar las correspondientes etapas.

¿Cómo gestionar el conocimiento y captar el conocimiento del capital humano?

Las reuniones multidisciplinarias que se llevan a cabo regularmente entre los responsables de la información base, diseño, planificación e implementación,

proporcionan la transmisión de conocimiento entre las diferentes áreas, donde no sólo se revisan las posibles amenazas en la implementación de los diseños, sino también se planifica posibles respuestas (reuniones pre-semanal, dewatering y full control). Como se mencionó anteriormente no existe una base de datos formal que capture esta información tan relevante.

6.2 RESPECTO A LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

Con respecto a las hipótesis de la investigación, los resultados de las mismas, permite expresar lo siguiente:

6.2.1 Hipótesis de primer grado

Hipótesis 1: Implementar la metodología de Gestión de Riesgo del PMI ayudará a identificar, analizar y gestionar los riesgos geotécnicos con la debida anticipación para planificar las respuestas de los riesgos geotécnicos mineros del proyecto.

Hipótesis 2: Implementar una metodología de Gestión del Conocimiento permitirá la transmisión de lecciones aprendidas, minimizando los riesgos, así como a lograr que el proyecto se desarrolle en los plazos y costos establecidos.

Por confirmar cuando se implemente la metodología PMI para la gestión de los riesgos. En base a investigaciones de otras divisiones, contar con modelos que cumplen los niveles de confiabilidad requeridos ha dado resultados favorables. En la presente investigación también queda en evidencia que no existe una etapa formal de planificación de la respuesta a los riesgos geotécnicos, su implementación mejorará la predicción de posibles inestabilidades futuras, entregando mayor seguridad y continuidad operacional del negocio.

6.2.2 Hipótesis de segundo grado

Hipótesis de segundo grado 1: Una correcta gestión de riesgos geotécnicos asegura contar con los recursos humanos, técnicos y financieros adecuados, lo que impactará directamente en la seguridad de los trabajadores y trabajadoras, a

través de la identificación y anticipación de posibles eventos, además de cumplir las metas de costos y plazos del proyecto.

Quedó demostrado en los resultados de las encuestas tabuladas y las entrevistas realizadas, que las etapas de los proyectos que tuvieron una adecuada gestión del conocimiento pudieron identificar más riesgos geotécnicos que las otras etapas con deficiente gestión del conocimiento

6.3 RESPECTO A LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Respecto de los objetivos de la investigación se tiene que:

6.3.1 Objetivo General

Desarrollar una guía para implementar la metodología del PMI en la gestión de los riesgos geotécnicos mineros de un proyecto de explotación a rajo abierto.

El entregable de la presente investigación corresponde a una guía para la gestión de los riesgos geotécnicos en operaciones de rajo abierto, cumpliendo con el objetivo general definido al inicio, que entrega lineamientos a seguir, con el objetivo de tratar de identificar y controlar o minimizar los riesgos geotécnicos del proyecto.

6.3.2 Objetivos Específicos

Respecto a los objetivos específicos:

Implementar una metodología de gestión de riesgos minero para el proyecto en el área específica de la geotecnia.

En base a la información revisada, los resultados de las entrevistas y encuestas se lograron generar una propuesta para que pueda ser evaluada por los responsables de la geotecnia en DMH. Esta propuesta está realizada en base a la metodología del PMI.

Documentar la información de los diferentes riesgos geotécnicos identificados en las diferentes fases del proyecto.

Como parte de la guía se propone implementar una ficha para la documentación de información relacionada a inestabilidades de taludes, empezando así a construir una base de datos formal relacionada a este tema.

Identificar los requerimientos técnicos, humanos y financieros para cada fase del proyecto y plantear una estructura de cómo se debería desarrollar cada una de ellas.

Como parte de la planificación de la gestión de los riesgos geotécnicos, no solo se refiere al contexto interno, sino también se considera establecer el contexto externo, dando como resultado una estructura para desarrollar la correspondiente fase.

6.4 RESPECTO A LAS PROPOSICIONES TEÓRICAS

Con respecto a las proposiciones teóricas podemos decir lo siguiente:

FA 1.1 Madurez del área en gestión de proyectos

FA 1.2 Madurez del manejo del riesgo.

A partir del resultado obtenido se pudo observar que la SGEOT está en un nivel alto de madurez, acorde con las exigencias del ámbito minero donde está inserta.

FA 2 Modelo de Gestión

Después de realizar una medición de la información disponible para las siguientes fases, quedó en evidencia que si no existe una correcta gestión, tanto el financiamiento como la información corren riesgo

FA 3. Gestión de Riesgo de la SGEOT

Quedó en evidencia la importancia de contar con la información necesaria en el tiempo requerido para el proyecto. Es de vital importancia tener el tiempo suficiente para realizar los análisis correspondientes.

FA 4 Modelo de Competencias

Parte de los resultados obtenidos en la información revisada comprobó que la calidad de la información está directamente relacionada a la solidez del equipo a cargo.

6.5 RESPECTO AL MARCO REFERENCIAL.

El marco referencial sirvió para definir los límites para el desarrollo de la presente investigación, de una forma coherente, tomando como base las hipótesis y los diferentes objetivos planteados.

Si bien cada superintendencia de geotecnia (unidad de análisis) es particular, lo planteado en el marco referencial puede ser aplicado a cada una de dichas unidades, con mínimos ajustes o adaptaciones, teniendo como fin principal la gestión de los riesgos geotécnicos identificados.

6.6 RESPECTO A LA METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología utilizada en la presente investigación, permitió realizar un trabajo consistente en base a experiencias y situaciones reales, con aportes de profesionales que están involucrados en el tema y tienen mucha experiencia en el área.

Sus herramientas y técnicas proporcionaron una secuencia lógica a la investigación, ordenando la recolección de datos desde las distintas fuentes de investigación, para posteriormente tratar, primero de forma individual y posteriormente en forma integral, toda la información recolectada, lo cual fue determinante para dar respuesta a las interrogantes planteadas y finalmente permitiendo construir el producto objetivo, planteado al inicio del trabajo de investigación.

6.7 RESPECTO A LA IMPORTANCIA DEL TEMA INVESTIGADO Y LAS NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

La realidad de la industria en la cual se desarrollan los proyectos de explotación a rajo abierto, cada día exigen mayores y mejores estándares de seguridad, es por esta razón que la importancia del presente trabajo radica en el valor que le entrega a la organización, entregando herramientas sencillas que pueden permitir asegurar los cumplimientos en los ámbitos de seguridad, calidad y costos.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, S., 2000. Identifying and Managing Risk in International Mining Projects.

National Western Mining Conference. Davis Graham & Stubbs LLP. November 2000.

AS/NZS ISO 31000, 2009. Risk Management – Principles and Guidelines.

Standards Australia. Prepared by Joint Technical Committee OBI-007. Published on 20 November 2009.

Australian Government, 2008. Risk Assessment and Management. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry.

Department of Resources Energy and Tourism of Australia.

Calderón and Tapia, 2006. Slope-Steepening Decision Using Quantified Risk Assessment: The Chuquicamata Case.

ARMA, American Rock Mechanics Association

Chinbat, U., 2011. Risk Analysis in the Mining Industry, Risk Management in Environment, Production and Economy

Dr. Matteo Savino Ed., ISBN: 978-953-307-313-2, InTech.

<http://www.intechopen.com/books>.

Corporación Nacional del Cobre, 1997. Estándares Geotécnicos para Proyectos Mineros-Metalúrgicos.

Superintendencia Ingeniería Geotécnica, Subgerencia Planificación y Gestión Estratégica.

Corporación Nacional del Cobre, 2002. Estándares Geotécnicos para Proyectos Mineros-Metalúrgicos

Superintendencia Ingeniería Geotécnica.

Corporación Nacional del Cobre, 2012. Nota Interna SUP-GEOT N°076/2012. División Chuquicamata.

Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo. Superintendencia de Geotecnia. Julio 2012. (SUP_GEOT_76_12.pdf).

Corporación Nacional del Cobre, 2015. Manual del sistema de inversión de capital.

SIC-M-001, Rev. 7. Codelco.

Corporación Nacional del Cobre, 2016. Estándares Geotécnicos y Geomecánicos para Proyectos Mineros.

Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo. Dirección de Geociencias. Rev. 01.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 1: Guía para la Estimación de Propiedades Geomecánicas de la Roca Intacta, Estructuras Geológicas y Macizo Rocoso.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 10: Plan de Alerta y Contingencia Operativa.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 10: Reportabilidad de Inestabilidades Geotécnicas.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 2: Guía para el Mapeo Geotécnico de Sondajes, Bancos y Túneles.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 3: Guía para el Mapeo Geotécnico Digital de Bancos y Excavaciones Subterráneas.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 4: Guía para la Determinación de Coeficiente Sísmico para Diseño de Taludes en Rajo, Pilas de Lixiviación y Botaderos.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 5: Guía para la Caracterización Hidrogeológica en Rajo y Subterránea.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 6: Guía para la Captura de Información Básica en Rajo y Subterránea.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 7: Definición y Actualización Bases de Diseño Geotécnico.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 8: Guía Geotécnica Análisis Geotécnico Retrospectivo o Inverso.

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Corporación Nacional del Cobre, 2017. Guía 9: Definición de los Criterios de Aceptabilidad (Factor de Seguridad y Probabilidad de Falla).

Vicepresidencia Operaciones Norte. Gerencia de Desarrollo Distrito Norte. Dirección de Ingeniería Geotécnica. Codelco – Chile.

Foster, P. and Houlst S., 2013. The Safety Journey: Using a Safety Maturity Model for Safety Planning and Assurance in the UK Coal Mining Industry.

Minerals 2013. <http://www.mdpi.com/journal/minerals>.

Gómez-Senent, E., González-Cruz, MC. y Cupz-Rizo, S., 2010. Análisis de las competencias de la NCB3_ICB3 de IPMA en Relación con la Teoría del Proyecto.

XIV International Congress on Project Engineering.

Hoek, 2006. Practical Rock Engineering

<http://www.rocscience.com>.

ISO 31000, 2009. Risk Management – A Practical Guide for Small and Medium Enterprises (SMEs).

<http://www.iso.org>.

NSW Department of Minerals Resources, 2011. MDG 1010: Minerals Industry Safety and Health Risk Management Guideline.

Produced by Mine Safety Operations Branch, Sydney. Trade & Investment Mine Safety.

Olivares, F., 2014. Gestión de Riesgos en Mega Proyectos, y su Aplicación al Proyecto Caserones.

Tesis para optar al grado de Magister en Gestión y Dirección de Empresas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile.

Ormella, C., 2016. Introducción al Bow-Tie para el Análisis de Riesgos. Gestión y Auditoría de Riesgos y Seguridad de la Información.

<http://www.angelfire.com/la/revistalanandwan>

Read and Stacey. 2009. Guidelines for Open Pit Slope Design, Suggested levels of geotechnical effort and target levels of data confidence by project state.

Tapia, M., 2013. Manejo de Riesgos Geotécnicos en la Construcción de Obras de Infraestructura.

Construction Summit 2013, Costa Rica.

Terbrugge, J., Wesseloo, J., Venter, and Steffen O., 2006. A Risk Consequence Approach To Open Pit Slope Design.

The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy.

Yin, R., 2009. Case Study Research: Design and Methods.

Second Edition, Applied Social Research Methods Series Volume 5.

ANEXO 1
GUÍA GESTIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO

ANEXO II
EVALUACIÓN MADUREZ

ANEXO III
EVALUACIÓN MODELO DE GESTIÓN

ANEXO IV
EVALUACIÓN GESTIÓN RIESGO GEOTÉCNICO

ANEXO V
EVALUACIÓN MODELO DE COMPETENCIAS