



FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
ESCUELA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIOAMBIENTE

**“Gestión de Riesgos Laborales y Ambientales en el Área de Lixiviación, de
Planta San Lorenzo, Compañía Minera San Gerónimo, basada en Norma ISO
31.000, Of. 2009”**

Tesis para optar al Grado de Magíster en Gestión Ambiental

ENZO BONILLA PÉREZ

Profesor Guía: M.Sc. Niris Cortés Pizarro

Coquimbo, 23 de Mayo de 2016



FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
ESCUELA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIOAMBIENTE

Los miembros de esta comisión designada para revisar la tesis de Magíster en Gestión Ambiental de ENZO BONILLA PÉREZ, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el grado de Magíster en Gestión Ambiental.

Fecha: 23 de mayo de 2016

Aprobado por Comisión de Calificación:

Dr. Alfonso Silva Arancibia
Decano

M.Sc. Niris Cortés Pizarro
Profesor Guía

Dr. Alejandro Aron Neumann
Profesor Corrector

M.Sc. José Bakit San Martín
Profesor Corrector

M.Sc. Begoña Peceño Capilla
Profesor Corrector



FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
ESCUELA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIOAMBIENTE

DECLARACIÓN DEL AUTOR

Se permiten citas breves sin permiso especial de la Institución o Autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. En cualquier otra circunstancia, se deberá solicitar permiso de la Institución o Autor.

Enzo Bonilla Pérez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme las fuerzas para terminar este tan anhelado trabajo y por permitirme cumplir otro de mis grandes sueños.

A mi familia, por su apoyo constante y su aliento en los momentos de flaqueza. Este logro es para ustedes.

A Compañía Minera San Gerónimo, por brindarme su apoyo para poder terminar con este trabajo.

A mi profesora Guía, por su apoyo y por creer en mí en todo momento, sin usted esto no habría sido posible

A mis amigos, por sus palabras de aliento y por acompañarme en todos aquellos momentos en que creí que no podría lograr terminar. ¡Muchas Gracias!

“No le pongas excusas a lo que no puedes terminar. Enfócate en todas aquellas razones por las que debes hacer que suceda”. (Ralph Marston)

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado, un esfuerzo total es una victoria completa”. (Mahatma Gandhi)

Enzo Bonilla Pérez

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	3
	A. Objetivo General.....	3
	B. Objetivos Específicos.....	3
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
	3.1. Marco de aplicación de la herramienta.....	4
	3.1.1. Contexto Estratégico.....	4
	3.1.1.1. Análisis del Entorno.....	4
	3.1.1.2. Análisis Interno.....	5
	3.1.1.3. Aspectos Financieros, Competitivos, Corporativos, Sociales y Culturales.....	5
	3.1.1.4. Aspectos Legales.....	5
	3.1.2. Contexto Organizacional.....	7
	3.1.3. Contexto Operacional.....	8
	3.2. Variables operacionales críticas desde el punto de vista ambiental y de seguridad	8
	3.3. Herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la norma ISO 31.000, Of. 2009.....	9
	3.4. Aplicación de la herramienta al área de Lixiviación, en Planta San Lorenzo, de Compañía Minera San Gerónimo.....	10
IV.	RESULTADOS.....	12
	4.1. Marco de aplicación de la herramienta.....	12
	4.1.1. Contexto Estratégico.....	12
	4.1.1.1. Análisis del Entorno.....	12
	4.1.1.1.1. Accidentabilidad Laboral y Ambiental.....	12
	4.1.1.1.2. Nuevas Normativas e Institucionalidad Ambiental.....	20
	4.1.1.1.3. Gestión de Riesgos e ISO 31.000, Of. 2009.....	24
	4.1.1.2. Análisis Interno.....	37
	4.1.1.3. Aspectos Financieros, Competitivos, Corporativos, Sociales y Culturales.....	39
	4.1.1.4. Aspectos Legales.....	41
	4.1.2. Contexto Organizacional.....	52

4.1.2.1. Misión	53
4.1.2.2. Valores.....	53
4.1.2.3. Política de Seguridad y Medio Ambiente.....	54
4.1.2.4. Organigrama.....	55
4.1.3. Contexto Operacional.....	58
4.1.3.1. Descripción del proceso de lixiviación en textos reconocidos.....	58
4.1.3.1.1. Descripción del Proceso.....	59
4.1.3.1.2. Tecnologías de Lixiviación.....	61
4.1.3.1.3. Clasificación de los tipos de pila.....	61
4.1.3.1.4. Características de la solución lixivante.....	63
4.1.3.1.5. Variables del Proceso.....	64
4.1.3.1.6. Ciclos de Lixiviación.....	66
4.1.3.1.7. Componentes de una pila y sus propiedades.....	67
4.1.3.2. Descripción del proceso de lixiviación en Planta San Lorenzo.....	70
4.1.3.2.1. Descripción General de Planta San Lorenzo.....	70
4.1.3.2.2. La Planta de lixiviación en pila de CMSG.....	76
4.1.3.2.2.1. Filtración de solución PLS.....	81
4.1.3.2.2.2. Adición de ácido sulfúrico grado c y electrolito al proceso de lixiviación.....	85
4.1.3.2.2.3. Equipo de recuperación de orgánico.....	85
4.1.3.2.2.4. Depósito de Ripios N°1.....	87
4.1.3.2.2.5. Depósito de Ripios N°2.....	87
4.2. Establecer variables operacionales críticas desde el punto de vista ambiental y de seguridad.....	94
4.2.1. Seguridad.....	94
4.2.2. Medio Ambiente.....	95
4.3. Desarrollar la herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la ISO 31.000, Of. 2009.....	100
4.3.1. Selección de la(s) técnica(s) a utilizar de la norma ISO 31.000, Of. 2009.....	100
4.3.1.1. Primer criterio de selección.....	100
4.3.1.2. Segundo criterio de selección	102
4.3.1.3. Selección de la técnica a utilizar.....	103
4.3.1.4. Descripción de la técnica seleccionada.....	104

4.3.2. Referentes de la gestión minera que se utilizarán en la herramienta.....	107
4.3.3. Herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la ISO 31.000, OF. 2009.....	108
4.3.3.1. Marco de Referencia.....	110
4.3.3.2. Identificación de instalaciones mineras.....	110
4.3.3.3. Identificación de Riesgos.....	110
4.3.3.4. Análisis de Riesgos.....	114
4.3.3.4.1. Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho.....	114
4.3.3.4.2. Análisis de la Severidad de las Consecuencias.....	123
4.3.3.4.3. Nivel de Riesgo.....	135
4.3.3.5. Valoración de los Riesgos.....	137
4.3.3.6. Tratamiento de los Riesgos.....	138
4.3.3.7. Monitoreo y Revisión.....	139
4.4. Aplicar la herramienta al área de Lixiviación, en Planta San Lorenzo, de Compañía Minera San Gerónimo.....	140
V. DISCUSIÓN.....	147
5.1. Del marco de aplicación de la herramienta.....	147
5.1.1. De la Accidentabilidad Laboral	147
5.1.2. De las nuevas normativas e institucionalidad ambiental.....	147
5.1.3. De la gestión de riesgos e ISO 31.000, Of.2009.....	148
5.1.4. Del análisis interno	149
5.1.5. De los Aspectos Financieros, Competitivos, Corporativos, Sociales, Culturales y Organizacionales.....	150
5.1.6. De los aspectos legales.....	150
5.1.7. Del contexto operacional.....	151
5.2. De las variables operacionales críticas desde el punto de vista ambiental y de seguridad.....	152
5.3. De la herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la ISO 31.000, OF. 2009.....	153
5.3.1. De la selección de las técnicas de la ISO 31.000, Of. 2009 a utilizar de la norma ISO 31.000, Of 2009	153
5.3.2. De los referentes de la gestión minera a utilizar en la herramienta.....	154

5.3.3. De la herramienta de gestión de riesgos laborales y ambientales, basado en la norma ISO 31.000, Of.2009.....	155
5.4. De la aplicación de la herramienta al área de Lixiviación, en Planta San Lorenzo, de Compañía Minera San Gerónimo.....	160
5.4.1. De la aplicación de la herramienta a la instalación Depósito de Ripios (RL)	160
5.4.2. De la aplicación de la herramienta a la instalación Pilas de Lixiviación (PL)	161
5.4.3. De la aplicación de la herramienta a la instalación Piscinas de Almacenamiento de soluciones (PA)	162
5.4.4. De la aplicación de la herramienta a la instalación Obras Lineales (OL)	163
5.4.5. De la aplicación del tratamiento a los riesgos significativos.....	164
VI. CONCLUSIÓN.....	166
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formato Lista de Chequeo Normativa.....	7
Figura 2: Proceso general de aplicación de la herramienta	11
Figura 3: Evolución de la Tasa de Accidentabilidad en Chile Período 2004-2013.....	13
Figura 4: Tasa de Accidentabilidad Período 2004-2013 por Actividad Económica.	14
Figura 5: Tasa de Mortalidad por Accidentes del Trabajo Año 2013.	15
Figura 6: Tasa de Frecuencia de los Accidentes de la Industria Minera, Período 1983-2015.	16
Figura 7: Tasa de Fatalidad de la Industria Minera, Período 1983-2015.	17
Figura 8: Distribución de trabajadores fallecidos en el Período 2010-2015 por región.....	18
Figura 9: Distribución de los trabajadores fallecidos, Período 2010-2015 por tipo de instalación.....	19
Figura 10: Distribución de trabajadores fallecidos, Período 2010-2015 por tipo de accidentes	19
Figura 11: Actividades de fiscalización RCA año 2015	21
Figura 12: Sectores económicos fiscalizados por RCA año 2015.....	22
Figura 13: Nivel de conformidad de las actividades de Fiscalización Ambiental de RCA.....	23
Figura 14: Relaciones entre los principios, el marco de referencia y los procesos para la gestión del riesgo	27
Figura 15: Tasa de accidentabilidad CMSG Período 2014- 2015	37
Figura 16: Índice Incidentabilidad Ambiental Período 2010-2015	38
Figura 17: Cantidad de Incidentes Ambientales por tipo, Período 2010-2015	38
Figura 18: Estado de cumplimiento D.S. N°132/2004.....	47
Figura 19: Estado de cumplimiento D.S. N°594/1999.....	48
Figura 20: Estado de cumplimiento D.S. N°148/2004.....	50
Figura 21: Estado de Cumplimiento D.S. N°40/1969	51
Figura 22: Organigrama General CMSG.	56
Figura 23: Organigrama Unidad de Negocios Lambert.	57
Figura 24: Diagrama procesos de chancado, lixiviación y aglomeración	60
Figura 25: Localización Planta San Lorenzo.	71
Figura 26: Diagrama de procesos Planta San Lorenzo.....	75
Figura 27: Ubicación Pilas de Lixiviación.	77
Figura 28: Ciclo de Regadío de pilas de lixiviación.	79
Figura 29: Descarga de pilas de lixiviación.	80

Figura 30: Diagrama de Flujo estación de filtrado.....	82
Figura 31: Ubicación estación de filtrado	83
Figura 32: Diagrama de la Losa Soportante de la Estación de Filtrado	83
Figura 33: Diagrama de la Estructura del Filtro de Arena.	84
Figura 34: Planta del equipo recuperador de orgánico.....	86
Figura 35: Cajón Recolector HDPE	88
Figura 36: Dimensiones Generales Botadero de Ripios N°2.	90
Figura 37: Perfil taludes Botadero de Ripios N°2.....	91
Figura 38: Niveles del Botadero de Ripios N°2 en 3D.	93
Figura 39: Análisis criticidad de riesgos laborales asociados a Lixiviación.....	94
Figura 40: Grado de Impacto Aspectos Ambientales Planta San Lorenzo.....	95
Figura 41: Significancia de los Aspectos Ambientales de Planta San Lorenzo	96
Figura 42: Aspectos evaluados con Grado de impacto alto para las distintas áreas de Planta San Lorenzo.	98
Figura 43: Aspectos evaluados con Grado de impacto alto para las distintas áreas de Planta San Lorenzo.	99
Figura 44: Esquema de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos.....	107
Figura 45: Estructura de la herramienta propuesta.....	109
Figura 46: Ejemplo esquemático identificación de riesgos.....	111
Figura 47: Ejemplo esquemático del análisis de probabilidad de ocurrencia del hecho	114
Figura 48: Esquema del análisis de probabilidad de ocurrencia de un hecho.	119
Figura 49: Ejemplo de estructura de la tabla para la evaluación de factores técnicos	120
Figura 50: Ejemplo de empleo de la matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho.....	123
Figura 51: Esquema análisis de la severidad de las consecuencias.....	124
Figura 52: Esquema del análisis de la severidad de las consecuencias a las personas (SCp)	125
Figura 53: Esquema del análisis de la severidad de las consecuencias en el Medio Ambiente.	129
Figura 54: Matriz de evaluación de riesgos.....	136
Figura 55: Establecimiento de la significancia del riesgo.....	137

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Formato para análisis interno.....	5
Tabla II: Formato Análisis normativa atingente a Lixiviación en materia de seguridad y medio ambiente..	6
Tabla III: Formato Matriz de Evaluación de Riesgos Laborales.....	8
Tabla IV: Formato Matriz de Evaluación de Aspectos Ambientales	9
Tabla V: Comparación entre esquema antiguo y enfoque nuevo respecto de la gestión del riesgo.....	25
Tabla VI: Proyecto Ingresado al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental asociado a Planta San Lorenzo	39
Tabla VII: Aspectos financieros, competitivos, corporativos y sociales de CMSG.....	39
Tabla VIII: Normativa Aplicable al proceso de Lixiviación.....	41
Tabla IX: Comparación entre Pila Renovable y Permanente.....	62
Tabla X: Comparación entre Pila Unitaria y Dinámica.	63
Tabla XI: Descripción instalaciones Lixiviación.	80
Tabla XII: Análisis de técnicas de evaluación de riesgos, en base a los elementos de ésta.....	101
Tabla XIII: Matriz de selección de la técnica ISO 31.000, OF. 2009 seleccionada.....	104
Tabla XIV: Desglose instalaciones asociadas a Lixiviación.....	110
Tabla XV: Riesgos típicos identificados para Depósito de Ripios de lixiviación.....	112
Tabla XVI: Riesgos típicos identificados para Depósito de Ripios de lixiviación	112
Tabla XVII: Riesgos típicos identificados para Piscinas de almacenamiento de soluciones	113
Tabla XVIII: Riesgos típicos identificados para Obras Lineales	113
Tabla XIX: Tabla para la selección del nivel de probabilidad de ocurrencia del hecho	115
Tabla XX: Eventos naturales a analizar para Depósitos de Ripios de Lixiviación.	116
Tabla XXI: Eventos naturales a analizar para Pilas de Lixiviación	116
Tabla XXII: Eventos naturales a analizar para Piscinas de almacenamiento de soluciones	117
Tabla XXIII: Riesgos típicos identificados para Obras Lineales	117
Tabla XXIV: Nivel de la Condición de la Instalación.	121
Tabla XXV: Matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho.....	122
Tabla XXVI: Características para el análisis de la severidad de las consecuencias en las personas	127
Tabla XXVII: Análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas	128
Tabla XXVIII: Nivel de Severidad de las Consecuencias a las Personas	129
Tabla XXIX: Consideraciones de cada componente ambiental.....	130

Tabla XXX: Variables para el análisis de la severidad de las consecuencias en los componentes ambientales.	132
Tabla XXXI: Análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente	134
Tabla XXXII: Nivel de Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente	135
Tabla XXXIII: Modelo de tabla resumen del proceso de evaluación de Riesgos	138
Tabla XXXIV: Medidas de Control propuestas para los riesgos significativos.....	139
Tabla XXXV: Seguimiento y revisión de gestión de riesgos.....	139
Tabla XXXVI: Resultado del Análisis y Valoración de Riesgos para Depósito de Ripios de Lixiviación.	140
Tabla XXXVII: Resultado del Análisis y Valoración de Riesgos para Pilas de Lixiviación.....	141
Tabla XXXVIII: Resultado del Análisis y Valoración de los Riesgos para Piscinas de Almacenamiento de Soluciones	142
Tabla XXXIX: Resultado Análisis y Valoración de los Riesgos para Pilas de Lixiviación	143
Tabla XL: Riesgos significativos asociados a cada una de las instalaciones.	143
Tabla XLI: Medidas de control propuestas para riesgos significativos	145

INDICE DE ANEXOS

ANEXO DIGITAL 1: Criterios de evaluación de Riesgos Laborales.

ANEXO DIGITAL 2: Criterios de identificación y evaluación de aspectos ambientales.

ANEXO DIGITAL 3: Listas de Chequeo normativa aplicable al área de lixiviación.

ANEXO DIGITAL 4: Matriz de evaluación de riesgos laborales.

ANEXO DIGITAL 5: Matriz de identificación y evaluación de aspectos ambientales.

ANEXO DIGITAL 6: Análisis técnicas de evaluación de riesgos en base a factores.

ANEXO DIGITAL 7: Tablas de factores técnicos para los distintos riesgos identificados.

ANEXO DIGITAL 8: Procedimiento para obtener coeficientes de fórmula de valores técnicos.

ANEXO DIGITAL 9: Planillas modelo para evaluación de riesgos.

ANEXO DIGITAL 10: Resultados evaluación de riesgos para el área de lixiviación

RESUMEN

La gestión de riesgos en un proceso estructurado, consistente y continuo, implementado a través de toda la organización, el cual tiene como objetivo principal la identificación y tratamiento de los riesgos de los procesos, así como también de las oportunidades, que, a través de ellos, contribuyan al logro de los objetivos y metas.

Actualmente, es un campo de gestión que se encuentra en auge y en progresiva profesionalización, y puede considerarse como un componente transversal para la gestión de otros factores relevantes como la calidad, la inteligencia estratégica o el cambio organizativo.

El primer paso en la gestión de riesgos es la evaluación de los mismos. La evaluación de riesgos está descrita en el estándar ISO 31010, “Gestión del Riesgo- Técnicas de evaluación del riesgo”, que se enmarca dentro de la familia de estándares 31000 de gestión de riesgos y aporta un detalle pormenorizado de las labores de evaluación de riesgos.

La gestión de riesgos, como un proceso específico dentro de las organizaciones, aporta valor fundamentalmente porque ayuda a tomar decisiones en relación al riesgo. Para que dicha toma de decisiones sea eficaz, se deben conocer ciertos aspectos fundamentales de los riesgos, tales como: El impacto potencial en los objetivos, por qué ocurren los riesgos, cuál es su probabilidad de ocurrencia, cuáles son sus consecuencias, con qué medidas cuenta la organización para mitigarlos. Todos estos aspectos se pondrán de manifiesto siempre que la evaluación de riesgos se haga de manera adecuada, y de aquí parte la importancia de seleccionar la herramienta más adecuada de gestión de riesgos.

Con el objeto de implementar lo antedicho en el área de Lixiviación de Planta San Lorenzo, en Compañía Minera San Gerónimo, es que en el presente trabajo se elabora una herramienta de gestión de riesgos laborales y ambientales, que permita evaluar, controlar y monitorear los riesgos asociados las instalaciones de dicha área, con el fin de evitar la ocurrencia eventos indeseados y permitir a la organización una adecuada toma de decisiones, en base a fundamentos técnicos.

La herramienta desarrollada se basa en los lineamientos presentados en la norma ISO 31.000, Of. 2009, “Gestión del Riesgo – Principios y Orientaciones”, y toma elementos de metodologías de evaluación de riesgos aplicadas para el cierre de faenas mineras, basadas en el mismo estándar. Los elementos de éstas últimas se adoptaron de tal forma que se pudieran aplicar

a la operación minera. De esta forma, la herramienta plantea procedimientos para: definir marco de referencia, identificar instalaciones mineras, identificar riesgos, determinar la probabilidad de ocurrencia y severidad de las consecuencias, determinar el nivel de riesgos, determinar la significancia de los riesgos, tratar los riesgos significativos y monitorear la implementación de éstos.

Al aplicar la herramienta desarrollada, se pudo comprobar su aplicabilidad y los resultados obtenidos indicaron que las instalaciones que presenta los riesgos más significativos son las piscinas de almacenamiento de soluciones, lo cual estuvo asociada principalmente a una probabilidad de ocurrencia calificada como moderada, producto de altas probabilidades de eventos naturales como sismos y factores técnicos de operación que pueden mejorarse en el tiempo. Además de lo anterior, con la aplicación de la herramienta se pudo determinar que una variable transversal a lo largo de la evaluación y por tanto de gran importancia en la calificación de la probabilidad y severidad de las consecuencias de determinados riesgos, fue el manejo de soluciones ácidas, razón por la cual, su adecuada gestión se establece como prioridad dentro los parámetros operacionales del área de lixiviación.

ABSTRACT

Risk management is a structured, consistent and continuous process, implemented throughout the organization, which has as its main objective the identification and handling of process risks, as well as the opportunities, which, through them, contribute to achieving the objectives and goals.

Nowadays it is an up and coming field that is in progressive professionalization, and can be considered as a transverse component for managing other relevant factors such as quality, strategic intelligence or organizational change.

The first step in risk management is the assessment of the risks. This evaluation is described in the standard ISO 31010, “Risk Management – Risk Assessment Techniques”, which is part of the family of risk management standards 31000 and provides a detailed breakdown of the tasks of risk assessment.

Risk management, as a specific process within organizations, adds value because it primarily helps to make decisions regarding risk. For such decisions to be effective, certain fundamental aspects of the risks must be identified, such as: their potential impact on the objectives, what is their cause, what is their probability of occurrence, what are their consequences, what are the measures the organization has to mitigate them. All these aspects will become apparent whenever the risk assessment is done properly, and from this comes the importance of selecting the most appropriate risk management tool.

With the purpose to implement the above in the Leaching area of San Lorenzo Plant in San Geronimo Mining Company, it is that this study develops a management tool for occupational and environmental risks, that assesses, controls and monitors the risks associated to the facilities of this area, in order to avoid the occurrence of undesirable events and allow the organization a proper decision-making, based on technical grounds.

The developed tool is based on the guidelines presented in the ISO 31,000 Of. 2009, “Risk Management – Principles and Guidelines”, norm and takes elements of risk assessment methodologies applied for mining operations closure, based on the same standard. The elements of the latter were adopted so that it could be applied to mines in operation. As a result, the tool provides procedures to: define a reference frame, identify mining facilities, identify risks, establish

the probability of occurrence and severity of the consequences, establish the level of risk, establish the significance of the risks, handle the significant risks and monitor the implementation of these.

By applying the developed tool, its applicability was proved and the results indicated that the facilities that present the most significant risks are the storage pools solutions, which was mainly associated with a probability of occurrence classified as moderate, due to a high probability of natural events, such as earthquakes, and technical operation aspects that can be improved over time. In addition to the above, with the application of the tool it was established that a cross variable all through the assessment, and therefore of great importance in the rating of the likelihood and severity of the consequences of certain risks, was the handling of acidic solutions, reason why, its proper management is established as a priority within the operational parameters of the leaching area.

I. INTRODUCCIÓN

Toda organización es un sistema complejo e integral formado por un grupo humano y una variedad de recursos físicos coordinados para la obtención de una finalidad establecida en el tiempo. Se encuentra delineado por los límites relativos que lo separan de los restantes con los que se interrelaciona y tiene una serie de principios que lo rigen. Dentro de la misma, se pueden encontrar subsistemas que interactúan entre sí, pero que deben estar vinculados adecuadamente e interrelacionarse activamente. La adecuada concatenación e interrelación de todos los diversos sistemas hará que cada organización pueda alcanzar eficazmente con la misión por la cual se concibió (Tor, 1996).

Esa complejidad sistémica provoca que empresas de todos los tipos y tamaños se enfrenten a una variedad de riesgos que pueden afectar al cumplimiento de los objetivos planteados. Estos objetivos pueden estar relacionados con diferentes actividades que se realizan en una organización, desde iniciativas estratégicas hasta sus operaciones, procesos y proyectos. Lo anterior se refleja en términos sociales, ambientales, tecnológicos, de seguridad y calidad (INN, 2013).

Todas las actividades de una organización implican riesgos que se deberían gestionar. El proceso de gestión del riesgo ayuda a tomar decisiones teniendo en cuenta la incertidumbre y la posibilidad de futuros sucesos o circunstancias (previstas o imprevistas) y sus efectos sobre los objetivos acordados (AENOR, 2011).

La gestión del riesgo incluye la aplicación de métodos lógicos y sistemáticos para: establecer el contexto para la identificación, análisis, valoración y tratamiento del riesgo asociado a cualquier actividad, proceso, función o producto, así como también para realizar el seguimiento y revisar los riesgos, informar y registrar los resultados de manera apropiada.

La evaluación o apreciación del riesgo es la parte de la gestión del riesgo que proporciona un proceso estructurado que identifica la manera en que los objetivos pueden resultar afectados, y analiza el riesgo en términos de consecuencias y de sus probabilidades antes de decidir si se necesita un tratamiento adicional. En palabras simples, se le trata de dar respuesta a las siguientes cuestiones fundamentales: ¿Qué puede suceder y por qué?, ¿Cuáles son las consecuencias?, ¿Cuál es la probabilidad de su ocurrencia futura? y ¿Existen factores que mitiguen las consecuencias o reduzcan la probabilidad del riesgo? (INN, 2013).

La explotación de los yacimientos mineros en Chile es una actividad productiva con más de 300 años de historia. En sus inicios, ésta se caracterizaba por métodos muy simples consistentes en la extracción de los minerales desde ricas vetas de oro, plata y cobre. Progresivamente, los procesos se fueron tecnificando hasta llegar a los sofisticados procedimientos que se aplican hoy en día. Junto con el progreso técnico, por ende, también fueron generándose innumerables riesgos asociados.

Dentro de la minería del cobre, uno de los procesos más complejos, debido a la gran cantidad de variables operacionales que intervienen, es la Extracción del Cobre desde el mineral y dentro de ésta, el proceso de lixiviación. La lixiviación es un proceso utilizado en hidrometalurgia que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas (Vásquez, 2009). Debido a la complejidad del proceso y la peligrosidad de los insumos, productos y residuos obtenidos, se hace necesario gestionar los riesgos asociados a las actividades relacionadas a esta operación unitaria, ya que es un proceso crítico desde el punto de vista ambiental y de seguridad, principalmente, porque cualquier falla producida afectará de forma crítica a las personas y el medio en cual se desenvuelve la empresa.

El presente trabajo pretende elaborar una herramienta que permita gestionar los riesgos asociados al Área de Lixiviación en División Lambert de Compañía Minera San Gerónimo (en adelante, CMSG), de forma integral, de tal forma de poder determinar las posibles consecuencias asociadas a los cambios operacionales.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

- Elaborar una herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales asociados al área de Lixiviación en Planta San Lorenzo, Unidad de Negocios Lambert, Compañía Minera San Gerónimo, aplicando norma ISO 31.000. Of. 2009.

B. Objetivos Específicos

- Definir el marco de aplicación de la herramienta.
- Establecer las variables operacionales críticas del proceso de lixiviación, desde el punto de vista ambiental y de seguridad.
- Desarrollar la herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la norma ISO 31000, Of. 2009.
- Aplicar la herramienta en el Área de Lixiviación, en Planta San Lorenzo, de Compañía Minera San Gerónimo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Marco de aplicación de la herramienta

El marco de aplicación de la herramienta se estableció tomando en cuenta que el proceso de gestión del riesgo ocurre dentro del marco de un contexto estratégico, organizacional y operativo.

3.1.1. Contexto Estratégico

Es aquel que define la relación entre la organización y su entorno. Además, se incluyen aspectos financieros, competitivos, corporativos, sociales y legales.

Para definir este contexto se utilizarán las siguientes metodologías:

3.1.1.1. Análisis del entorno

Se hizo un análisis de los datos obtenidos de diversos organismos públicos: Servicio Nacional de Geología y Minería (en adelante, SERNAGEOMIN), Superintendencia de Seguridad Social (en adelante, SUSESO), Servicio de Evaluación Ambiental (en adelante, SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, SMA); respecto de accidentabilidad laboral y ambiental de importancia en el sector minero. En el caso específico de seguridad, se obtuvieron datos estadísticos de accidentabilidad minera por parte de SERNAGEOMIN en la Región de Coquimbo. Lo anterior principalmente debido a que en la región la mayoría de las empresas corresponde a la categoría de mediana minería, por tanto, se puede hacer una comparación con la realidad operacional de CMSG.

Es importante mencionar que SERNAGEOMIN mantiene sus estadísticas de accidentabilidad minera actualizadas mensualmente, por tanto, para el caso del presente trabajo se utilizaron datos desde el año 1983 al año 2015. Sin embargo, en el caso de la SUSESO, la información disponible solo está hasta el año 2013, razón por la cual se utilizó la data desde el año 2004, hasta la fecha antes mencionada.

Posteriormente, se hizo un análisis de las nuevas normativas e institucionalidad de carácter ambiental y de seguridad minera que se crearon en los últimos 3 años y como éstas han influido en la operación normal de una Planta Minera, respecto a la gestión de sus riesgos. Respecto a este punto, la información presentada, específicamente relacionada con la gestión de la superintendencia del medio ambiente, está disponible hasta el año 2015, razón por la cual se utilizó la data desde el año 2014, hasta la fecha antes mencionada.

Finalmente, se realizó una búsqueda de información respecto al proceso global de la gestión del riesgo, específicamente sobre la norma ISO 31.000 Of. 2009 y su relación con dicho proceso, con el fin de establecer que metodologías servirán de base para la herramienta propuesta.

3.1.1.2. Análisis interno

Se realizó un análisis de datos internos correspondiente a accidentabilidad laboral y ambiental, así como de permisos de carácter ambiental que CMSG haya presentado a las autoridades en virtud del funcionamiento de la Planta, acorde con los niveles de producción.

3.1.1.3. Aspectos Financieros, Competitivos, Corporativos, Sociales y Culturales

Para definir los aspectos financieros, competitivos, corporativos y sociales, se utilizará la siguiente tabla:

Tabla I: Formato para análisis interno. (Fuente: Elaboración Propia)

Aspecto	Descripción
Financiero	
Competitivo	
Corporativo	
Social	

3.1.1.4. Aspectos Legales

La definición de los aspectos legales asociados al contexto, se realizó a través dos partes:

3.1.1.4.1. Primera Parte

Se estableció aquellas normativas atinentes al proceso de lixiviación, en el ámbito de Seguridad y Medioambiente. Para ello se utilizó la siguiente tabla:

Tabla II: Formato Análisis normativa atingente a Lixiviación en materia de seguridad y medio ambiente. (Fuente: Elaboración Propia)

Normativa	Carácter (General, Específico)	Breve descripción de la atingencia	Ámbito (Seguridad – Medioambiente)

3.1.1.4.2. Segunda Parte

Las Leyes presentan el marco general en el cual debe gestionarse determinada materia regulada y que se hace operativa a través de Reglamentos y Decretos. Debido a lo anterior, es que para las normativas de carácter específico, se realizó una lista de chequeo de cumplimiento, en base a aquellas disposiciones aplicables al proceso de lixiviación. Para ello se utilizó el siguiente modelo:

Lista de Chequeo

1. Identificación de la Normativa:

1.1. **Título** :

1.2. **Fecha de promulgación** :

1.3. **Organismo** :

1.4. **Vigencia** :

1.5. **Última Modificación** :

2. Lista de Chequeo

Art.	Disposición legal	En Desarrollo	Cumple	No Cumple	Observaciones

Figura 1: Formato Lista de Chequeo Normativa. (Fuente: Elaboración Propia)

3.1.2. Contexto Organizacional

El contexto organizacional se estableció comprendiendo la organización de la empresa y sus capacidades, lo mismo que sus metas y objetivos, y las estrategias implementadas para lograrlo. Para ello, se accedió a la siguiente información por parte de CMSG:

- Misión
- Visión
- Valores
- Política de Seguridad y Medioambiente
- Estrategias Corporativas
- Organigrama de la Empresa

3.1.3. Contexto Operacional

Para definir este contexto se generó una descripción del proceso de lixiviación, siguiendo como líneas de búsqueda los siguientes puntos:

- Información hidrometalúrgica del proceso en textos reconocidos.
- Información sobre el proceso de Lixiviación en Planta San Lorenzo de Compañía Minera San Gerónimo

En base a la descripción antedicha se obtuvo las características del proceso sobre el cual se aplicará la herramienta.

3.2. Variables operacionales críticas desde el punto de vista ambiental y de seguridad

Se definió las variables operacionales críticas, en base a metodologías de evaluaciones de aspectos ambientales y evaluación de riesgos laborales. Éstas fueron parte de los insumos para el desarrollo de la herramienta de gestión integral de los riesgos.

Las metodologías utilizadas fueron las que CMSG utiliza dentro de su gestión diaria. En el caso de los riesgos laborales, se utilizó una Matriz VEP, de acuerdo al siguiente esquema:

Tabla III: Formato Matriz de Evaluación de Riesgos Laborales. (Fuente: Elaboración Propia)

Proceso	Tipo de Actividad	Identificación de Peligros	ID	Riesgos	Observación	P	C	VEP	Criticidad	Medidas de control	Control de operaciones	Frecuencia de control

En el ANEXO 1, se muestran los criterios utilizados para esta metodología.

En el caso de los impactos ambientales, se utilizó una matriz elaborada por el Departamento de Control Ambiental de la misma empresa, de acuerdo al siguiente esquema:

Tabla IV: Formato Matriz de Evaluación de Aspectos Ambientales. (Fuente: Elaboración Propia)

ÁREA	PROCESO	SUBPROCESO	ASPECTOS AMBIENTALES											IMPACTO AMBIENTAL	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA							MAGNITUD DEL IMPACTO	MAGNITUD DEL IMPACTO (Valor Absoluto)	GRADO DE IMPACTO	GRADO DE SIGNIFICANCIA										
			EMISIONES DE GASES	EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO	DERIVAMES Y VERTIDOS	FILTRACIONES	GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS	GENERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS	GENERACION DE RESIDUOS DOMESTICOS	GENERACION DE RUIDOS Y VIBRACIONES	CONSUMO DE RECURSOS NATURALES	CULTURA AMBIENTAL	Otros			Criticidad	Carácter o Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Duración	Reversibilidad					Acumulación	Efecto	Periodicidad							

En el ANEXO 2, se muestran los criterios utilizados para esta metodología.

De esta forma, se obtuvo aquellas variables operacionales críticas sobre las cuales la herramienta deberá trabajar.

3.3.Herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la norma ISO 31.000, Of. 2009

A través de un matriz de dos entradas, se seleccionó la metodología establecida en la Norma ISO 31.000, Of. 2009 que contenga todos los elementos a considerar en la herramienta.

En base a la metodología seleccionada y tomando en cuenta referentes aplicados en otros ámbitos de la gestión minera, se elaboró una herramienta que consideró el proceso global de identificación, análisis, valoración y control de riesgos. Esta metodología incluirá procedimientos para:

- Identificar las instalaciones mineras a evaluar
- Identificar los riesgos
- Analizar los riesgos: Determinar Probabilidad y Consecuencias
- Valorar los riesgos
- Evaluar los riesgos de forma integral
- Tratar los riesgos críticos, considerando medidas de control.

- Realizar un monitoreo y revisión del proceso

3.4. Aplicación de la herramienta en el Área de Lixiviación, en Planta San Lorenzo, de Compañía Minera San Gerónimo.

Una vez diseñada la herramienta se procederá a aplicarla en el área de lixiviación, para de esta forma evaluar su aplicabilidad y funcionamiento.

En base a esta aplicación se determinará el nivel y significancia de los riesgos presentes en el área evaluada.

Para el caso del presente trabajo, el monitoreo y revisión se deberá realizar, posterior a la implementación de las medidas de control propuestas, por tanto, no formará parte de los resultados.

La aplicación de la herramienta se realizó a finales del año 2015 y el proceso general de aplicación se puede visualizar en la Figura 2:

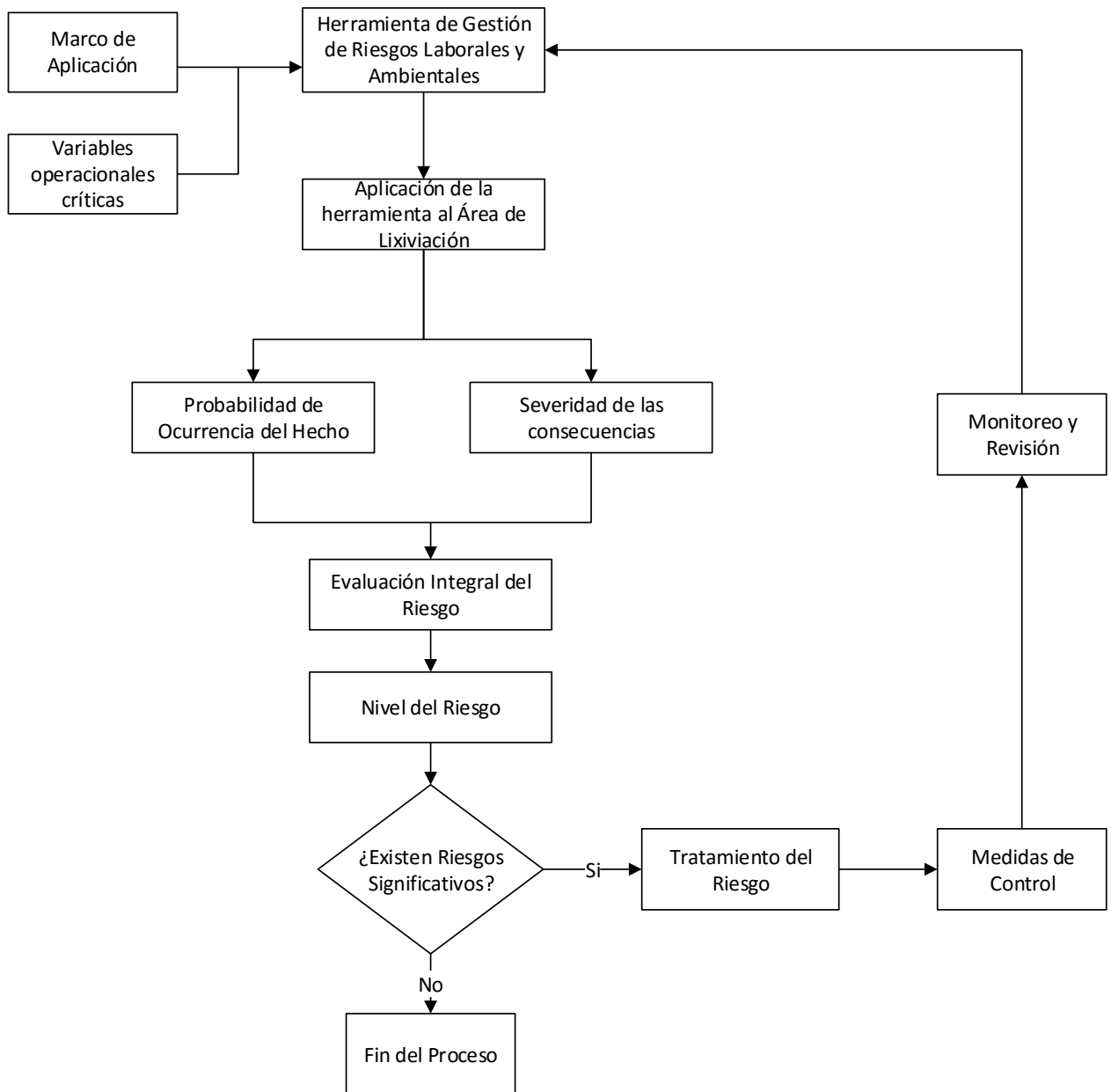


Figura 2: Proceso general de aplicación de la herramienta. (Fuente: Elaboración Propia)

IV.RESULTADOS

4.1.Marco de aplicación de la herramienta

Para poder conocer cómo se estructura la Planta San Lorenzo (lugar específico donde será aplicada la herramienta), lo primero es ir de lo general a lo específico. Es decir, conocer las particularidades de la empresa, como se individualizan en términos de procesos y en general, definir cuál es el contexto en el cual se insertará la herramienta de trabajo. Para ello, se define y clasifica el concepto de “marco de aplicación”, en términos de poder caracterizar todos aquellos parámetros relevantes que influirán en la aplicabilidad y el desarrollo normal de la herramienta propuesta.

4.1.1. Contexto Estratégico

4.1.1.1. Análisis del entorno

4.1.1.1.1. Accidentabilidad Laboral y Ambiental

En los últimos años, en términos de accidentabilidad laboral, se ha notado una tendencia considerable hacia la baja en la cantidad de accidentes, pasando desde una tasa 7,1% en el año 2004, a una tasa de 4,3% en el año 2013, disminuyendo en un 40% (Ver Figura 3).

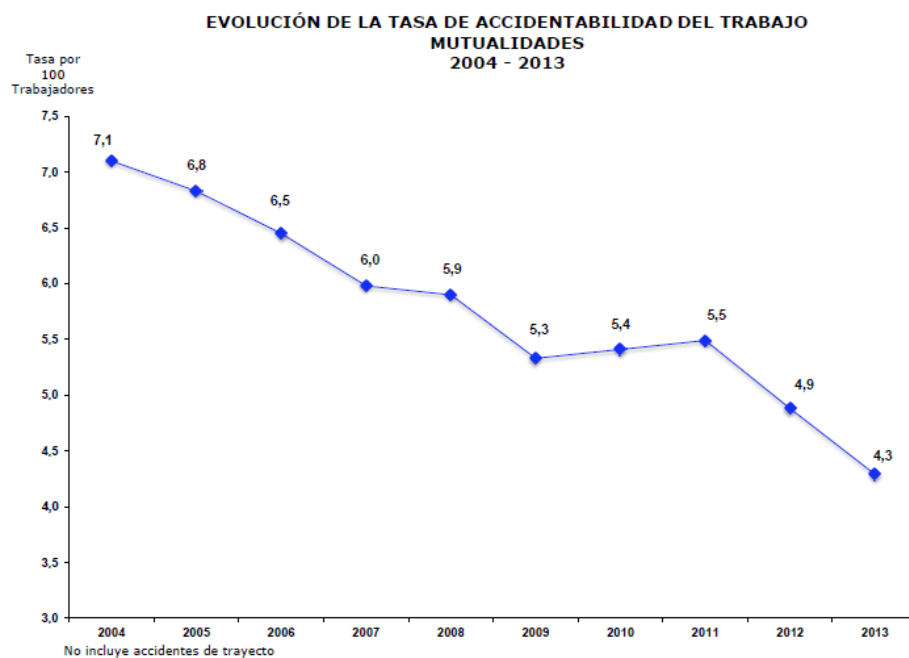


Figura 3: Evolución de la Tasa de Accidentabilidad en Chile Período 2004-2013. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social, 2014)

Las actividades económicas con mayor tasa de accidentabilidad, en términos de accidentes del trabajo al año 2013, y, por tanto, en las que existe un mayor riesgo de ocurrencia de eventos no deseados son: Industrias manufactureras con un 6,2%, Transporte con 6,0%, Agricultura y pesca con un 5,4 %, Construcción con un 4,9% y Comercio con un 4,8% (Ver Figura 4).

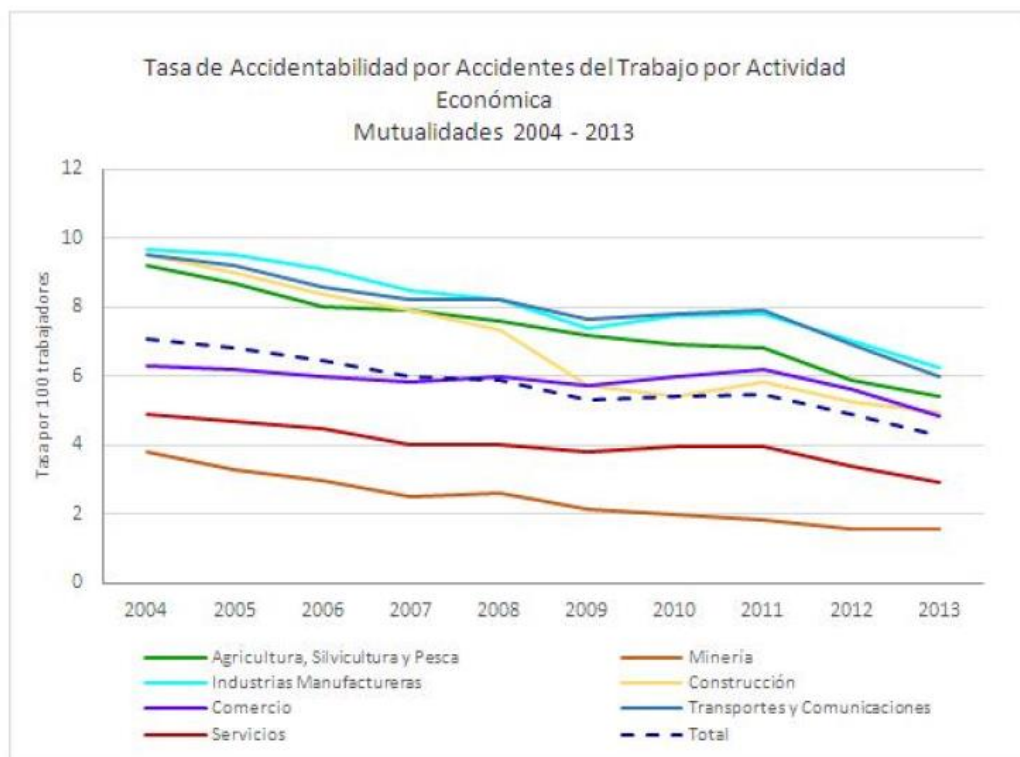


Figura 4: Tasa de Accidentabilidad Período 2004-2013 por Actividad Económica. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social, 2014)

Se puede notar en la figura anterior que la minería tiene la tasa de accidentabilidad más baja de todos los sectores productivos en Chile, alcanzando valores por bajo el 2%. Sin embargo, al analizar la tasa de mortalidad por accidentes del trabajo al año 2013 tenemos lo siguiente: Minería con un 16,7% por cada 100.000 trabajadores, Transporte con 15,9%, Construcción con 10,6%, Silvicultura y Pesca con 5,8% (Ver Figura 5).

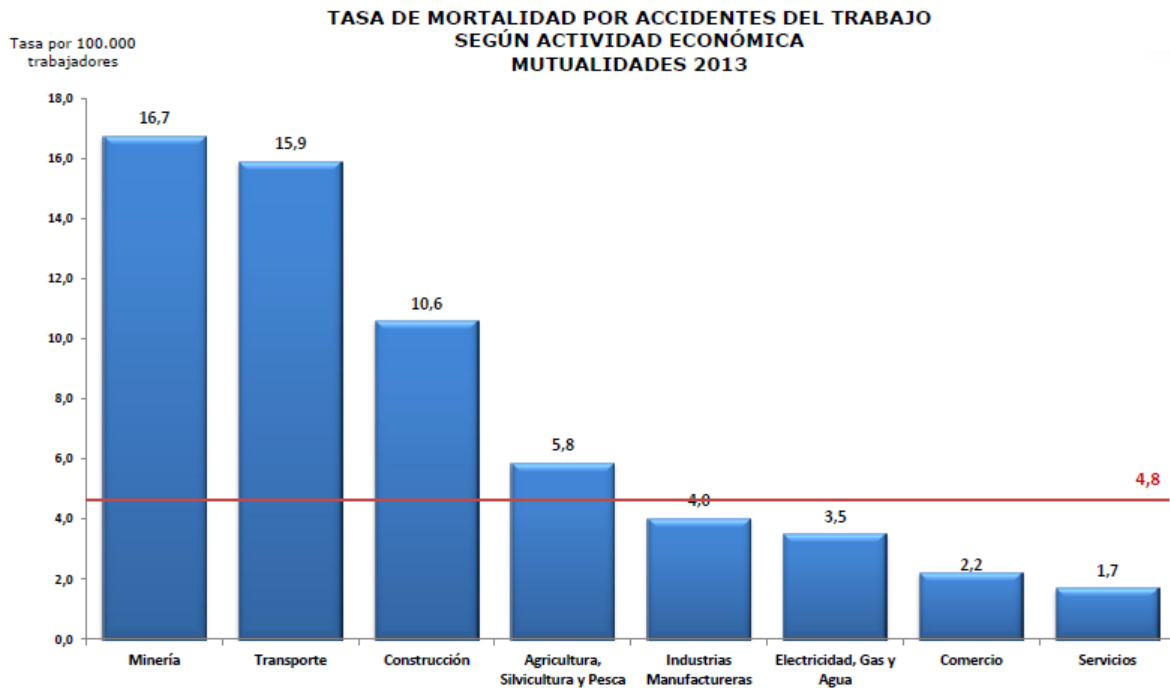


Figura 5: Tasa de Mortalidad por Accidentes del Trabajo Año 2013. (Fuente: Superintendencia de Seguridad Social, 2014)

Lo anterior es ratificado por SERNAGOMIN en sus estadísticas anuales, en donde se observa una disminución considerable de la tasa de frecuencia de accidentes desde el año 1983 a la fecha (Ver Figura 6). Sin embargo, las estadísticas de fatalidad, si bien han disminuido, no han logrado llegar a cero (ver Figura 7).

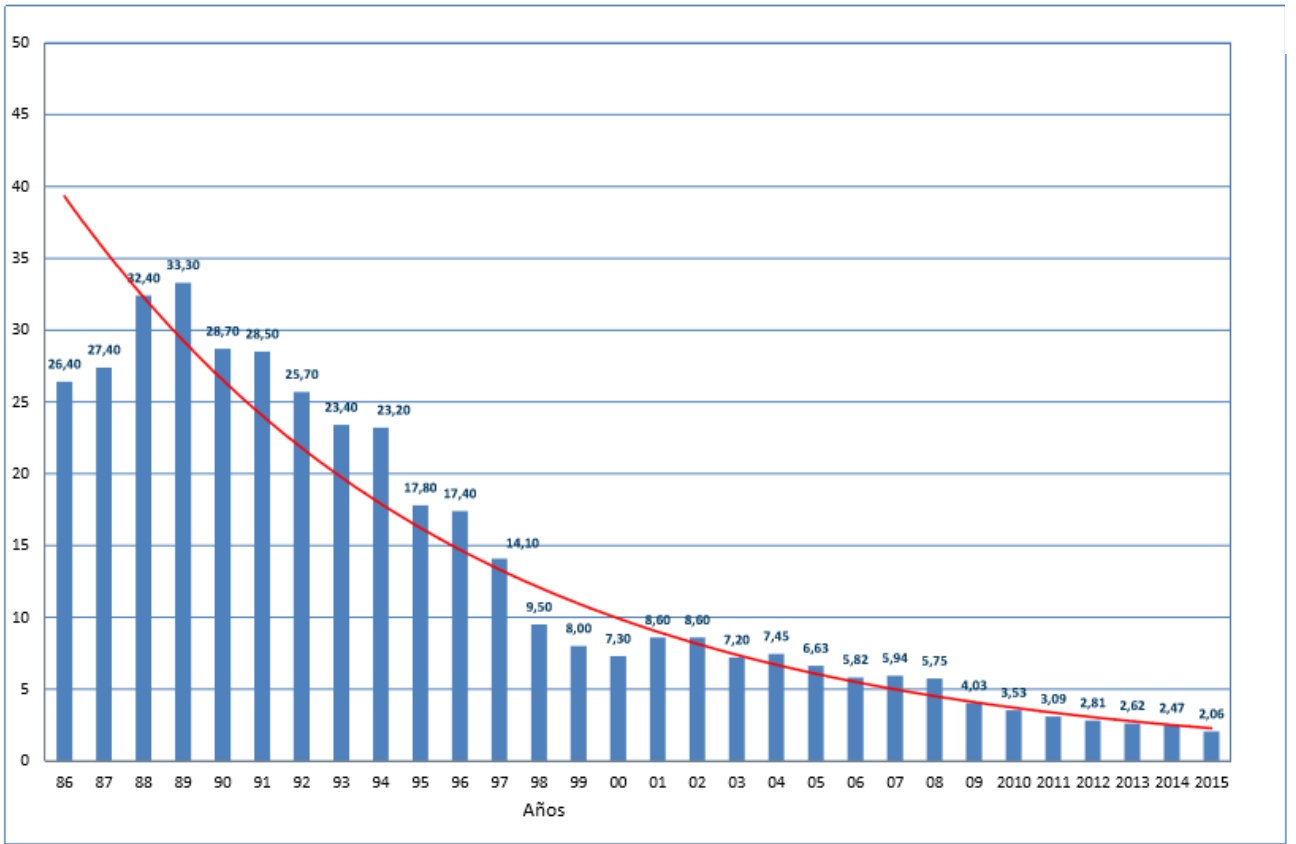


Figura 6: Tasa de Frecuencia de los Accidentes de la Industria Minera, Período 1983-2015. (Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2016)

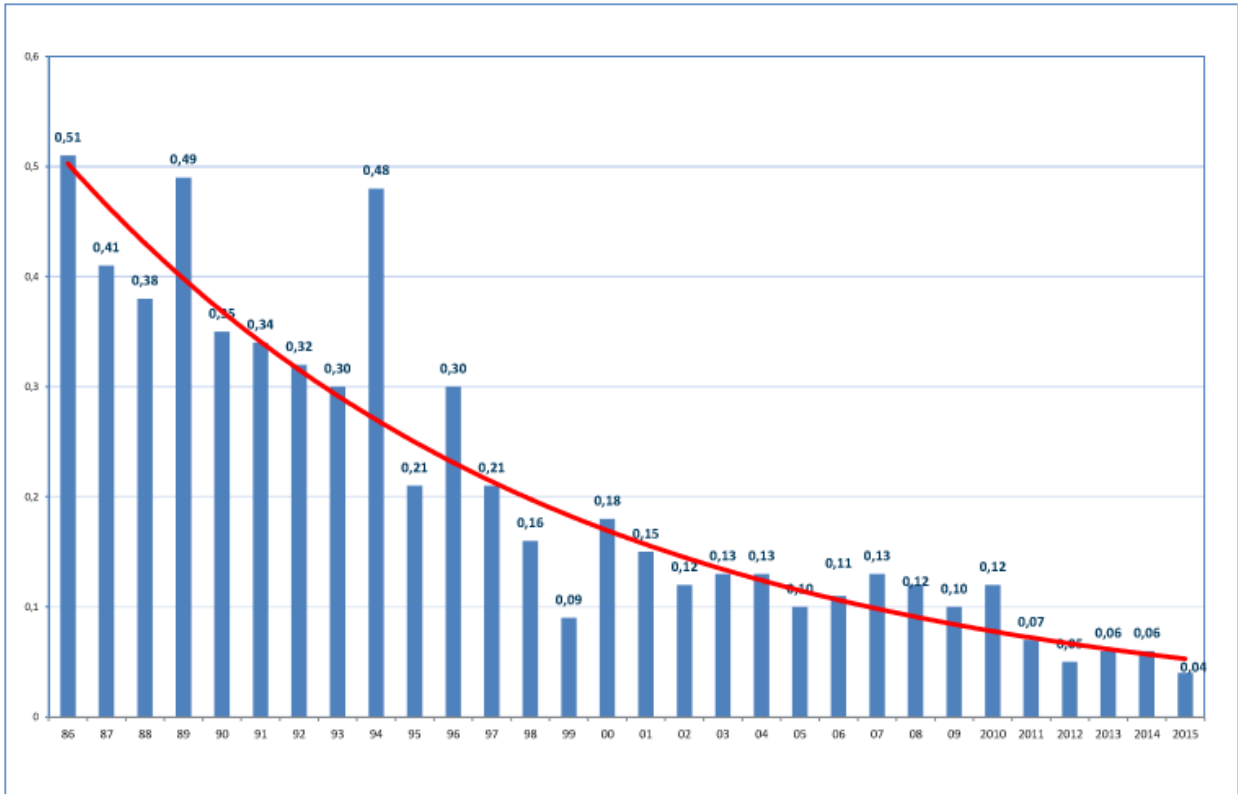


Figura 7: Tasa de Fatalidad de la Industria Minera, Período 1983-2015. (Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2016)

Específicamente, en la Región de Coquimbo, donde predomina la pequeña y mediana minería, en el año 2014 hubo 7 trabajadores fallecidos, mientras que en el año 2015 hubo 6 trabajadores muertos. Es decir, en el año recién pasado casi se igualó la cantidad de trabajadores fallecidos del año 2014. Estos altos niveles se repiten en otras regiones mineras, como la Región de Atacama y la de Antofagasta (ver Figura 8).

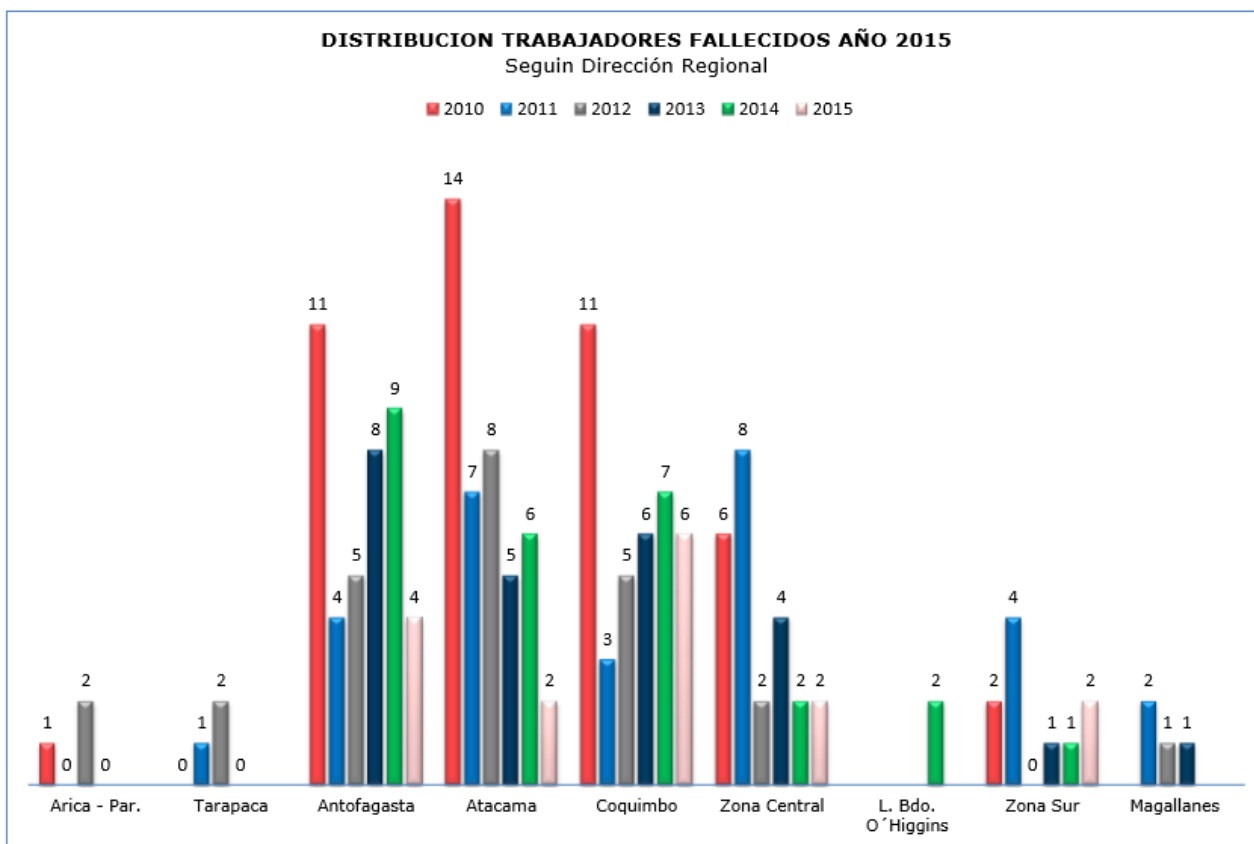


Figura 8: Distribución de trabajadores fallecidos en el Período 2010-2015 por región. (Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2016)

La mayor cantidad de accidentes fatales ocurren en minería subterránea y plantas de beneficio, donde existen mayor diversidad de riesgos, siendo los más importantes: caída de rocas, caída de altura, operación de equipos y transporte (Ver Figuras 9 y 10).

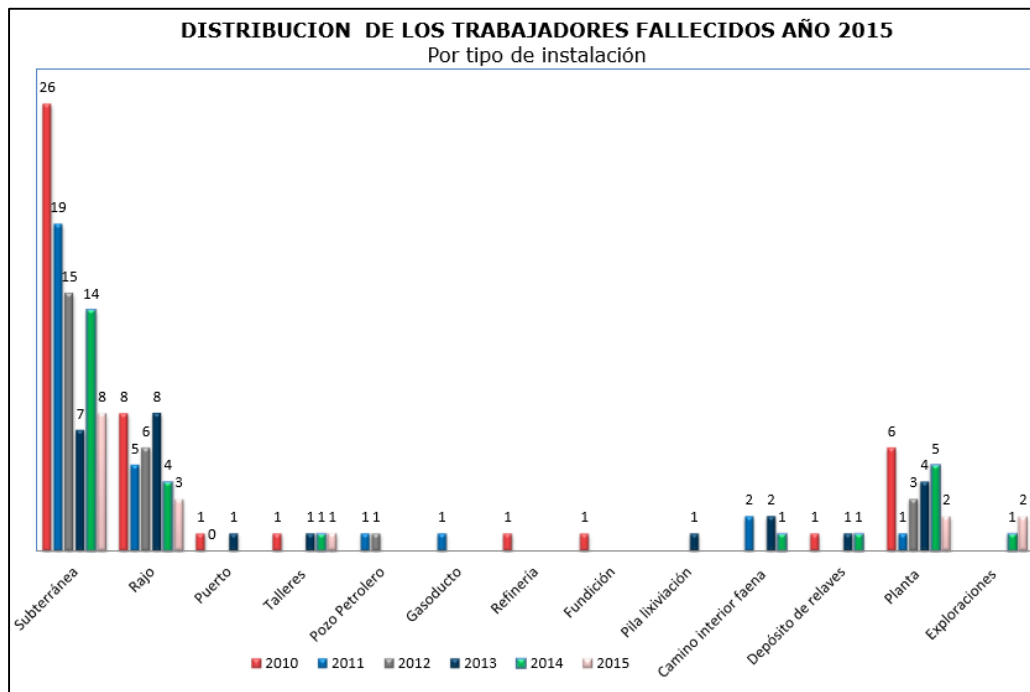


Figura 9: Distribución de los trabajadores fallecidos, Período 2010-2015 por tipo de instalación. (Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2016)

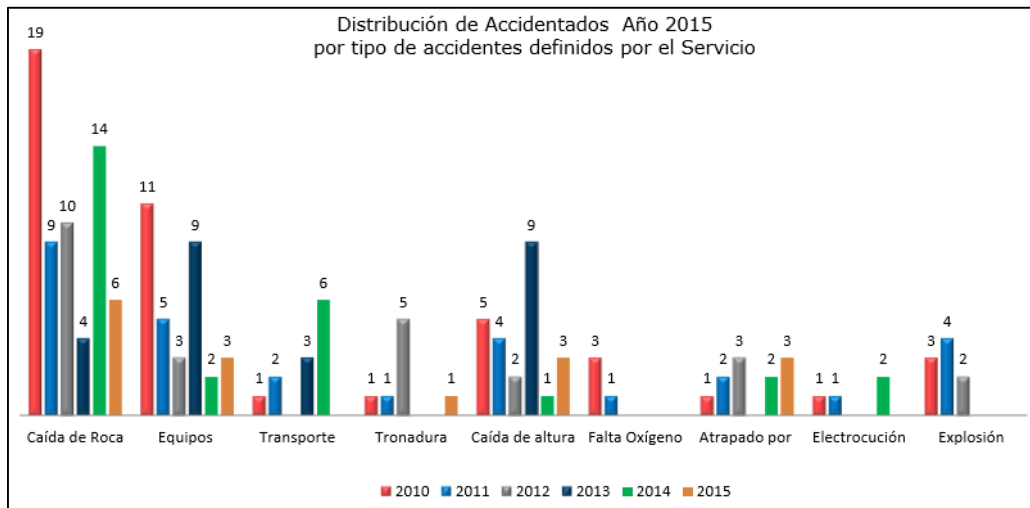


Figura 10: Distribución de trabajadores fallecidos, Período 2010-2015 por tipo de accidentes. (Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2016)

4.1.1.1.2. Nuevas Normativas e Institucionalidad

En términos de incidentabilidad ambiental en Chile, aún no existen indicadores estadísticos que permitan medirla en las empresas. En este sentido el Gobierno de Chile, a través del Ministerio del Medio Ambiente está buscando la forma de poder medir cuantitativamente este tipo de eventos, pero a la fecha aún no cuenta con resultados positivos.

El ingreso de Chile a la OCDE significó, desde una perspectiva ambiental, el desarrollo de unas nuevas bases del sistema institucional ambiental, que brindan instituciones modernas de coordinación, ejecución y control, acorde al nuevo *status* de Chile, como país OCDE. La concreción de dicha idea, se realizó a través de la Ley N°20.417, del 26 de enero 2010, que crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente.

Esta norma planteó una modernización del modelo de institucionalidad ambiental, a través de las siguientes ideas centrales: primero, la creación de nuevas instituciones que se constituyen en referentes del nuevo marco ambiental; segundo, introdujo importantes modificaciones a la Ley N°19.300/1994, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, que permitieron subsanar algunas debilidades del sistema de evaluación de impacto ambiental y resolver los problemas de coordinación entre las competencias sectoriales de los diversos órganos con atribuciones en materia ambiental; y tercero, incluyó algunas nociones e instituciones que hasta ese momento no existían, como el principio ambiental de la “mejores técnicas disponibles” y la “evaluación ambiental estratégica”, entre otros. Por otro lado, desde el punto de vista ambiental, se han realizado importantes avances en términos de asegurar una adecuada sustentabilidad del negocio minero.

Con la promulgación de la Ley N°20.417/2010, cambió el paradigma de lo que hasta ese momento se pensaba de lo que era el tema ambiental en Chile, lo que obligó a la mayoría de las empresas a cambiar sus estrategias corporativas y operacionales, con el fin de mantenerse en el tiempo. En este contexto, el 01 de octubre del 2010, desaparece la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), comenzando a funcionar el nuevo modelo, inicialmente el Ministerio del Medio Ambiente y el Servicio de Evaluación Ambiental, considerando nuevos requisitos para los futuros proyectos que ingresarán a evaluación ambiental.

El 28 de diciembre del 2012, en conjunto con la puesta en marcha del Tribunal Ambiental con sede en Santiago, se da inicio a las facultades fiscalizadoras y sancionadoras de la Superintendencia del Medio Ambiente, lo cual da el punto de partida oficial por parte del Estado, a una fiscalización ambiental más rígida y compleja, que hasta ese momento no existía en Chile. Esto es el principal motor para que las empresas, especialmente las mineras busquen nuevas estrategias con el fin de no cometer errores y ser sancionados por incumplimientos a los instrumentos de gestión ambiental, sobre todo las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA's). En este sentido con la firma de los convenios entre la SMA y los Organismos del Estado con competencia ambiental, comienza una nueva estrategia de fiscalización ambiental de proyectos, con un enfoque más detallista y con multas muchos más elevadas, de las que existían hasta ese momento.

Durante el año 2015, se desarrollaron 344 actividades de fiscalización ambiental sobre las RCA, de las cuales el 82% correspondió a actividades programadas y un 18% a actividades no programadas, las cuales fueron ejecutadas en base a denuncias, requerimientos de oficio o auto denuncias (ver Figura 11).

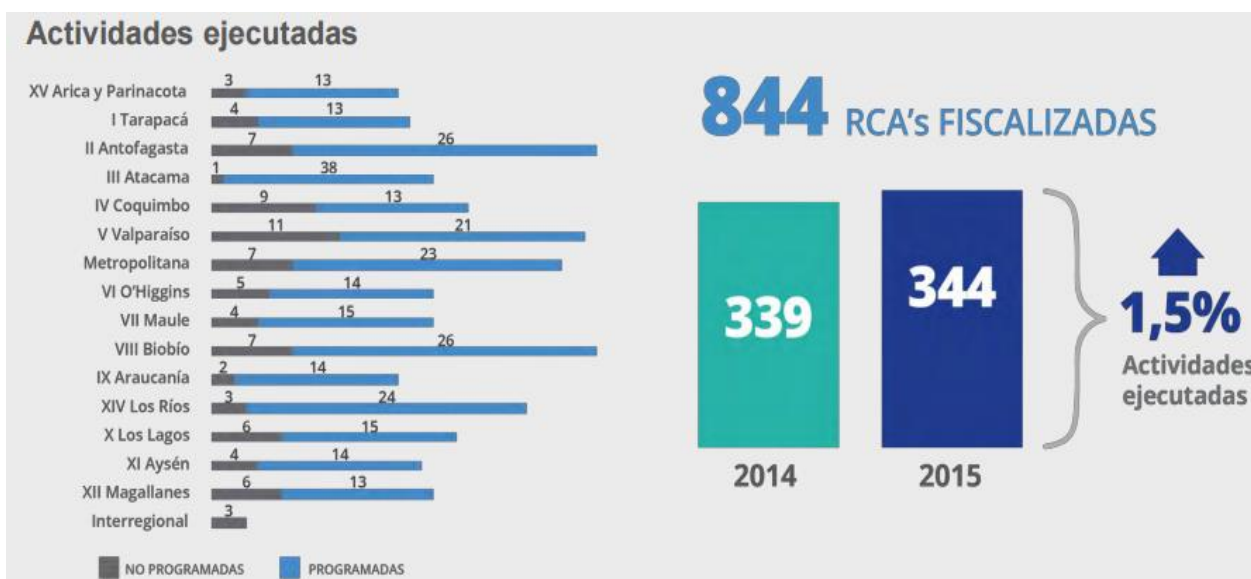


Figura 11: Actividades de fiscalización RCA año 2015. (Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente, 2016)

Del total de actividades de fiscalización ejecutadas. Las regiones que concentraron el mayor número de actividades fueron las Regiones de Antofagasta y del Bío-Bío, con 33 actividades cada una, entre programadas y no programadas. En el caso de la región de Coquimbo de realizaron 22 actividades de fiscalización

Respecto a los sectores económicos más fiscalizados durante el año 2015, se puede indicar que el Saneamiento Ambiental, Minería, Energía y Pesca y Acuicultura concentran sobre el 76% de las actividades ejecutadas para el instrumento RCA, tal como se aprecia en la Figura 12.

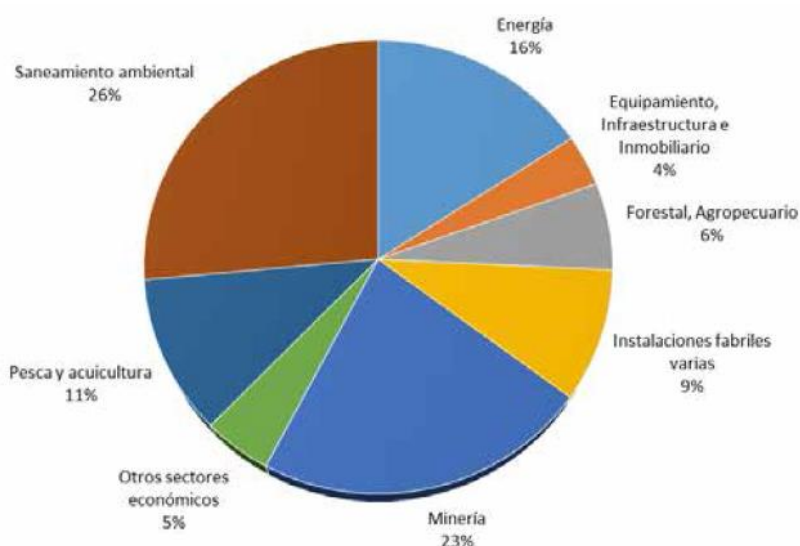


Figura 12: Sectores económicos fiscalizados por RCA año 2015. (Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente, 2016)

Como se puede visualizar, uno de los sectores económicos más fiscalizados corresponde a la minería, ya que es uno de los más contaminantes y de los que más RCA's asociadas tiene.

Del total de procedimientos sancionatorios realizados en el año 2015, aproximadamente el 16% corresponde a Agroindustrias, el 9,7% a Pesca y Acuicultura, el 9,2% a Venta de Leña y el 8,3% a Minería. Lo anterior significa que, una vez realizadas las respectivas fiscalizaciones, producto de los incumplimientos los antecedentes se derivan a la División de Sanción y Cumplimiento, específicamente a la Unidad de Instrucción de Procedimientos Sancionatorios de

la SMA, para el análisis técnico-jurídico de los hechos que podrían constituir infracciones a la normativa vigente. (Ver Figura 13)

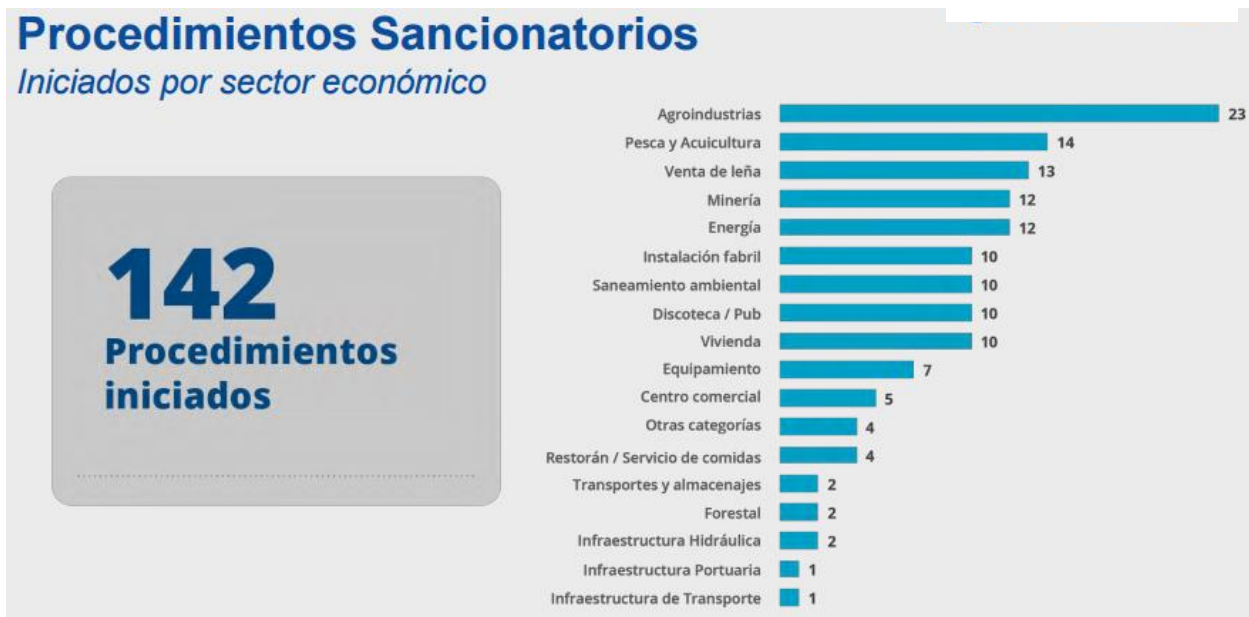


Figura 13: Nivel de conformidad de las actividades de Fiscalización Ambiental de RCA. Fuente: (Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente, 2016)

Otro hito importante en Chile se dio el 11 de noviembre del 2011, con la promulgación de la Ley N° 20.551, que obliga a las empresas a incluir un detallado Plan de Cierre de faenas mineras cuando presentan sus proyectos. El principal objetivo de esta norma es la integración y ejecución de medidas y acciones destinadas a mitigar los efectos que se derivan del desarrollo de la industria extractiva minera. De esta forma, la autoridad busca asegurar la estabilidad física y química de las instalaciones y obras que quedarán al término de la vida útil de los proyectos mineros, como resguardo a la vida, salud y seguridad de las personas, en conformidad a la normativa ambiental vigente.

Finalmente, en términos del entorno, la empresa se encuentra regulada por Leyes y Reglamentos propios del ámbito de la Seguridad Minera (Ley N°16.744/1964 y sus Reglamentos; DS N°132/2002), las cuales regulan las condiciones básicas que deben mantenerse en los lugares de trabajo para asegurar la no ocurrencia de accidentes, los cuales en su mayoría son fatales debido a los peligros existentes en las actividades propias de las operaciones mineras. Por otro lado, en el

ámbito medio ambiental, existe un contexto relativamente nuevo de regulación, que poco a poco se está adaptando, pero que es cada día más riguroso, tanto para las operaciones propiamente tal, como para los futuros proyectos que se pretendan implementar.

4.1.1.1.3. Gestión de Riesgos e ISO 31.000, Of. 2009

a) Gestión de Riesgos

La gestión de riesgos (*traducción del inglés Risk management /Manejo de riesgos*) es un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación de riesgos utilizando recursos gerenciales (Prieto, 2011).

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse.

La gestión del riesgo se ha convertido en un tema de gran importancia debido al incremento de los desastres producidos en los últimos años, lo que ha provocado consigo un aumento en pérdidas humanas, económicas y materiales. En consecuencia, la tendencia actual es “centrarse en la reducción de riesgos y vulnerabilidades” para propiciar una solución que pueda satisfacer a todos los agentes implicados en un desastre, desde el gobierno, las instituciones gubernamentales, entre otros, hasta lo más importante que son las personas afectadas y que en la mayoría de los casos son los que tienen menor información y desconocen los riesgos a los que pueden enfrentarse (Bravo, 2009)

El enfoque integral de la gestión del riesgo pone énfasis en las medidas “*pre*” y “*post*” y depende especialmente de: (a) la identificación y análisis del riesgo; (b) la concepción y aplicación de medidas de prevención y mitigación; (c) la protección financiera mediante la transferencia o retención del riesgo; y (d) los preparativos y acciones para las fases posteriores de atención, rehabilitación y reconstrucción (Keipi *et.al.*, 2005).

En términos generales, se habla de una actividad sistemática de decisiones administrativas, institucionales, operacionales y habilidades para implementar políticas, estrategias y poder

ejecutarlas frente a la sociedad o ante individuos para disminuir el impacto relacionado a los peligros ambientales, tecnológicos y naturales (Casals *et al.*, 1999). Es importante también, para proteger a las comunidades y crear medios seguros, favoreciendo a una correcta toma de decisiones, ya que contribuyen a disminuir o reducir el impacto que pueda producir el desastre (Santamaría, 1994)

En Chile, no existe una definición ni estándar asociado a la gestión del riesgo, sin embargo, en los últimos años las tendencias internacionales han registrado un importante cambio de visión respecto a este concepto: de un enfoque de gestión tradicional hacia una gestión basada en la identificación monitoreo, control, medición y divulgación de los riesgos. El siguiente cuadro muestra la diferencia entre el modelo tradicional y el nuevo enfoque de evaluación de la gestión de riesgos, según las últimas tendencias:

Tabla V: Comparación entre esquema antiguo y enfoque nuevo respecto de la gestión del riesgo. (Fuente: Burriel, 1999)

Esquema anterior	Enfoque Nuevo
La evaluación de riesgos es histórica y se desempeña eventualmente.	La evaluación del riesgo es continua y recurrente.
La evaluación del riesgo detecta y reacciona.	La evaluación del riesgo anticipa y previene.
La evaluación del riesgo se enfoca en las transacciones financieras y los controles internos.	La evaluación de riesgos se enfoca en la identificación, medición y control de los riesgos, velando que la organización logre sus objetivos con un menor impacto de riesgo posible.
Cada función es independiente. Pocas funciones tratan de la evaluación de riesgo.	La evaluación de riesgo está integrada en todas las operaciones y líneas de negocios.
No hay una política de evaluación de riesgo.	La política de evaluación de riesgo es formal y claramente entendida.

En este sentido, gestionar eficazmente los riesgos para garantizar resultados concordantes con los objetivos estratégicos de la organización, quizás sea uno de los mayores retos de los

administradores de las empresas. Desde este punto de vista, la gestión integral de los riesgos se vuelve una parte fundamental de la estrategia y factor clave de éxito en la creación de valor económico agregado para los accionistas, empleados, inversionistas, entre otros (Burriel, 1999).

Es por lo anteriormente mencionado que Chile ha debido adoptar estándares internacionales para la gestión eficaz de los riesgos dentro de las empresas y así el Instituto de Normalización Nacional (INN) ha adaptado a Chile normas internacionales que regulan el tema, como la OHSAS 18.000 e ISO 31.000. El Instituto de Salud Pública de Chile, a través de su Departamento de Salud Ocupacional, también ha incluido los conceptos básicos de gestión de riesgos asociados a las normas antedichas dentro de sus guías orientativas asociadas al tema.

b) ISO 31.000, OF. 2009

Esta norma establece un número de principios que es necesario satisfacer para hacer que la gestión del riesgo sea eficaz. Recomienda que las organizaciones desarrollen, implementen y mejoren continuamente un marco de referencia cuyo propósito sea integrar el proceso para la gestión del riesgo en los procesos globales de gobierno, estrategia y planificación, gestión, procesos de presentación de informes políticas, valores y cultura de la organización.

La gestión del riesgo puede aplicarse a toda la organización, en todas sus muchas áreas y niveles, en cualquier momento, así como a funciones, proyectos y actividades específicas.

Aunque la práctica de la gestión de riesgo se ha desarrollado con el paso del tiempo y en muchos sectores para satisfacer diversas necesidades, la adopción de procesos consistentes dentro de un marco de referencia exhaustivo puede ayudar a garantizar que el riesgo se gestiona eficaz, eficiente y coherentemente en toda la organización. El enfoque genérico de la norma suministra principios y las directrices para la gestión de cualquier forma de riesgo en una manera sistemática, transparente y creíble, y en cualquier alcance y contexto.

Cada sector específico o cada aplicación de la gestión del riesgo traen consigo necesidades audiencias, percepciones y criterios individuales. Por lo tanto, una característica clave de esta norma es la inclusión del “establecimiento del contexto o marco general” como una actividad al inicio de este proceso genérico para la gestión del riesgo. Al establecer el contexto se capturarán los objetivos de la organización, el entorno en el cual ella persigue sus objetivos, sus partes

involucradas y la diversidad de criterios de riesgo; todo en conjunto ayudará a revelar y evaluar la naturaleza y la complejidad de sus riesgos.

La relación entre los principios para la gestión del riesgo, el marco de referencia en el cual ésta sucede y los procesos de gestión del riesgo descritos aquí se ilustran en la Figura 14.

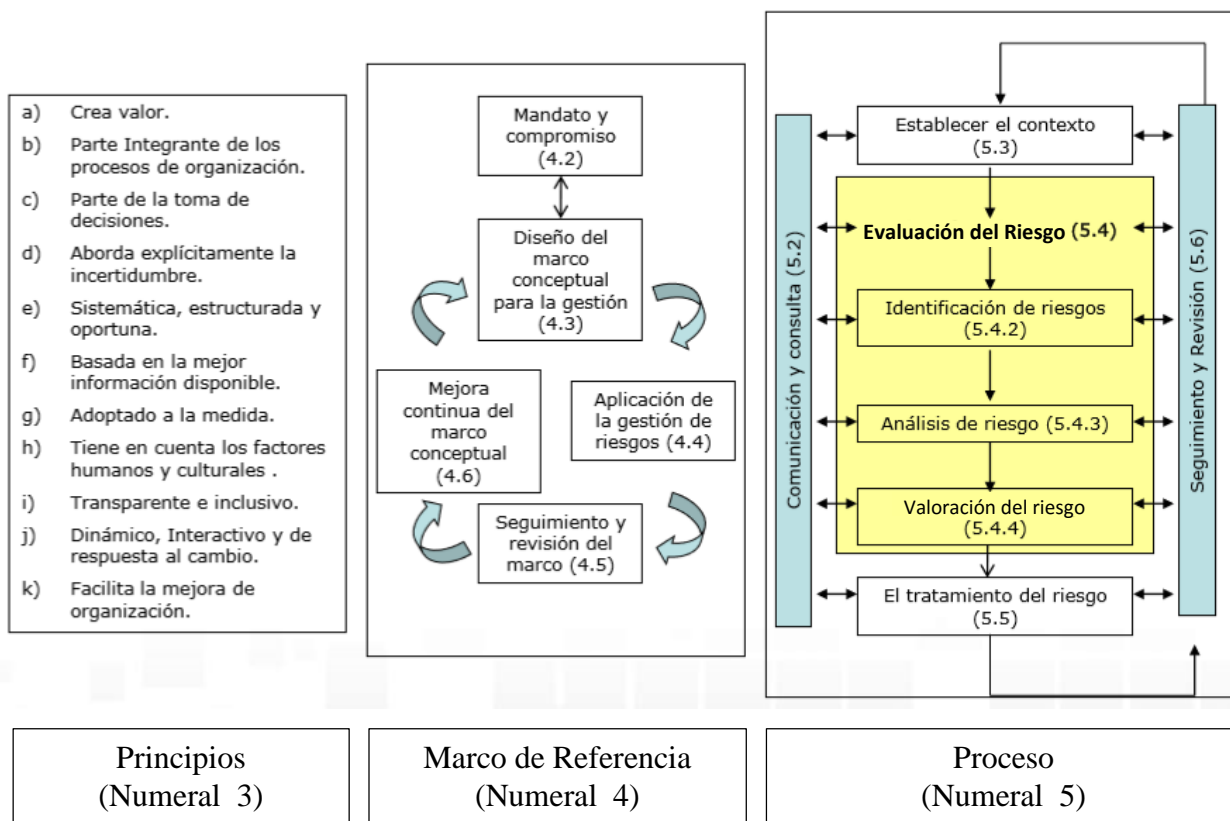


Figura 14: Relaciones entre los principios, el marco de referencia y los procesos para la gestión del riesgo. (Fuente: ICONTEC, 2011)

b.1. Principios

Para que la gestión del riesgo sea eficaz, la organización debe cumplir con todos los siguientes principios en todos los niveles:

a) La gestión del riesgo crea y protege el valor

La gestión del riesgo contribuye al logro demostrable de los objetivos y a la mejora del desempeño. Por ejemplo, en la salud y la seguridad humana, la conformidad legal y reglamentaria, la seguridad, la aceptación pública, la protección del medio ambiente, la calidad del producto, la gestión de proyectos, la eficiencia en las operaciones, el gobierno y la reputación.

b) La gestión del riesgo es una parte integral en todos los procesos de la organización

La gestión del riesgo no es una actividad independiente que se separa de las actividades y los procesos principales de la organización. La gestión del riesgo es parte de las responsabilidades de la dirección y una parte integral de todos los procesos de la organización, incluyendo la planificación estratégica y todos los procesos de gestión de proyectos y de cambio.

c) La gestión del riesgo es parte de la toma de decisiones

La gestión del riesgo ayuda a quienes toman las decisiones a hacer elecciones informadas, priorizar acciones y distinguir entre cursos de acción alternativos

d) La gestión del riesgo aborda explícitamente la incertidumbre

La gestión del riesgo toma en consideración explícitamente a la incertidumbre, su naturaleza y la forma en que se puede tratar.

e) La gestión del riesgo es sistemática, estructurada y oportuna

Un enfoque sistemático, oportuno y estructurado para la gestión del riesgo contribuye a la eficiencia y a resultados consistentes, comparables y confiables.

f) La gestión del riesgo se basa en la mejor información disponible

Las entradas para el proceso de gestión del riesgo se basan en fuentes de información tales como datos históricos, experiencia, retroalimentación de las partes involucradas, observación, previsiones y exámen de expertos. Sin embargo, quienes toman las decisiones deberían informarse y tomar en consideración todas las limitaciones de los datos o de los modelos utilizados, o la posibilidad de divergencia entre los expertos.

g) La gestión del riesgo está adaptada

La gestión del riesgo se alinea del contexto externo e interno y del perfil de riesgo de la organización.

h) La gestión del riesgo toma en consideración los factores humanos y culturales

La gestión del riesgo se alinea del contexto externo e interno y del perfil de riesgo de la organización.

i) La gestión del riesgo es transparente e inclusiva

La correcta y oportuna intervención de las partes involucradas y, en particular, de aquellos que toman las decisiones en todos los niveles de la organización. Garantiza que la gestión del riesgo siga siendo pertinente y se actualice. Ésta intervención también permite a las partes involucradas estar correctamente representadas y hacer que sus puntos de vista se tomen en consideración al determinar los criterios del riesgo.

j) La gestión del riesgo es dinámica, reiterativa y receptiva al cambio

La gestión del riesgo siente y responde continuamente al cambio. A medida que se presentan los eventos externos e internos, el contexto y el conocimiento cambian, tienen lugar el

monitoreo y la revisión de los riesgos, emergen riesgos nuevos, algunos cambian y otros desaparecen.

k) La gestión del riesgo facilita la mejora continua de la organización

Las organizaciones deberían desarrollar e implementar estrategias para mejorar la madurez de su gestión de riesgos junto con todos los otros aspectos de su organización.

b.2. Marco de Referencia

El éxito de la gestión del riesgo dependerá de la eficacia del marco de referencia para la gestión, el cual brinda las bases y las disposiciones que se introducirán en todos los niveles de la organización. El marco ayuda a la gestión eficaz del riesgo a través de la aplicación del proceso para la gestión del riesgo en los diversos niveles y en contextos específicos de la organización. El marco garantiza que la información acerca del riesgo derivada del proceso para la gestión del riesgo se reporte de manera adecuada y se utilice como base para la toma de decisiones y la rendición de cuentas en todos los niveles pertinentes de la organización.

b.3. Proceso

El proceso para la gestión del riesgo debería:

- Ser parte integral de la gestión,
- Estar incluido en la cultura y las prácticas, y
- Estar adaptado a los procesos de negocio de la organización.

El proceso comprende las actividades que se describen a continuación:

b.3.1. Comunicación y Consulta

La comunicación y consulta con las partes involucradas externas e internas deberían tener lugar durante todas las etapas del proceso para la gestión del riesgo.

Por lo tanto, se deberían desarrollar tempranamente los planes para la comunicación y la consulta. Éstos se deberían abordar aspectos relacionados con el propio riesgo, sus causas, sus consecuencias (si se conocen), y las medidas que se toman para tratarlo. Se deberían realizar comunicaciones y consultas externas e internas eficaces para asegurarse que aquellos responsables de la implementación del proceso de gestión del riesgo y las partes interesadas comprenden las bases que han servido para tomar decisiones y las razones por las que son necesarias determinadas acciones.

La comunicación y la consulta con las partes involucradas son importantes dado que ellas dan sus opiniones acerca del riesgo con base en sus percepciones de éste. Estas percepciones pueden variar debido a las diferencias en los valores, las necesidades, las asunciones, los conceptos y los intereses de las partes involucradas. Dado que sus puntos de vista pueden tener un impacto significativo en las decisiones que se toman, las percepciones de las partes involucradas se deberían identificar, registrar y tomar en consideración en el proceso de toma de decisiones.

La comunicación y consulta debería facilitar los intercambios de información veraz, pertinentes, precisos y fáciles de entender, teniendo en cuenta los aspectos de la integridad personal y confidencial.

b.3.2. Establecimiento del Contexto

Al establecer el contexto, la organización articula sus objetivos, define los parámetros externos e internos que se van a considerar al gestionar el riesgo y establece el alcance y los criterios del riesgo para el resto del proceso. Aunque muchos de estos parámetros son similares a aquellos que se consideran en el diseño del marco de referencia para la gestión del riesgo, al establecer el contexto del proceso para la gestión del riesgo, es necesario que estos parámetros se consideren en mayor detalle y, en particular, la manera como se relacionan con el alcance el proceso para la gestión del riesgo particular.

b.3.3. Evaluación del Riesgo

La evaluación del riesgo es el proceso total de identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo.

b.3.3.1. Identificación del Riesgo

La organización debería identificar las fuentes de riesgo, las áreas de impacto, los eventos (incluyendo los cambios en las circunstancias) y sus causas y consecuencias potenciales. El objetivo de esta fase es generar una lista exhaustiva de riesgos con base en aquellos eventos que podrían crear, aumentar, prevenir, degradar, acelerar o retrasar el logro de los objetivos. La identificación exhaustiva es crítica porque un riesgo que no se identifique en esta fase no será incluido en el análisis posterior.

La identificación debería incluir los riesgos independientemente de si su origen está o no bajo el control de la organización, aun cuando el origen del riesgo o su causa pueden ser evidentes. La identificación del riesgo debería incluir el exámen de todos los efectos colaterales de las consecuencias particulares, incluyendo los efectos en cascada y acumulativos. También, se debería considerar un rango amplio de consecuencias incluso si el origen del riesgo o su causa pueden no ser evidentes. Al igual que la identificación de lo que podría suceder, es necesario conocer las causas y los escenarios posibles que muestran que las consecuencias se podrían presentar. Se recomienda considerar todas las causas y consecuencias significativas.

La organización debería aplicar herramientas y técnicas para la identificación del riesgo que sean adecuadas a sus objetivos y capacidades, y a los riesgos que se enfrentan. La información pertinente y actualizada es importante para identificar los riesgos. Esta información debería incluir, siempre que sea posible, la información básica. En la identificación del riesgo se deberían involucrar personas con el conocimiento apropiado.

b.3.3.2. Análisis del Riesgo

El análisis del riesgo implica el desarrollo y la comprensión del riesgo. Este análisis brinda una entrada para la evaluación del riesgo y para las decisiones sobre si es necesario o no tratar los riesgos y sobre las estrategias y métodos más adecuados para su tratamiento. El análisis del riesgo también brinda una entrada para la toma de decisiones, en la cual se deben hacer elecciones y las opciones implican diversos tipos y niveles de riesgo.

El análisis del riesgo involucra la consideración de las causas y las fuentes de riesgo, sus consecuencias positivas y negativas, y la probabilidad de que tales consecuencias puedan ocurrir. Se deberían identificar los factores que afectan a las consecuencias y a la probabilidad. El riesgo es analizado determinando las consecuencias y su probabilidad, junto a otros atributos. Un evento puede tener consecuencias múltiples y puede afectar a objetivos múltiples. También, se deberían considerar los controles existentes, su eficacia y eficiencia.

La forma en la cual las consecuencias y la probabilidad se expresan y la forma en la cual ellas se combinan para determinar el nivel del riesgo debería reflejar el tipo de riesgo, la información disponible y el propósito para el cual se va a usar la salida de la valoración del riesgo. Todo esto debería ser consistente con los criterios del riesgo. También es importante considerar la interdependencia de los diferentes riesgos y sus orígenes.

La confianza en la determinación del nivel de riesgo y su sensibilidad a las condiciones previas y supuestos se debería considerar en el análisis y comunicar eficazmente a quienes toman las decisiones y, según corresponda, a otras partes involucradas. Factores tales como la divergencia de opinión entre los expertos, la incertidumbre, la disponibilidad, la calidad, la cantidad y la pertinencia continua de la información, o los limitantes en el modelado se deberían establecer y se pueden enfatizar.

El análisis del riesgo se puede realizar con diversos grados de detalle, dependiendo del riesgo, el propósito del análisis, la información, datos y recursos disponibles. El análisis puede ser cualitativo, semi-cuantitativo o cuantitativo, o una combinación de ellos, dependiendo de las circunstancias.

Las consecuencias y su probabilidad se pueden determinar modelando los resultados de un evento o grupo de eventos, o mediante extrapolación a partir de estudios experimentales o de los

datos disponibles. Las consecuencias se pueden expresar en términos de impactos tangibles o intangibles. En algunos casos, se requiere más de un valor numérico o descriptor para especificar las consecuencias y su probabilidad en diferentes momentos, lugares, grupos o situaciones.

b.3.3.3. Valoración del Riesgo

El propósito de la valoración del riesgo es facilitar la toma de decisiones, basada en los resultados de dicho análisis, acerca de cuáles riesgos necesita tratamiento y la prioridad para su implementación.

La valoración del riesgo implica la comparación del nivel de riesgo observado durante el proceso de análisis y de los criterios del riesgo establecidos al considerar el contexto. Con base a esta comparación, se puede considerar la necesidad de tratamiento.

En las decisiones se debería tener en cuenta el contexto más amplio del riesgo e incluir consideraciones asociadas a la tolerancia de los riesgos que acarrearán otras partes diferentes de la organización que se benefician de dichos riesgos. Las decisiones se deberían tomar de acuerdo con los requisitos legales, reglamentarios y otros.

En algunas circunstancias, la valoración del riesgo puede llevar a la decisión de emprender un análisis en mayor profundidad. La valoración del riesgo también puede tener como resultado la decisión de no tratar el riesgo de ninguna manera que manteniendo los controles existentes. Esta decisión estará influida por la actitud de la organización hacia el riesgo y por los criterios del riesgo que se han establecido.

b.3.4. Tratamiento del Riesgo

El tratamiento del riesgo involucra la selección de una o más opciones para modificar los riesgos y la implementación de tales opciones. Una vez implementado, el tratamiento suministra controles o los modifica.

El tratamiento del riesgo implica un proceso cíclico de:

- Evaluación del tratamiento del riesgo.

- Decisión sobre si los niveles de riesgo residual son tolerables.
- Si no son tolerables, generación de un nuevo tratamiento para el riesgo.
- Evaluación de la eficacia de dicho tratamiento.

Las opciones para el tratamiento del riesgo no necesariamente son mutuamente excluyentes ni adecuadas en todas las circunstancias. Las opciones pueden incluir las siguientes:

- Evitar el riesgo al decidir no iniciar o continuar la actividad que lo originó.
- Tomar o incrementar el riesgo para perseguir una oportunidad.
- Retirar la fuente de riesgo.
- Cambiar la probabilidad.
- Cambiar las consecuencias.
- Compartir el riesgo con una o varias de las partes (incluyendo los contratos y la financiación del riesgo).
- Retener el riesgo mediante una decisión informada.

La selección de las opciones más adecuadas para el tratamiento del riesgo implica equilibrar los costos y los esfuerzos de la implementación frente a los beneficios derivados con respecto a los requisitos legales, reglamentarios y otros como, por ejemplo, la responsabilidad social y la protección del ambiente natural. En las decisiones también se deberían considerar los riesgos que pueden ameritar el tratamiento que no es justificable en términos económicos, por ejemplo, los riesgos graves (consecuencia negativa alta) pero raros (baja probabilidad).

Se puede considerar y aplicar una cantidad de opciones para el tratamiento, ya sea individualmente o en combinación. Normalmente, la organización se puede beneficiar de la adopción de una combinación de opciones de tratamiento.

Al seleccionar las opciones para tratar el riesgo, la organización debería considerar los valores y las percepciones de las partes involucradas y las vías más adecuadas para comunicarse con ellos. Cuando las opciones para tratar el riesgo pueden tener impacto en otras partes de la organización o para otras partes involucradas, estas opciones se deberían incluir en la decisión.

Aunque tienen igual eficacia, algunos tratamientos para el riesgo pueden ser más aceptables para algunas partes involucradas que para otras.

El plan de tratamiento debería identificar claramente el orden de prioridad en el cual se deberían implementar los tratamientos individuales para cada riesgo.

El tratamiento en sí mismo puede introducir riesgos. Un riesgo significativo puede ser la falla o la ineficacia de las medidas de tratamiento. Es necesario que el monitoreo sea parte integral del plan de tratamiento del riesgo para garantizar que las medidas sigan siendo eficaces.

El tratamiento también puede introducir riesgos secundarios que es necesario valorar, tratar, monitorear y revisar. Estos riesgos secundarios se deberían incorporar en el mismo plan de tratamiento definido para el riesgo original y no se deberían tratar como riesgos nuevos. Es recomendable identificar y mantener el vínculo entre los dos riesgos.

b.3.5. Monitoreo y Revisión

Tanto el monitoreo como la revisión deberían ser una parte planificada del proceso para la gestión del riesgo e incluir verificación y vigilancia regulares. Éstas pueden ser periódicas o permanentes, según convenga.

Los procesos de monitoreo y revisión de la organización deberían comprender todos los aspectos del proceso para la gestión del riesgo con el fin de:

- Garantizar que los controles son eficaces y eficientes tanto en el diseño como en la operación.
- Obtener información adicional para mejorar la valoración del riesgo.
- Analizar y aprender lecciones a partir de los eventos (incluyendo los cuasi accidentes), los cambios, las tendencias, los éxitos y los fracasos.
- Detectar cambios en el contexto externo e interno, incluyendo los cambios en los criterios del riesgo y en el riesgo mismo, que puedan exigir revisión de los tratamientos y las prioridades.
- Identificar los riesgos emergentes.

El avance en la implementación de los planes para el tratamiento del riesgo suministra una medida de desempeño. Los resultados se pueden incorporar en las actividades globales de gestión del desempeño, medición y reporte externo e interno de la organización.

Los resultados del monitoreo y la revisión se deberían registrar y reportar interna y externamente según corresponda. Además, se deberían utilizar como una entrada para la revisión del marco de referencia para la gestión del riesgo.

4.1.1.2. Análisis interno

En términos de accidentabilidad a mayo del 2014 CMSG presenta una tasa de accidentabilidad del 0,4 %, superior al 0,7% de la minería a nivel nacional (Ver Figura 15)

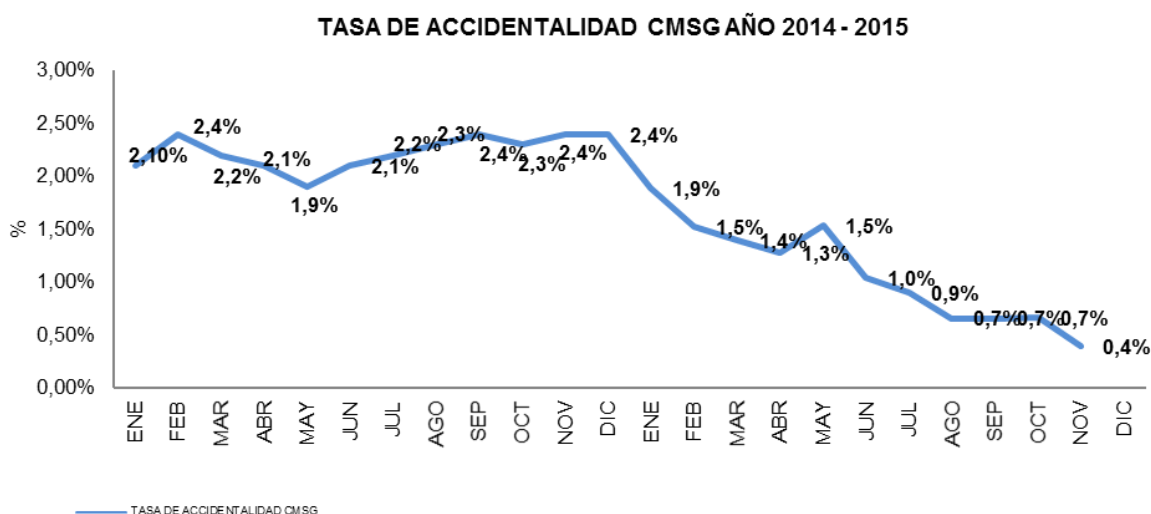


Figura 15: Tasa de accidentabilidad CMSG Período 2014- 2015. (Fuente: Elaboración Propia)

En términos de incidentabilidad ambiental, CMSG creó un indicador para poder llevar una estadística de los eventos asociados a posibles impactos ambientales de sus operaciones. A diciembre del 2015 el índice alcanza 5,6, y se puede observar una tendencia considerable a la baja (Ver Figura 16).

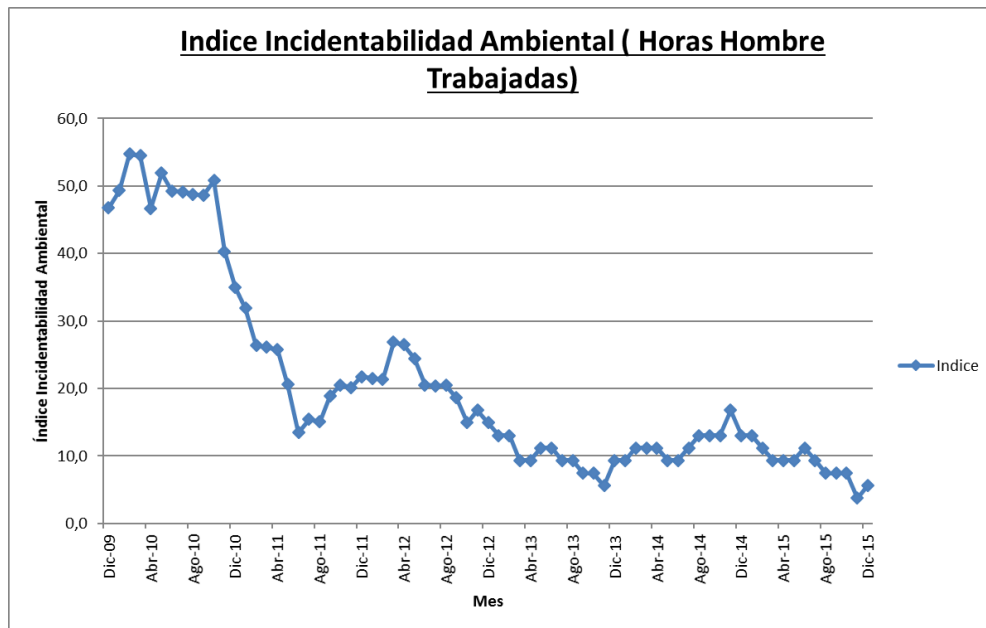


Figura 16: Índice Incidentabilidad Ambiental Período 2010-2015. (Fuente: Elaboración Propia)

Los principales incidentes están asociados a derrames provocados principalmente por roturas de carpetas de impermeabilización distintos sectores (pilas de lixiviación, piscinas de almacenamiento) y a fallas operacionales, relacionadas con manejo de válvulas o bombas, entre otras (Ver Figura 17).

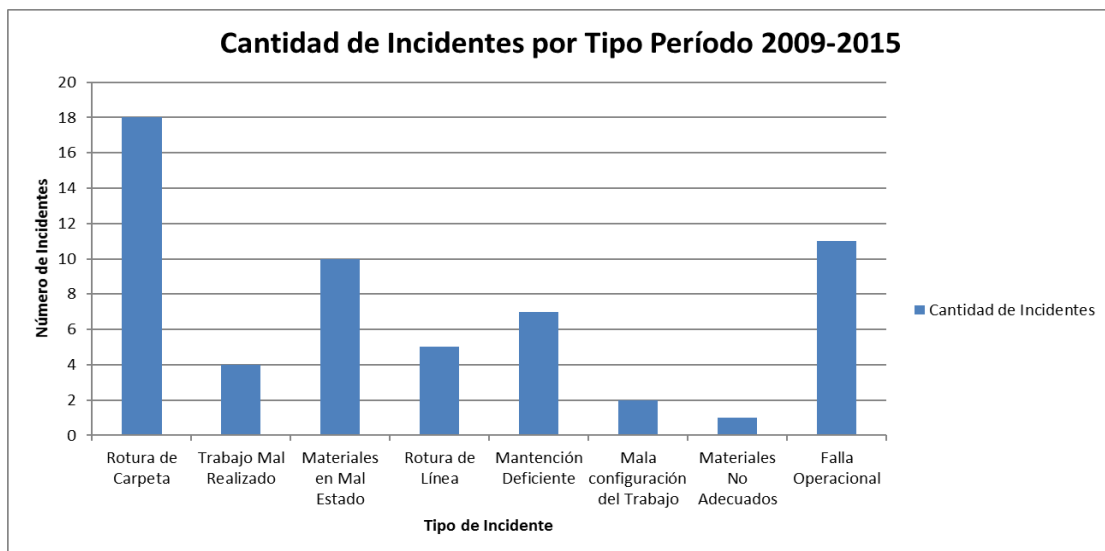


Figura 17: Cantidad de Incidentes Ambientales por tipo, Período 2010-2015. (Fuente: Elaboración Propia)

A la fecha CMSG ha presentado un proyecto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental asociado al funcionamiento de Planta San Lorenzo, según el siguiente detalle:

Tabla VI: Proyecto Ingresado al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental asociado a Planta San Lorenzo. (Fuente: Elaboración Propia)

Proyecto	Año	Tipo de Ingreso	RCA Aprobatoria	Estado del Proyecto
Ampliación Planta San Lorenzo	2009	DIA	RCA N°11/2009	En Operación

En dicho proceso de evaluación ambiental, se aprobó el funcionamiento de la Planta en su conjunto, incluyendo el área de Lixiviación.

4.1.1.3. Aspectos Financieros, Competitivos, Corporativos y Sociales

Los aspectos financieros, competitivos, corporativos, sociales y culturales de CMSG se detallan en la siguiente tabla:

Tabla VII: Aspectos financieros, competitivos, corporativos y sociales de CMSG. (Fuente: Elaboración Propia)

Aspecto	Descripción
Financiero	<p>La compañía tiene las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Razón Social: Compañía Minera San Gerónimo • Rut: 78.801.520-8 • Actividades: Extracción de Cobre y Venta al por mayor de otros productos (Servicio de Impuestos Internos) • Rubro: Mediana Minería del Cobre • Ganancias aproximadas: Más de US\$ 500.000.000 al año

Aspecto	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • Inversiones: Última inversión de US\$25.000.000 en minería subterránea • Fuente de Capital: Créditos Bancarios y Capital Propio (Inversionistas).
Competitivo	<p>CMSG se encuentra inserta en la IV Región de Coquimbo, donde la actividad minera es una de las más importantes aportando aproximadamente el 15,7% del PIB regional. De acuerdo a un catastro de SERNAGEOMIN realizado el año 2011, existen 1289 faenas mineras en toda la región, pertenecientes en su mayoría a la pequeña y mediana minería. CMSG produce concentrados de cobre y Sulfato de Cobre. Ambos tienen mercados bien definidos, por lo tanto, la competencia no representa mayor problema.</p>
Corporativo	<p>CMSG cuenta actualmente con dos unidades de negocios, de acuerdo a la siguiente descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad de Negocios Talcuna: Mina Tugal, Tranques de Relave (Humo Corral, Socorro N°6, La Higuera, Socorro N°5), Mina Subterránea y Planta Talcuna. • Unidad de Negocios Lambert: Planta San Lorenzo, Mina pequeñas de explotación bajo 5000 Ton/mes. <p>Ambas unidades de negocios cuentan con un Gerente de Operaciones que se encarga de dirigir y gestionar las operaciones de cada una de las faenas. Toda la gestión de apoyo se centra en Gerencias Corporativas, las cuales prestan servicios a cada una de las unidades de negocios: Gerencia de Finanzas, Gerencia de Sistemas, Gerencia de Abastecimiento y Contratos, Gerencia de Recursos Humanos, Gerencia de Exploraciones, Gerencia de Seguridad y Salud Ocupacional, Gerencia de Medio Ambiente y Territorio, Gerencia de Desarrollo y Nuevos Negocios. Todas las gerencias y la</p>

Aspecto	Descripción
	compañía en general son dirigidas por un Gerente General, quien da cuenta del estado de la empresa al Directorio.
Social	CMSG, al ser una empresa regional y considerando que sus unidades de negocio se encuentran insertas en sectores rurales con población cercana, es que cuenta con un área dentro de la Gerencia de Recursos Humanos, que se encarga específicamente de la gestión comunitaria. Es así como se ha logrado establecer buenas relaciones con los poblados cercanos, en los cuales la empresa ha contribuido de forma significativa, tanto para su desarrollo cultural, como para su desarrollo como comunidad. Además, en la contratación de personal, siempre se privilegia a aquellas personas que provengan de sectores cercanos a las faenas o en último caso de la región

4.1.1.4. Aspectos Legales

Para el análisis de los aspectos legales asociados al proceso de lixiviación, en el ámbito de seguridad y medio ambiente, es necesario en primera instancia identificar las normativas aplicables al proceso y posteriormente, evaluar el estado de cumplimiento de cada una de ellas.

La Tabla VIII presenta la normativa aplicable al proceso de lixiviación:

Tabla VIII: Normativa Aplicable al proceso de Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

Normativa	Carácter	Breve descripción de la atingencia	Ámbito
Ley N° 16744 / 1968. Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales	General	La empresa está obligada a tener un seguro obligatorio para sus trabajadores, además estas tienen que poseer de un comité paritario de higiene y	Seguridad

Normativa	Carácter	Breve descripción de la atingencia	Ámbito
Decreto Supremo N° 101/1968, Reglamento de la Ley de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales		seguridad si estas poseen más de 25 trabajadores. Además, deben de implementar medidas de seguridad y poseer un reglamento interno, donde cada trabajador es informado.	
Ley N° 20551/2011, Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras Decreto Supremo N°41/2012, Reglamento de la Ley de Faenas e Instalaciones Mineras	General	La empresa está obligada a presentar un Plan de Cierre detallado de sus faenas, donde se incluyan las medidas para resguardar la estabilidad física y química de sus instalaciones. Además, se deberá disponer de garantía para su cumplimiento	Medio Ambiente
Ley N°19.300/1994, de Bases Generales del Medio Ambiente, modificada por la Ley N°20417/2010, que crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente	General	La empresa debe evaluar, previo a llevar a cabo un proyecto, si éste debe ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto ambiental, de acuerdo a los requisitos y criterios establecidos por esta Ley. Si ya cuenta con una RCA, el proyecto debe someterse a la fiscalización y seguimiento establecidos por	Medio Ambiente

Normativa	Carácter	Breve descripción de la atinencia	Ámbito
Decreto Supremo N° 40/2013, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental		la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente	
Decreto Supremo N° 132 / 2004, Reglamento de seguridad minera	Específico	Establece las condiciones de seguridad que se debe seguir para el diseño y operación de instalaciones mineras (minas, plantas y procesos de apoyo) en Chile. Además, establece como ha de operarse, para asegurar un nivel de seguridad adecuado, así como para controlar los impactos ambientales que se puedan generar	Seguridad – Medio Ambiente
Decreto Supremo N° 594 / 1999, Reglamento sobre las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	Específico	La empresa está obligada a mantener los lugares de trabajo en óptimas condiciones sanitarias y ambientales que son necesarias para proteger la vida de sus trabajadores. Esto incluye provisión del agua potable, condiciones generales de construcción, disposición de residuos	Seguridad – Medio Ambiente

Normativa	Carácter	Breve descripción de la atingencia	Ámbito
		industriales, servicios higiénicos, agentes físicos, entre otros.	
Decreto Supremo N° 148/2004, Reglamento Sanitario para el Manejo de Residuos Peligrosos	Específico	La empresa está obligada a realizar un adecuado manejo (almacenamiento, transporte y eliminación) de los residuos peligrosos generados de los distintos procesos productivos de la empresa	Medio Ambiente
Ley N° 18290 / 1984, Ley de Tránsito	General	Las personas que conducen vehículos poseen licencia de conducir autorizada por un municipio correspondiente. La licencia que posee corresponde al tipo de vehículo que conduce.	Seguridad
Decreto Supremo N°40/1969, Reglamento sobre prevención de riesgos profesionales	Específico	Se toma en consideración la creación del departamento de prevención de riesgos y los comités paritarios respectivos. La función que ejerce las mutualidades de seguridad laboral en la empresa principal, en cuanto a los catastros de accidentes laborales y enfermedades profesionales. Finalmente, la	Seguridad

Normativa	Carácter	Breve descripción de la atingencia	Ámbito
		obligación de informar de las acciones y condiciones subestándares de parte de la empresa, hacia los trabajadores. La entrega del reglamento interno y equipos de protección personal correspondiente a este último (trabajadores).	

Las listas de chequeo de cumplimiento para cada una de las normativas identificadas en la Tabla VII como carácter específicas, se presentan en **ANEXO 3**.

Del análisis de cumplimiento de cada una de las normativas aplicables se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Ley N°16.744/68 y su Reglamento D.S N°101/68

La Ley N°16.744 es la ley marco de la seguridad en Chile, ya que contiene las bases de cómo debe gestionarse la Prevención de Riesgos profesionales. En términos generales la empresa cumple con lo estipulado ya que:

- Cuenta con un seguro obligatorio sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, el cual es administrado por la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), a la cual se encuentra adherida.
- Cuenta con un Comité Paritario de Higiene y Seguridad.
- Cuenta con reglamento de higiene y seguridad al día.

- Implementa medidas de seguridad, acorde a los riesgos identificados y evaluados de sus operaciones, entre ellas la Lixiviación.

b) Ley N°20.551/11 y su reglamento D.S N°41/12

La Ley N°20.551 es la ley marco del cierre de faenas e instalaciones mineras en Chile, ya que contiene las bases de cómo deben presentarse y gestionarse los Planes de Cierre de Faena al inicio y durante la operación minera. En términos generales, la empresa cumple con lo estipulado en esta normativa, ya que:

- Cuenta con un Plan de Cierre aprobado en base a la Ley N°20.551, según consta en la Resolución Exenta N°2308, emitida el 14 de septiembre del 2015 por SERNAGEOMIN.
- En marzo del 2016, dispondrá la primera parte de la garantía asociada al cierre de las instalaciones de la faena, entre ellas las correspondientes a Lixiviación.

c) Ley N°19.300/94 y su reglamento D.S N°40/13

La Ley N°19.000 es la ley marco del tema medio ambiental en Chile, ya que contiene las bases de cómo debe gestionarse el medio ambiente a nivel empresarial y de gobierno, estableciéndose una nueva institucionalidad y gestión ambiental pública. Sin embargo, la mayoría de sus regulaciones se asocian a “proyectos” que deben ser presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), previo a su ejecución si cumplen determinados requisitos, y así de esta manera obtener la licencia ambiental (RCA) para su funcionamiento. En términos generales, la empresa cumple con lo estipulado en esta normativa, ya que:

- Cuenta con un Resolución de Calificación Ambiental para el último proyecto asociado a las operaciones de la Planta, incluyendo a Lixiviación, según consta en la Resolución Exenta N°11, emitida el 14 de septiembre del 2009 por la COREMA Región de Coquimbo.
- Cuenta con todos los permisos ambientales sectoriales asociados al proyecto antedicho, así como también cumple con todos los compromisos ambientales asociados a su RCA.

d) D.S. N°132/2002

En la Figura 18 se puede visualizar que el estado de cumplimiento de esta normativa alcanza un 96%.

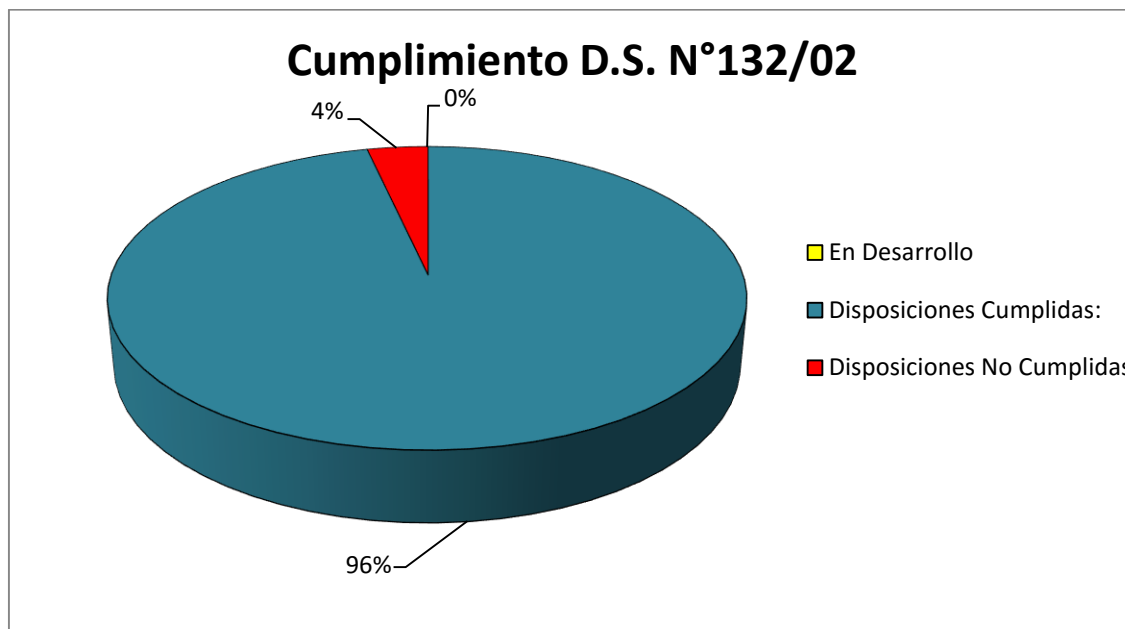


Figura 18: Estado de cumplimiento D.S. N°132/2002. (Fuente: Elaboración Propia)

Los incumplimientos se refieren a problemas de señalización, control de emisiones de gases y control del tema de alcohol y drogas. Sin perjuicio de lo anterior, la mayoría de ellos es subsanable.

Por otro lado, los principales hitos de cumplimiento están relacionados con:

- Envío de estadísticas de accidentabilidad a SERNAGEOMIN.
- Envío de estadísticas de producción a SERNAGEOMIN.
- Registros exigidos por SRNAGEOMIN para las actividad y fiscalizaciones realizadas en Planta.
- Resolución autorización funcionamiento de Planta y Plan de Cierre Minero.
- Implementación de medidas de seguridad exigidas en máquinas, equipos, vehículos y en condiciones de trabajo.

- Presencia de Ingenieros Metalurgistas y de Minas en las jefaturas.
- Presencia de un Departamento de Prevención de Riesgos en Planta, con su respectivo Experto en Seguridad Minera acreditado.
- Mantención constante de sistemas hidráulicos, eléctricos, de iluminación, de incendios, de alarmas y de protecciones.
- Sistemas de bloqueo en todas las facilidades que los necesiten.
- Condiciones sanitarias mínimas adecuadas, respecto a abastecimiento de agua y servicios higiénicos.
- Manejo de Residuos Peligrosos y sustancias peligrosas acorde a lo estipulado en la norma.
- Procedimientos de primeros auxilios y emergencias acorde a lo estipulado en la normativa.
- Condiciones adecuadas para los sistemas operacionales asociados a la planta, en base a lo indicado en la normativa.

e) **D.S. N°594/99**

En la Figura 19 se puede visualizar que el estado de cumplimiento de esta normativa alcanza un 98%.

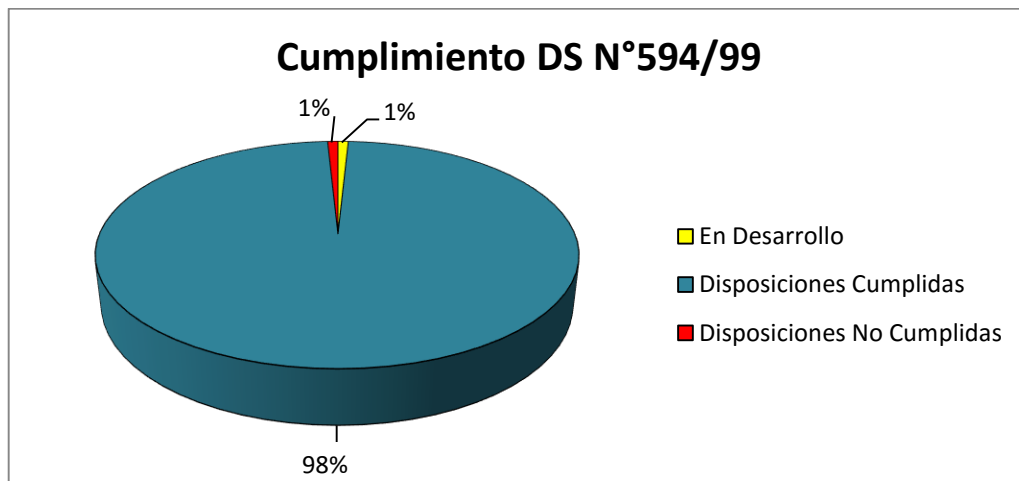


Figura 19: Estado de cumplimiento D.S. N°594/1999. (Fuente: Elaboración Propia)

Los incumplimientos se refieren a problemas de obstaculización de pasillos, debido a problemas de espacio y a que es imposible suprimir todos los peligros existentes en el lugar de trabajo, razón por la cual se indicó como “en desarrollo”, ya que la identificación de peligros, corresponde a una actividad que se desarrolla permanente en la empresa.

Por otro lado, los principales hitos de cumplimiento están relacionados con:

- Condiciones estructurales adecuadas de las instalaciones (pisos, paredes, techos, ventanas, pasillos) de acuerdo a lo estipulado en la normativa.
- Condiciones sanitarias mínimas adecuadas, respecto a: abastecimiento de agua, servicios higiénicos, alimentación, vestidores y ventilación.
- Sistemas de protección de incendios acorde a lo estipulado en la normativa.
- Almacenamiento y disposición de residuos industriales acorde a lo estipulado en la normativa.
- Medidas de seguridad adecuadas para herramientas, máquinas, vehículos y equipos.
- Dotación de Equipos de Protección Personal a los trabajadores, en base a lo indicado en la normativa.
- Control de la contaminación ambiental de los lugares de trabajo, evaluando el cumplimiento en las concentraciones ambientales de agentes físicos y químicos presentes en los distintos sectores de la Planta.

f) D.S. N°148/2003

En la Figura 20 se puede visualizar que el estado de cumplimiento de esta normativa alcanza un 96%.

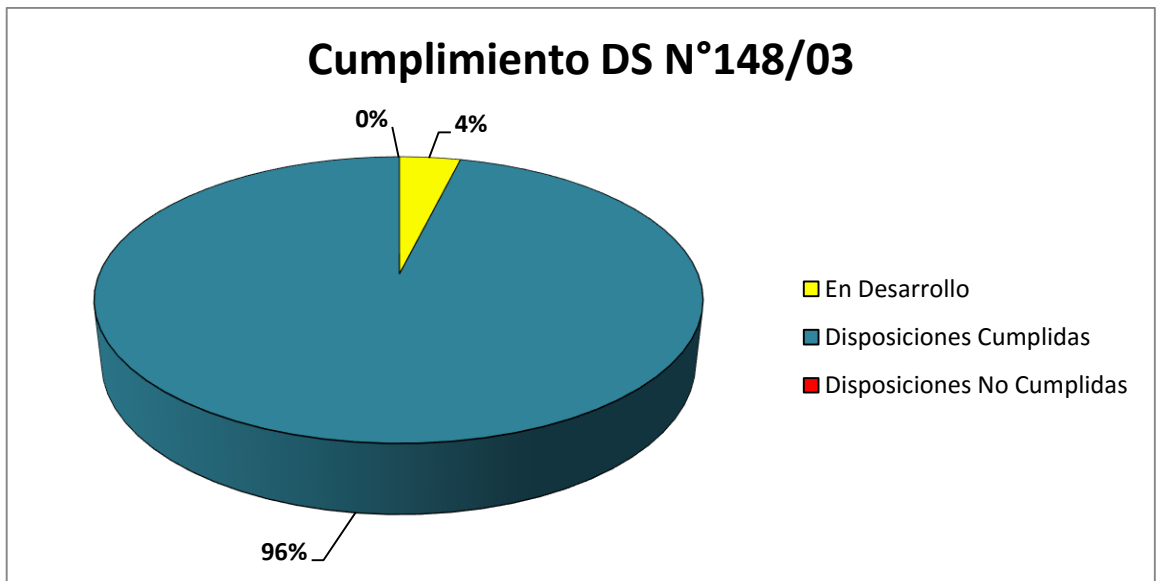


Figura 20: Estado de cumplimiento D.S. N°148/2003. (Fuente: Elaboración Propia)

Los incumplimientos se refieren a la no presentación del Plan de Manejo de Residuos Peligrosos a la Seremi de Salud de la IV Región. Sin embargo, esto se realizará el año 2016.

Por otro lado, los principales hitos de cumplimiento están relacionados con:

- Manejo de residuos peligrosos en los lugares de generación en base a lo indicado en la normativa.
- Etiquetado de los contenedores de residuos peligrosos en base a lo indicado en la normativa.
- Características de los contenedores para almacenar residuos peligrosos en base a lo indicado en la normativa.
- Autorizaciones para bodegas de almacenamiento de residuos peligrosos.
- Retiro de residuos peligrosos de Planta con transportistas autorizados.
- Disposición final de residuos peligrosos destinatarios autorizados.
- Declaración de los residuos peligrosos a través del Sistema de Declaración de Residuos Peligrosos (SIDREP).

g) Ley N°18.290/1984

La Ley N°18.290 es la ley marco de los temas asociados al tránsito y conducción en Chile. En términos generales la empresa cumple con lo estipulado en ella, ya que:

- Las personas que conducen vehículos poseen licencia de conducir autorizada por el municipio correspondiente.
- La licencia que poseen corresponde al tipo de vehículo que conducen.

h) D.S. N°40/1969

En la Figura 21 se puede visualizar que el estado de cumplimiento de esta normativa alcanza un 100%.

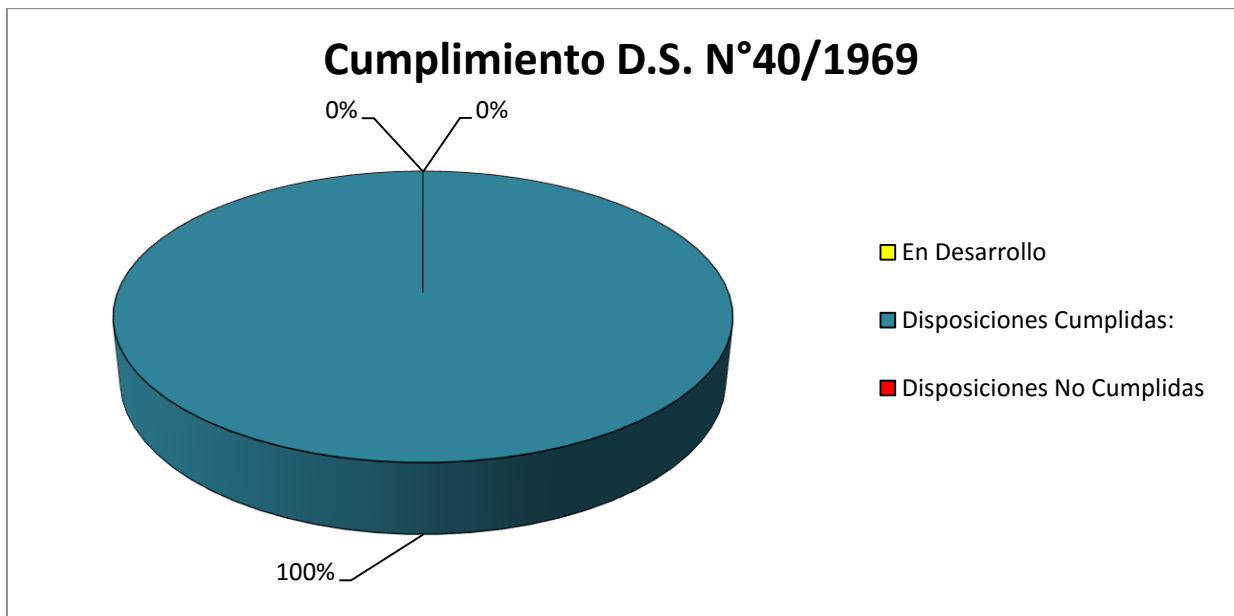


Figura 21: Estado de Cumplimiento D.S. N°40/1969. (Fuente: Elaboración Propia)

Los principales hitos de cumplimiento de esta normativa son:

- La empresa cuenta con un Departamento de Prevención de Riesgos dirigido por un experto profesional en Prevención de Riesgos a tiempo completo.
- La empresa cuenta con Reglamento Interno de Higiene y Seguridad, el cual es entregado a todos los trabajadores.
- El Departamento de Prevención de Riesgos lleva las estadísticas de accidentes establecidas en esta normativa y las actualiza mensualmente.
- La empresa cumple con la obligación de informar los riesgos laborales para todos los trabajadores.

4.1.2. Contexto Organizacional

CMSG es una empresa familiar que nació en 1963 como iniciativa de los Señores Juan y Dalivor Rendic. Por más de 40 años, la Compañía ha concentrado su quehacer en la exploración y explotación de minas de cobre y plata de la Región de Coquimbo.

El 2007, fue de gran importancia para la empresa, ya que ese año se inició el plan de expansión de la Compañía, el que le ha permitido consolidar una relevante posición como productor minero a nivel regional y nacional. Se han materializado importantes inversiones para modernizar la empresa, lo que se traduce en los siguientes ámbitos:

- Incorporación de profesionales de vasta experiencia.
- Asesoría de destacadas empresas de ingeniería para el desarrollo de proyectos.
- Tecnologías de última generación.
- Automatización de diversos procesos.
- Instalación de software de desarrollo minero y de administración

Actualmente, la empresa cuenta con dos unidades de negocios y gracias a su importante crecimiento está reconocida como parte de las empresas mineras de la Mediana Minería Regional.

Respecto a sus políticas organizacionales, se presentan a continuación las más importantes:

4.1.2.1. Misión

Crear Valor para los clientes, colaboradores, accionistas y la comunidad, a través del desarrollo, producción y comercialización de productos mineros de calidad, trabajando con seguridad y respeto por el medio ambiente

4.1.2.2. Valores

El trabajo de CMSG está guiado por los siguientes valores:

SEGURIDAD

“Valorar la integridad física y psicológica de las personas por sobre la producción y, por lo tanto, promover el actuar seguro en todos los ambientes y situaciones, dentro y fuera de la compañía.”

RESPONSABILIDAD

“Tomar decisiones en forma consciente y asumir las consecuencias de sus acciones. Cumplir sus compromisos, cuidar en todo momento la calidad de su trabajo y relacionarse de manera honesta, transparente y leal.”

AUSTERIDAD

“Alcanzar las metas que se proponemos en el tiempo requerido, cuidar los recursos de la empresa como si fueran propios e invertir solo en lo que es necesario y aporta a los resultados.”

RESPETO

“Aceptar y valorar a todas y cada una de las personas con quienes se relacionan, independientemente de su rol y jerarquía. Asimismo, cuidar su entorno físico, social y normativo, realizando una actividad minera consciente y rigurosa en el cumplimiento de sus procedimientos.”

FLEXIBILIDAD

“Están atentos a las oportunidades y riesgos del entorno, generando respuestas ágiles y eficaces, aprendiendo de la experiencia y adaptándose rápidamente a las nuevas maneras de hacer las cosas.”

4.1.2.3. Política de Seguridad y Medio Ambiente

CMSG cuenta con una política de Seguridad y Medio Ambiente que establece los lineamientos con los cuales la Gerencia toma las decisiones corporativas. A continuación, se presenta íntegramente dicha política:

“Compañía Minera San Gerónimo (CMSG) declara su decisión de desarrollar, producir y comercializar productos mineros de calidad en diversas facturas, garantizando en ello el respeto y cuidado por el medioambiente que acoge a sus faenas y seguridad laboral con un clima adecuado y favorable en términos de salud ocupacional y de ambiente de trabajo para sus colaboradores, todo ello coherente con su declaración corporativa de principios de “Minería Regional, Minería Responsable” y los Valores que la orientan de “Seguridad, Responsabilidad, Austeridad y Eficiencia, Respeto y Flexibilidad”.

Para lograrlo, CMSG se compromete a:

- ✓ Trabajar en base a un sistema documentado, que facilite la gestión corporativa en relación a sus partes interesadas, satisfaciendo sus requerimientos en términos de plazos, regulaciones y controlando los riesgos en los procesos productivos para asegurar la continuidad operacional.
- ✓ Cumplir con la legislación y reglamentaciones de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente vigentes, junto con otros requisitos legales y voluntarios a los que adhiera la empresa, identificando continuamente los aspectos ambientales, de seguridad y salud ocupacional que permitan prevenir eventuales efectos adversos significativos, tanto para nuestros trabajadores, comunidades aledañas como en el medio ambiente natural en que nos desenvolvemos.

- ✓ Mejorar continuamente las competencias de nuestro personal para el logro de los objetivos comunes, de manera de generar una espiral de mejoramiento continuo, que se refleje en la eficacia operacional y administrativa con que la empresa se desempeña en los ámbitos de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente”

4.1.2.4.Organigrama

Finalmente, como toda empresa, CMSG presenta una estructura orgánica vertical, en donde se establecen las distintas jerarquías e interrelaciones de todos los estamentos existentes. En las Figuras 22 y 23, se presenta el organigrama general de la Compañía y el de la Unidad de Negocios Lambert, donde se aplicó el presente trabajo:

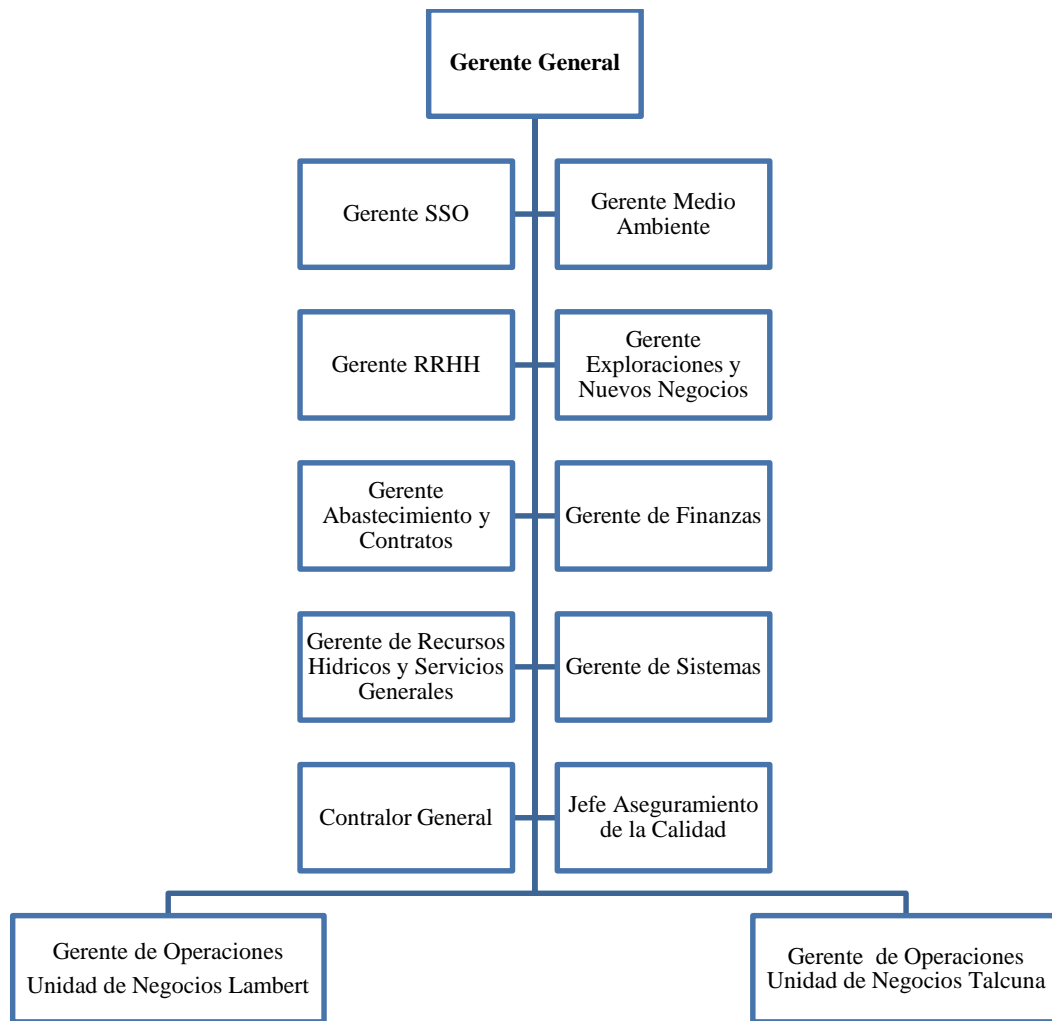


Figura 22: Organigrama General CMSG. (Fuente: Elaboración Propia)

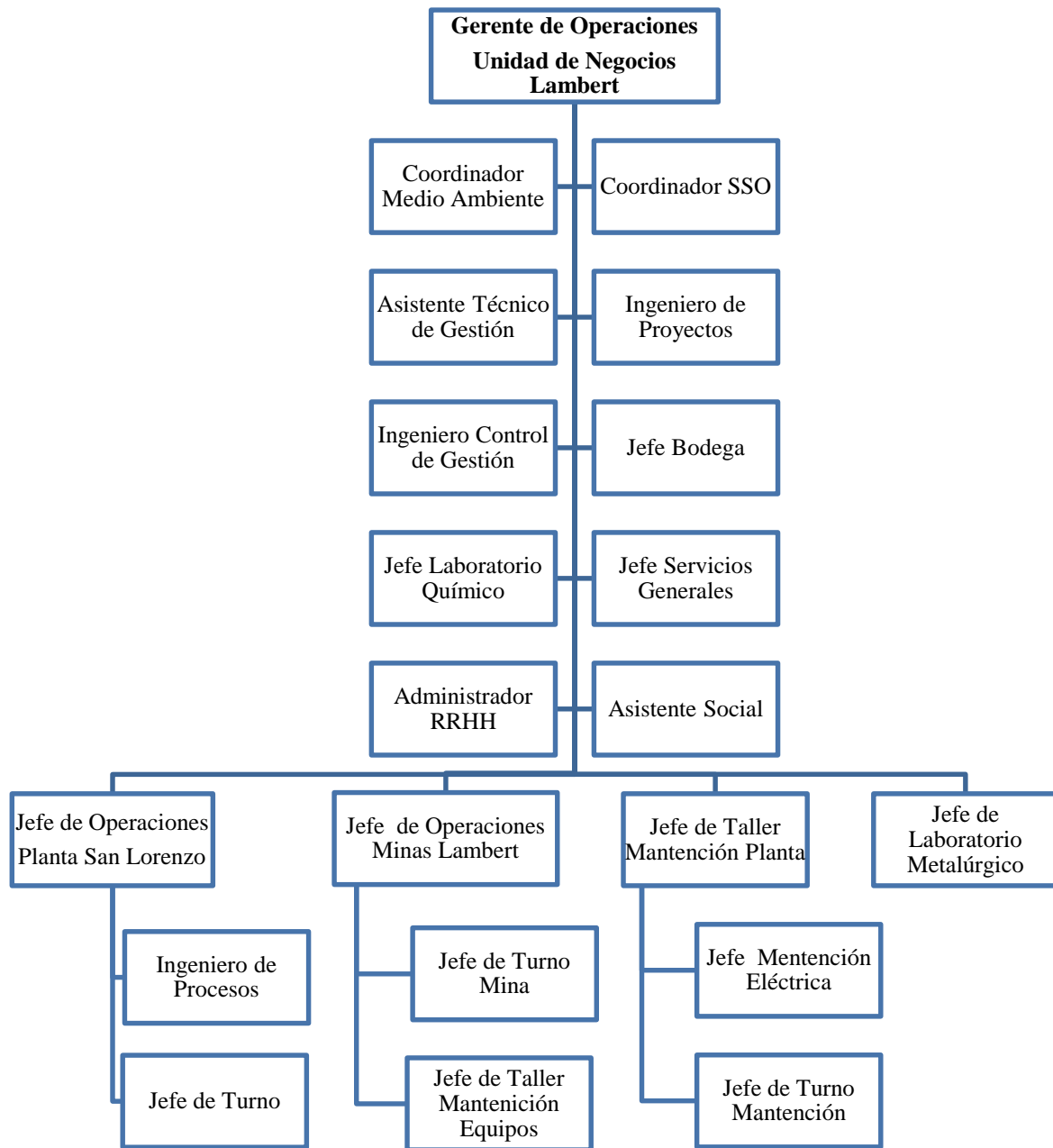


Figura 23: Organigrama Unidad de Negocios Lambert. (Fuente: Elaboración Propia)

4.1.3. Contexto Operacional

4.1.3.1. Descripción del proceso de lixiviación en textos reconocidos

Los minerales metálicos y la mayor parte de los minerales industriales, precisan de un tratamiento tras su extracción. Tales tratamientos se suelen hacer cerca o en el lugar de la explotación minera, con el objetivo de reducir el costo de transporte del material que se envía a la planta de beneficio metalúrgica.

El porcentaje de metal en el todo varía, en el caso del cobre, entre un 0,1 a un 1% (conocido como **ley**). En la mayor parte de las menas, los minerales que contienen metales (normalmente óxidos y sulfuros) son intercrecimientos a escala microscópica con minerales no valiosos (denominados ganga) tales como silicatos o carbonatos de las rocas, que actúan como hospedadores de las menas. En muchas operaciones, el primer paso del tratamiento es, por lo tanto, la reducción de tamaño de bloques de hasta un metro de diámetro a partículas de sólo unas décimas o centésimas de milímetros. La segunda fase del proceso implica la separación de la mena y la ganga y esto puede requerir uno o varios métodos. En ellos, se utiliza la diferencia de densidad, y las propiedades magnéticas, eléctricas o superficiales entre la mena y los minerales de la ganga.

El producto final de tales tratamientos (que suelen denominarse en conjunto beneficio) es un concentrado de los minerales de la mena y una cantidad mucho mayor de los minerales en la ganga.

Hoy en día la recuperación de cobre se realiza frecuentemente por disolución de este metal utilizando soluciones ácidas, mediante un método denominado lixiviación en pilas. Este es un ejemplo de hidrometalurgia, proceso en el que los metales se extraen por disolución de su roca madre. El material conminuido previamente se apila sobre grandes láminas de plásticos impermeables. Después se rocían sobre ellas disoluciones de ácido sulfúrico para que percolen lentamente a través de la mena y se disuelva el cobre (Craig *et. al.* 2007).

La palabra lixiviación procede del latín “*lixivia*” que significa *lejía*. En Roma, esta palabra se usaba para describir los jugos que destilaban las uvas o las aceitunas antes de ser machacadas. Hoy dicha palabra se usa para describir el proceso mediante el cual se lava una sustancia pulverizada con el objetivo de extraer de ella las partes que resulten solubles. Es así, que en minería

el termino lixiviación se define como un proceso hidrometalúrgico. Esto significa que, con la ayuda del agua como medio de transporte, se usan químicos específicos para separar los minerales valiosos (y solubles en dichos líquidos) de los no valiosos. Este proceso permite trabajar yacimientos que suelen ser calificados de baja ley (y por tanto de más alto costo de producción por tonelada) siempre que la operación minera involucre una actividad a gran escala. Es decir que la lixiviación en un proceso de recuperación que hará económico un proyecto conforme se trabajen mayores volúmenes de material (Vásquez, 2009).

La lixiviación es definida como la operación unitaria conducente a extraer una especie química desde una matriz sólida al contactarla con una fase líquida, que contiene un disolvente en condiciones de proceso apropiadas. De los varios métodos existentes uno de los principales es la lixiviación en pilas. Ésta consiste en depositar el mineral chancado a tamaños adecuados, en una superficie impermeable con una pendiente adecuada para la recolección de soluciones, y regarla con una solución acuosa del disolvente elegido, generalmente ácido sulfúrico (Ipinza, 2009).

4.1.3.1.1. Descripción del Proceso

Tal como se mencionó anteriormente, el proceso minero parte con la extracción del mineral desde las minas, el cual posteriormente es trasladado a Planta para disminuir su tamaño, proceso denominado conminución. Dicho proceso se lleva a cabo a través de la operación de Chancado, que puede contar con 2 o 3 equipos llamados chancadores (primarios, secundarios y/o terciarios), que permiten llevar el mineral a tamaños adecuados, esto es entre $\frac{1}{4}$ y 2 pulgadas, para su posterior beneficio.

Una vez obtenido el tamaño necesario, al mineral se le debe agregar ácido sulfúrico y agua, en cantidades tales que su beneficio sea eficiente y en corto tiempo. Esto se lleva a cabo a través de una operación llamada Aglomeración.

Finalmente, el mineral aglomerado es acopiado formando una pila de base rectangular sobre el piso previamente impermeabilizado. La altura de la pila puede ir desde 1,5 a 5 metros, dependiendo de las consideraciones metalúrgicas y sistemas de carguío. El piso de la pila se prepara adecuadamente y se impermeabiliza con carpetas plásticas de poliuretano, dándole al piso una leve pendiente de alrededor de un 3%, dirigida hacia una canaleta de recolección de soluciones. Ésta se

riega por aspersión o goteo desde encima, mediante sistemas de tuberías conectadas a mangueras que alimentan los goteros o aspersores (Vásquez, 2009).

Para un mejor entendimiento, en la Figura 24 se presenta un diagrama general de las operaciones unitarias previas a la lixiviación.

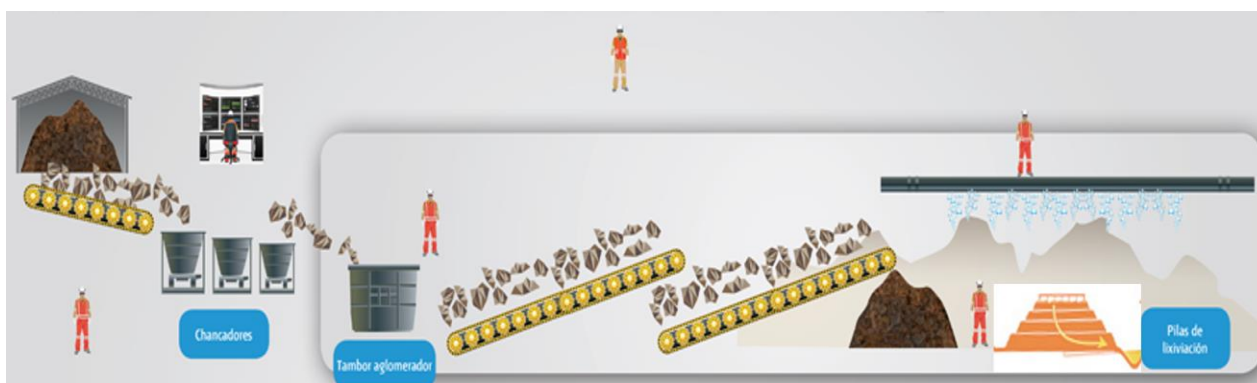


Figura 24: Diagrama procesos Chancado, Aglomeración y Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

El sistema de lixiviación en pilas se utiliza para lixiviar minerales oxidados, mixtos y sulfurados de cobre, con leyes que varían entre 0,8 y 3% en cobre e incluso superiores. Los ciclos de lixiviación son variables dependiendo del tipo y naturaleza de las especies y ley del mineral, siendo a lo menos de una semana y a lo más entre 5 y 6 meses.

La lixiviación produce una solución acuosa rica en los iones del metal valioso extraído, en este caso cobre, comúnmente denominada PLS (pregnant liquid solution), a partir del cual debe ser posible separar este metal y recuperarlo con un alto nivel de pureza. Además, se produce un residuo o ripio, que idealmente tiene un contenido suficientemente bajo en los minerales lixiviados como para ser descartado a un botadero o depósito (Ipinza, 2009).

La concentración de cobre en las soluciones PLS varía entre 3 a 10 gramos por litro, dependiendo ésta de la ley, altura del lecho y tasa de regadío aplicada, entre otras, obteniéndose extracciones superiores al 70% de cobre.

La gran ventaja de la lixiviación en pilas radica, por una parte, en el inventario de soluciones de regado, la cual es muy inferior que en la lixiviación por agitación y bateas. Por otra parte, los costos de inversión y operación son muy inferiores respecto de los otros sistemas antes

mencionados, pues no se requiere de infraestructura y equipos sofisticados salvo, un buen sistema de regado y carguío de pila (Vásquez, 2009).

4.1.3.1.2. Tecnologías de Lixiviación

Las tecnologías utilizadas en lixiviación pueden agruparse en dos categorías:

a) Lixiviación por percolación

La característica principal es que el mineral se encuentra estático, dispuesto en un lecho y la solución lixivante escurre a través de él, mediante la acción de la fuerza de gravedad o impulsada por algún dispositivo de naturaleza mecánica. En este tipo de tecnología pueden identificarse las lixivitaciones en batea, en pilas, en botaderos e *in situ* o *in place*.

b) Lixiviación por agitación

El material a lixiviar, concentrado o mineral molido, se pone en contacto con la solución lixivante en un estanque que es agitado, en forma mecánica o neumática. Una vez que se ha alcanzado la disolución de la especie útil, la solución e separado de los sólidos residuales mediante lavados en espesadores en contracorriente o mediante la acción combinada de espesadores y filtros.

4.1.3.1.3. Clasificación de los tipos de pila

Una primera clasificación de las pilas, es de acuerdo con el piso que pueden tener, lo cual define los siguientes tipos básicos:

a) Pila Renovable

Su piso es reutilizable, de modo que, terminado el ciclo de lixiviación, se retira el ripio, para reemplazarlo con material fresco.

b) Pila Permanente

Su piso no es reutilizable, de modo que terminado el ciclo de lixiviación no se retira el ripio, sino que se abandona.

c) Pila Modular

Es una combinación de ambas anteriores, en que sólo se impermeabiliza una vez el piso, el ripio se abandona, pero sobre él se deposita material fresco formando una segunda capa en el sentido vertical. Este tipo de pila se utiliza principalmente en la lixiviación de mineralizado en botaderos.

Una comparación entre pilas renovables y permanentes se presenta en la Tabla IX:

Tabla IX: Comparación entre Pila Renovable y Permanente. (Fuente: Vásquez, 2009)

	Pila Renovable	Piula Permanente
Campo de Aplicación	Minerales alta ley.	Minerales de baja ley.
	Minerales de alta recuperación.	Minerales de baja recuperación.
	Rápida cinética de lixiviación.	Lenta cinética de lixiviación.
	Lixiviación primaria de menas.	Lixiviación secundaria de ripios.
	Espacio disponible reducido.	Amplio espacio disponible.

Desde un punto de vista operativo, las pilas pueden clasificarse en los siguientes tipos:

a) Pila Unitaria

Se impermeabilizan diferentes sectores de la planta, todo el material depositado en los diferentes sectores pasa simultáneamente por las diversas etapas del ciclo de lixiviación.

b) Pila Dinámica

Se impermeabiliza un sector de la planta y en esta pila única coexisten materiales que están en distinta etapa del ciclo de lixiviación.

En la Tabla X se presenta una comparación entre la pila dinámica y unitaria:

Tabla X: Comparación entre Pila Unitaria y Dinámica. (Fuente: Vásquez, 2009)

Pila Dinámica	Pila Unitaria
<ul style="list-style-type: none">• En cada período que puede ser a diario o múltiplo de la alimentación diaria, descarga de un módulo y carga de otro módulo, las cuales además van directamente adosados a sus respectivos sectores de la pila, con la condición de que no haya contacto entre la mena fresca y el ripio agotado. De esta manera la carnada queda formada por sub-pilas internas.• Menor inversión unitaria por aprovechamiento de piso impermeable.• Ciclos de operación muy regulares• Concentraciones muy estables y regulables de las soluciones del proceso.• Menor capital de trabajo	<ul style="list-style-type: none">• Carga de una vez la totalidad de la pila y la descarga de una vez al término del ciclo de tratamiento.• Ventajosa para plantas de baja capacidad.• Operación más simple.

4.1.3.1.4. Características de la solución lixivante

La solución lixivante es una solución acuosa que contiene disuelto algún reactivo químico capaz de reaccionar con el mineral útil a fin de solubilizarlo. Entre las características generales que debe tener la solución lixivante se encuentran:

- Capacidad para disolver especies mineralógicas de interés a velocidades relativamente rápidas.
- No disolver a los minerales estériles de ganga o, en caso que esta disolución ocurra, su velocidad debe ser considerablemente más lenta que la disolución de la especie útil.
- No ser corrosiva, en caso de serlo, debe permitir trabajar con materiales normalmente disponibles.
- No ser dañina para la salud humana o para el medio ambiente natural, pero en caso de serlo, deben existir normas para su manejo seguro y medidas de mitigación adecuadas para aplicar en caso de peligro o desastre.
- Debe tener un costo razonable y una adecuada disponibilidad.
- Tanto los reactivos como los productos deben de tener una solubilidad adecuada en agua, a fin de minimizar volúmenes de soluciones que participan en el proceso.

La mayor parte de estas características, algunas de las cuales resultan obvias, son cumplidas satisfactoriamente por los lixiviantes de uso común en metalurgia extractiva.

En la disolución de minerales oxidados de cobre se usa ácido sulfúrico. Su acción es de naturaleza química, no modificando el número de oxidación de los elementos (Craig *et.al.*, 2007).

4.1.3.1.5. Variables del Proceso

Los principales parámetros que determinan las características operacionales de una lixiviación son:

a) Tamaño de partícula

El rango es amplio dependiendo del tipo de lixiviación aplicada. Así, por ejemplo:

- Botaderos de Ripios: ROM (run of mine),
- Pila: ¼ a 4",

- Batea: ¼ a ½” y
- Agitación: 60-80% menos 200 mallas

b) Aglomeración y Curado

La aglomeración y curado ha pasado a ser una etapa más en el diagrama de flujo de todos los proyectos de lixiviación en pilas. Lo que normalmente varía es la cantidad de agua o solución y ácido a agregar en esta etapa. En caso de minerales oxidados, hasta un 80% del ácido consumido se agrega en el curado, lo que normalmente se efectúa en tambores aglomeradores.

c) Altura de la pila

Está determinada por la permeabilidad del material, así como de la ley de cabeza, el acceso de ácido a las capas inferiores de la pila y la cinética de extracción. La presencia de arcillas consumidoras de ácido y la formación de precipitados pueden disminuir la permeabilidad, resultando en canalizaciones y acumulación de solución en la superficie, restringiendo de esta manera el acceso de aire y ácido a algunos sectores de la pila. Una buena aireación de la pila (vía permeabilidad óptima) se requiere para la eficiencia de las reacciones consumidoras de oxígeno (importante en lixiviación bacteriana).

d) Flujo específico

La tasa de riego varía entre un 5 y 30 L/h/m² dependiendo del tipo de lixiviación, tamaño de partícula y altura de la pila. Generalmente, se optimiza la combinación flujo específico – altura de la pila, de manera de minimizar el flujo de PLS alimentando a Extracción por Solventes.

e) Ciclo de lixiviación

Este también varía ampliamente, siendo de 30 a 60 días para una lixiviación en pilas convencional de mineral oxidado.

f) Consumo de ácido

El consumo de ácido depende del tipo de mineral de cobre y de la ganga. Los minerales oxidados de cobre reaccionan rápidamente con ácido sulfúrico y dependiendo de los contenidos de calcita, motmorrillonita y clorita, la roca matriz también puede reaccionar. Para óxidos este consumo varía entre 20 y 60 Kg/Mt.

g) Extracción de cobre

La extracción de cobre es función de la ley de cobre y de los parámetros indicados anteriormente. Los rangos normales para el óxido en pilas son de 70 a 85%.

h) Consumo de agua

El consumo de agua es bajo en un circuito de lixiviación en pilas. Este alcanza entre 0,5 y 0,7 m³/ton, siendo los principales consumos la humedad residual de los ripios y las pérdidas por evaporación y arrastre de vientos.

4.1.3.1.6. Ciclos de Lixiviación

Se entenderá como ciclo metalúrgico o de lixiviación de una pila o módulo, el período de tiempo medio en días o meses, en que un mineral es depositado en una cancha de lixiviación y es sometido a las siguientes operaciones:

a) Lixiviación o regadío con solución lixivante

En las pilas de tipo dinámico se pueden distinguir un riego rico y un riego intermedio.

b) Lavado con agua

Esta etapa se realiza con el fin de disminuir la impregnación de solución químicamente activa, ya sea porque contiene un elemento valioso en solución o porque contiene un lixivante polutante y peligroso.

c) Drenaje

El ripio antes de retirarlo, en el caso de una pila renovable, o de abandonarlo en el caso de una pila permanente, es dejado en reposo para que percole la cantidad de solución contenida entre los límites de humedad de percolación y humedad de impregnación del material.

d) Carga y descarga.

En el caso de pilas renovables, algunos autores hacen formar parte de este ciclo, el tiempo de construcción de la pila y el de su remoción.

Definido este ciclo, el hidrometalurgista podrá definir la dimensión de su Sistema de Lixiviación en Pilas.

4.1.3.1.7. Componentes de una pila y sus propiedades.

En la lixiviación en pilas el mineral de cobre es tratado con soluciones ácidas diluidas, las cuales pueden ser:

- a) Refino (Solución Pobre¹) con concentraciones de cobre entre 0,3 y 0,5 g/L y concentraciones de ácido entre 15 a 20 g/L.

¹ La denominación "pobre", "intermedia" o "rica", se asocia a la concentración de cobre en las soluciones.

- b) ILS (Solución Intermedia) con concentraciones de cobre entre 2 y 3 g/L y concentraciones de ácido entre 20 y 25 g/L.

Las soluciones antedichas, son distribuidas en la superficie de la pila a una determinada tasa de riego, expresada en litros por unidad de tiempo y por metro cuadrado de superficie de pila (flujo específico de riego). Esta tasa está limitada por la percolabilidad del material, esto es por la capacidad del mineral chancado a una granulometría dada, para drenar la solución alimentada en esta superficie por los regadores sin inundarse o formar capas freáticas en el interior del montón de mineral.

Durante el paso a través del mineral, el ácido se consume en el ataque de la mena y la ganga, incorporando a la fase acuosa las especies solubles para que sean evacuadas por la canaleta recolectora ubicada frente a su base (Ipinza, 2009).

Las fuerzas que regulan el fenómeno y, por lo tanto, la velocidad de reacción en la interfase sólido-líquido, deben ser parte de un movimiento hidráulico del tipo capilar y sólo en segunda instancia de tipo gravitatorio. Lo anterior debido a que la lixiviación en pilas tiene en sí una cinética lenta comparada con procesos del mismo tipo que trabajan con lechos inundados (lixiviación agitada o por percolación), por el grado de conminución a que es sometido el mineral. La solución debe mojar toda la roca para que pueda penetrar en todos los poros. Numerosos autores han presentado trabajos que intentan predecir el comportamiento de un sistema de este tipo (Vásquez, 2009).

Los componentes de una pila y sus propiedades básicas son:

a) Sustrato

Corresponde, en general, a un terreno con pendiente del orden de 1 a 3% en una dirección hacia la canaleta. Una condición favorable es estar libre de piedras angulosas como sea posible.

b) Finos de protección

Capa de áridos finos (arena, relaves, etc.) totalmente exento de elementos perforantes, dado que se debe acomodar suavemente la capa impermeable y defenderla de la agresión mecánica que pueda provenir desde cualquiera de sus caras.

c) Base impermeable

Esta capa es la encargada de impedir que las soluciones lixiviantes filtren a estratos inferiores y está formada generalmente por una o dos láminas de polietileno de alta densidad.

d) Tuberías de drenaje

Tuberías corrugadas y perforadas, colocadas longitudinalmente, destinadas a permitir una rápida evacuación de la solución una vez que esta alcanza el fondo de la pila.

e) Ripio de protección

Constituye la última base de protección del revestimiento. Es una capa de material de apariencia diferente al mineral cargado. El objetivo de esta capa es repartir las presiones sobre la tubería de drenaje.

El mineral chancado, que contiene una fracción importante de material fino, es aglomerado en tambores con agua, refino o electrolito, y ácido sulfúrico, posterior a las etapas de chancado primario y secundario. Idealmente, el mineral aglomerado es apilado mediante un sistema conformado por *tripper*, rampas y correas portátiles y apilador radial telescópico. La construcción de la pila demora 7 días y posteriormente, se ocupa un día para realizar el curado.

El mineral curado es transportado y apilado en pilas de lixiviación mediante un sistema mecanizado.

En los ensayos en laboratorio deberá determinarse los siguientes parámetros en su etapa de lixiviación:

- Tamaño de partícula: 100% bajo ½”.
- Altura de la pila: 2 metros.
- Ciclo de lixiviación: 30 días.
- Tasa de riesgo: 16,4 L/(h·m²)
- Consumo de ácido: 8 Kg/ton.
- Extracción de cobre: 85% promedio.

4.1.3.2.Descripción del proceso de lixiviación en Planta San Lorenzo

4.1.3.2.1. Descripción General de Planta San Lorenzo

Compañía Minera San Gerónimo posee en su Planta San Lorenzo una faena de lixiviación ácida mediante el proceso de lixiviación en pila y concentración por el método de extracción por solventes orgánicos, cristalización y recristalización, para obtener un producto denominado sulfato de cobre pentahidratado de calidad alimenticia ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)

La Planta se ubica en el Sector de Lambert, Comuna de La Serena, Provincia de Elqui, Región de Coquimbo. Se accede desde la ciudad de La Serena por Las Compañías, camino hacia El Romero y luego 20 Km hacia el norte. Sus coordenadas UTM de ubicación referencial son: Norte 6.697.995 y Este 296.919. En la Figura 25, se presenta la ubicación de Planta San Lorenzo:

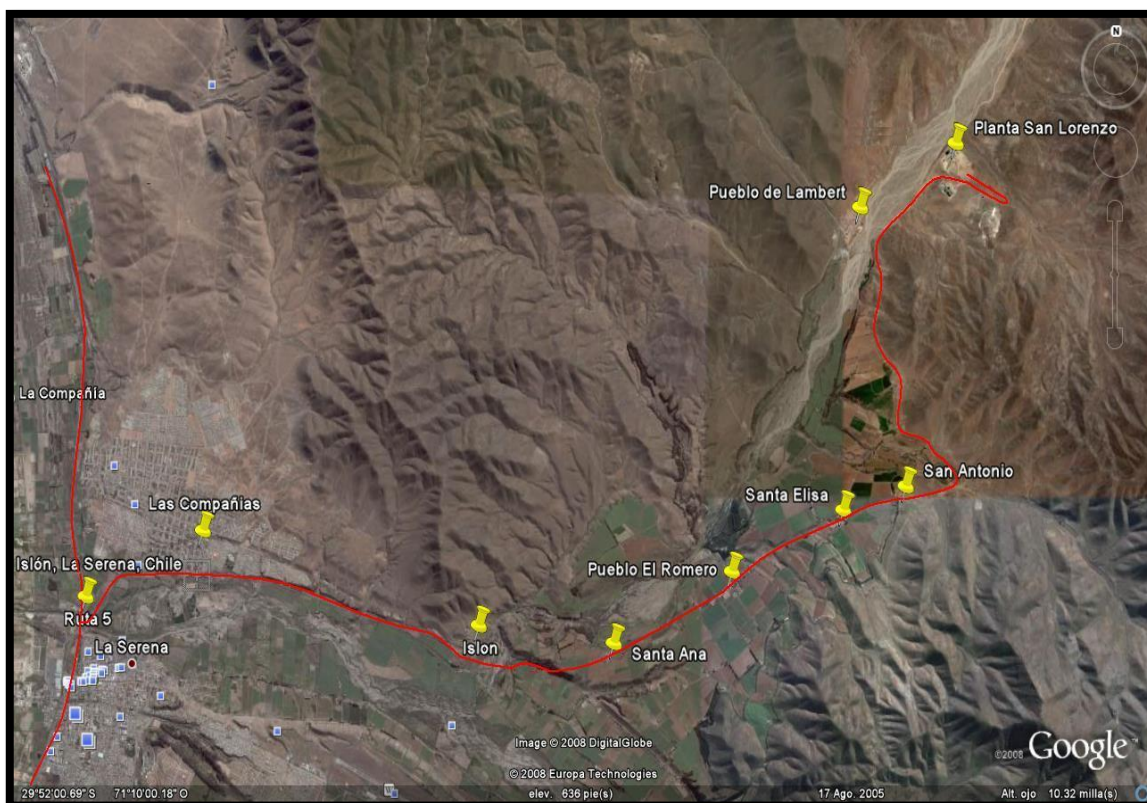


Figura 25: Localización Planta San Lorenzo. (Fuente: SEIA, 2016)

La ubicación de la planta se justifica debido a que desde su adquisición por parte de CMSG, el sector ya tenía faenas de planta minera preexistentes y funcionando, razón que motivó la transacción señalada, por tanto, el área ya se encontraba totalmente intervenida. Lo anterior, se regularizó a través del cambio de uso de suelo, desde agrícola a minero, según consta en el Certificado N°5 de cambio de uso de suelo a uso industrial minero, emitido por la Seremi de Agricultura de la Región de Coquimbo el año 2006.

Toda el área superficial bajo la cual se desarrolla la Planta San Lorenzo pertenece a CMSG, según consta en el título de dominio de CMSG sobre el Lote N°1 del predio Estancia Cajón El Romero, predio dentro del cual se ubican todas sus instalaciones.

En resumen, el entorno en el cual está inserta la Planta presenta las siguientes características que favorecen su operación, desde el punto de vista ambiental:

- No existen recursos hídricos superficiales.

- Los suelos son arcillosos y de baja permeabilidad.
- El área está extensamente intervenida desde hace mucho tiempo, debido a su *status* legal de suelo aprobado para uso industrial minero.
- Presenta una escasa biota remanente, la cual no es natural y carece de valor singular.
- Existen caminos de acceso en buen estado, regulados y controlados por las actividades propias del distrito: mineras, extracción de áridos, entre otras.
- Es un lugar no afecto a contingencias ambientales de significancia. Los únicos aspectos geográficos a considerar aquí son la ocupación de superficie por caminos y los botaderos de rípios de lixiviación, todo lo cual existe desde antiguo, correspondiendo a un área que ya históricamente, ha sido materia de intervención en una zona reconocida como de ocupación industrial minera.

El producto final que se produce actualmente, responde a las necesidades del mercado nacional e internacional, que requiere cubrir las necesidades de este tipo de productos como aditivo en dietas alimenticias de los animales. Complementariamente se iniciará la producción de sulfato de cobre de uso agrícola, que se producirá a partir del sulfato de cobre pentahidratado y que será el resultado de una refinación de este producto.

Los productos que elabora Planta San Lorenzo tienen origen mineral y se obtienen a partir de los procesos unitarios e instalaciones ya existentes, los cuales serán complementados con las nuevas operaciones que se llevarán a cabo en esta nueva etapa.

La descripción de los procesos unitarios parte en la explotación de minas propias o arrendadas, compra de minerales a terceros, explotación de desmontes y reprocesamiento de nuestro antiguo depósito de rípios.

Los minerales frescos o antiguos desmontes son almacenados en canchas de acopio y de allí transportados a la planta de chancado para reducir de tamaño. Obtenido el grano adecuado para su posterior lixiviación, se almacena en un stock pile y de allí se transporta mediante correa transportadora al proceso de curado ácido en tambor aglomerador.

Dicho producto se transporta mediante camión a las pilas de lixiviación en las que mediante riego por aspersión se logra disolver el cobre existente en la masa mineral y que posteriormente es captado en las canaletas colectoras de solución y de allí almacenados en piscinas

impermeabilizadas, construidas *ad hoc* para dicha necesidad. Todo el mineral, del cual se ha extraído la totalidad del cobre, es retirado de los módulos dinámicos y es trasladado a los depósitos de rípios (botaderos) construidos *ad hoc* para dicha necesidad.

La solución rica obtenida (solución PLS) se envía mediante una estación de bombeo, al proceso de extracción por solventes orgánico, cuya misión es extraer los contenidos de cobre presente en la solución y transferirlos al orgánico (mezcla de extractante y solvente). El orgánico propiamente tal tiene una doble misión: la primera dice relación a la capacidad de extraer el cobre presente en la solución, mientras que la segunda dice relación a la capacidad de extraer selectivamente el cobre separándolo de otros componentes indeseables presentes en la solución y que se han disueltos junto al cobre por acción del ácido.

El proceso de extracción por solvente (SX), genera dos productos: (A) una fase acuosa inicialmente cargada con cobre y cuyo resultado final se transforma en una fase descargada de cobre, denominada refino, la cual se recircula al proceso de lixiviación para recargarse de cobre y retornar al SX en un circuito cerrado sin producción de emisiones o riles; y (B) una fase denominada orgánico cargado que contiene todo el cobre extraído de la fase acuosa PLS y cuyo destino es el proceso siguiente denominado Cristalización (CX)

La separación de las fases orgánica y acuosa se obtiene por decantación y diferencial de la densidad de cada uno de los fluidos allí presentes. La fase orgánica tiene una densidad menor a 1 y la fase acuosa mayor a 1. Al quedar en reposo, la fase orgánica se separa al nivel superior del depósito que lo contiene y la fase acuosa al nivel inferior.

El orgánico cargado se bombea a la etapa de Cristalización en donde se contacta con un electrolito cargado y mediante la adición de ácido sulfúrico, se produce la reextracción de cobre desde el orgánico hacia el acuoso (electrolito saturado). Por saturación del electrolito, el cobre se precipita, obteniendo un sulfato de cobre de calidad minero.

El orgánico descargado, vuelve mediante bombeo al proceso de SX a contactarse nuevamente con la solución PLS de la lixiviación y en circuito cerrado retorna a la cristalización.

El Sulfato de cobre calidad minero, se bombea al proceso de Recristalización (RCX), donde por efecto de temperatura se redisuelve y por enfriamiento de la misma se produce un sulfato de cobre de mayor granulometría.

El producto obtenido se bombea a los filtros centrífugos, cuya misión es extraer el máximo de humedad a los sulfatos obtenidos en la Recristalización, para de allí ser traspasados mediante tornillos de alimentación al horno de secado en donde se logra el sulfato pentahidratado y se almacena en maxi sacos para su comercialización.

En la Figura 26 se aprecia un diagrama de los procesos unitarios de la Planta San Lorenzo.

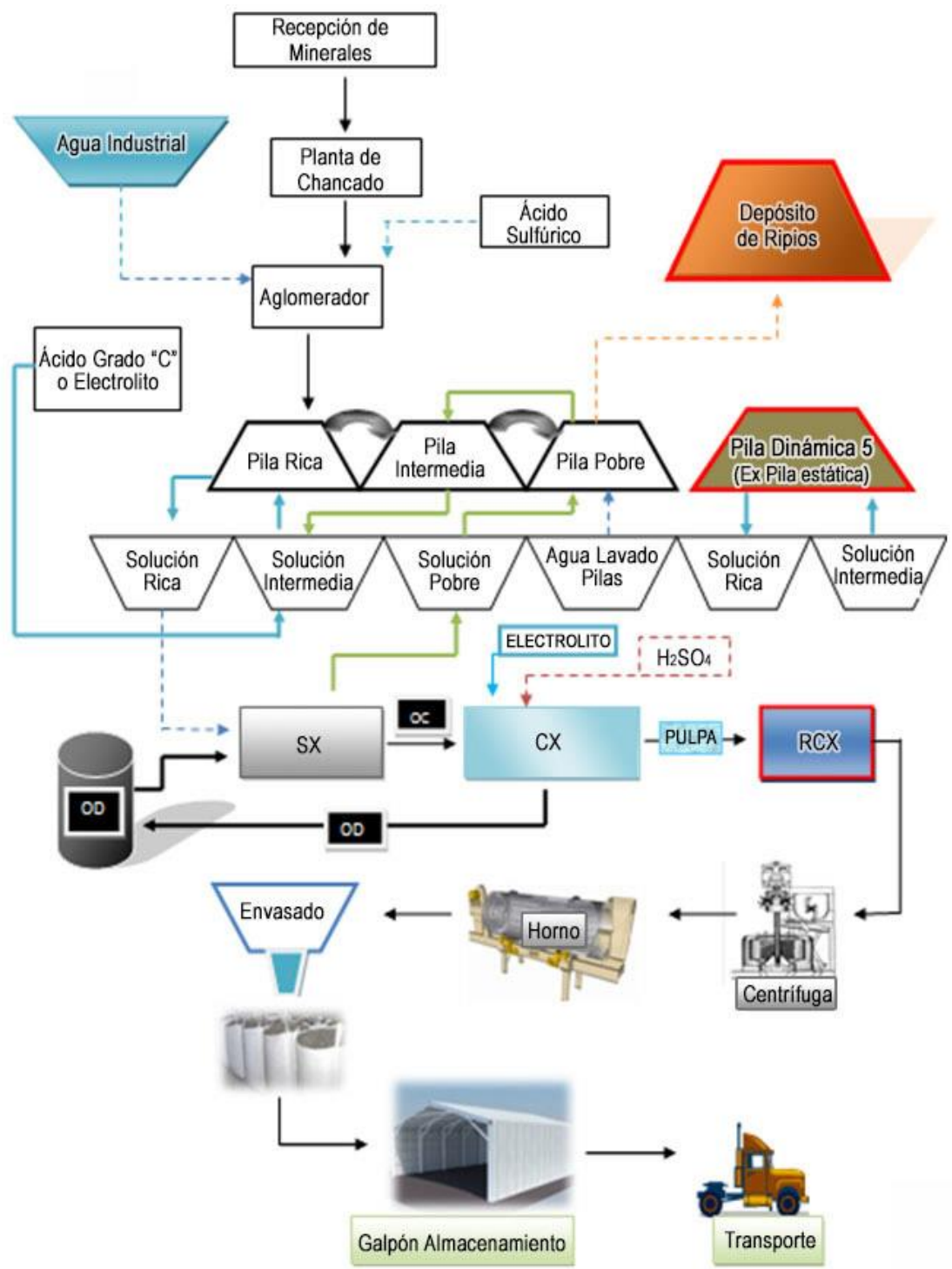


Figura 26: Diagrama de procesos Planta San Lorenzo. (Fuente: SEIA, 2016)

4.1.3.2.2. La Planta de Lixiviación en Pila de CMSG:

La Planta de Lixiviación en Pila de CMSG en el Distrito Minero de Lambert, posee dos áreas perfectamente definidas. La primera está compuesta por 6 pilas dinámicas de antigua data, representando lo que fuera autorizado en el proceso de evaluación ambiental del año 2009 y refrendado en la respectiva RCA. La segunda área involucrada corresponde a una pila estática que cambiará su naturaleza de operación, transformándose en una pila dinámica, pero manteniendo las dimensiones y estructura de la antigua presentación. En la Figura 27, se presenta la ubicación de pilas mencionadas.

La pila estática no sufre modificaciones desde el punto de vista constructivo o estructural. Significa que no se desarrollarán modificaciones en su dimensionamiento o diseño de ingeniería, manteniéndose la misma pila diseñada para un tratamiento estático. Lo que cambia es, desde el punto de vista operacional, la forma de ocuparla.

La pila estática corresponde al retratamiento de minerales ya lixiviados en la pila dinámica y que se vuelven a cargar en una nueva pila por altos períodos de tiempo, con el fin de extraer los contenidos residuales de cobre que no fueron recuperados en este proceso. Este mineral se deposita en la pila estática y se riega hasta agotar los contenidos existentes. Terminado ese proceso se deja reposar para estrujar las soluciones impregnadas de cobre y ácido y, se lava con agua industrial proveniente desde pozo de agua subterránea perteneciente a la Compañía, para luego depositar sobre ella una nueva masa mineral que cumplirá un nuevo ciclo de retratamiento. El dimensionamiento de la pila estática, consideró construirla en un área de 260 * 120 m con una altura de 20 m, luego del estudio de estabilidad estática y dinámica, que consideraba almacenar una masa mineral de 440.690 m³ equivalente a 661.035 toneladas, considerando un peso específico de 1,5 Ton/m³.

La Pila dinámica ocupará las instalaciones de la pila estática, sin considerar modificaciones al área involucrada, que alcanza los mismos 31.200 m². La gran diferencia corresponde a que no se llegará a cargar una masa mineral que llegue a contener 661.035 Ton o 440.690 m³ de mineral.



Figura 27: Ubicación Pilas de Lixiviación. (Fuente: SEIA, 2016)

La pila dinámica, al contrario de la pila estática, no deposita masas minerales en forma permanente, sino que se define un ciclo de tratamiento para luego extraer ese mineral agotado mediante cargador frontal y, mediante camión, llevarlo hasta un depósito de ripios definitivo. El área desocupada se carga nuevamente con otro mineral fresco, que vuelve a beneficiarse hasta agotarse, para continuar así el ciclo permanente de cargar y descargar la pila. Por ello se llama dinámica.

Este nuevo modelo de tratamiento considera cargar el área de pila de 260 * 120 m a una altura máxima de 2,8 m. Luego, el volumen de tratamiento total alcanza a los 84.000 m³, contra los 440.690 m³ de la pila estática.

Las pilas construidas y autorizadas en la anterior ambientalización tienen el carácter de estanco, vale decir, están construidas sobre un piso compactado e impermeabilizado con carpeta HDPE² de 1 mm de espesor, que no permite filtración de soluciones hacia el terreno natural.

² Polietileno de Alta Densidad

Tanto las pilas de antigua data, como la pila dinámica en regularización, utilizan un ciclo de tratamiento que se divide en las siguientes etapas:

- **Carguío de pila:** Dependiendo de su dimensión, las pilas se cargan a razón de 1.166 ton/día. El carguío se realiza mediante camión y se remonta con cargador frontal para alcanzar una altura de 2,8 m. El perfilamiento de la corona (lograr una superficie pareja) se realiza mediante una operación manual.
- **Instalación de Manifold de regadío:** Una vez cargada la pila con forma de pirámide truncada, se instala en su corona el manifold de regadío, que permite humedecer en forma aleatoria con solución acidificada, para disolver el cobre presente en la masa mineral. El flujo de regado drena a las capas inferiores, siendo contenido por la carpeta de HDPE instalada en el piso de la pila y canalizado por la pendiente de ésta hacia la canaleta colectora. El manifold está compuesto de una tubería de 1" de diámetro y aspersores mini wober N° 5. La malla de riego es de 5 m.
- **Tasa de riego:** La pila es regada con una solución acidificada en una razón de 5 L/m²/h, mediante una estación de bombeo. En consecuencia, si se considera un área de 260 * 120 m, el área a regar es de 31.200 m², lo que implica un caudal horario de 156 m³/h.
- **Ciclo de regadío:** El mineral beneficiado tiene un ciclo de regadío que varía entre 45 y 60 días, tiempo requerido para agotar los finos de cobre contenido. Durante ese tiempo se riega en forma ininterrumpida. Los primeros 30 días se riega con solución denominada ILS, con el objeto de obtener una solución resultante más rica en cobre denominada PLS. Los últimos 15 o 30 días se riega con una solución más pobre en cobre, denominada refino, obteniendo una solución de contenido intermedio, denominada ILS (Figura 28).

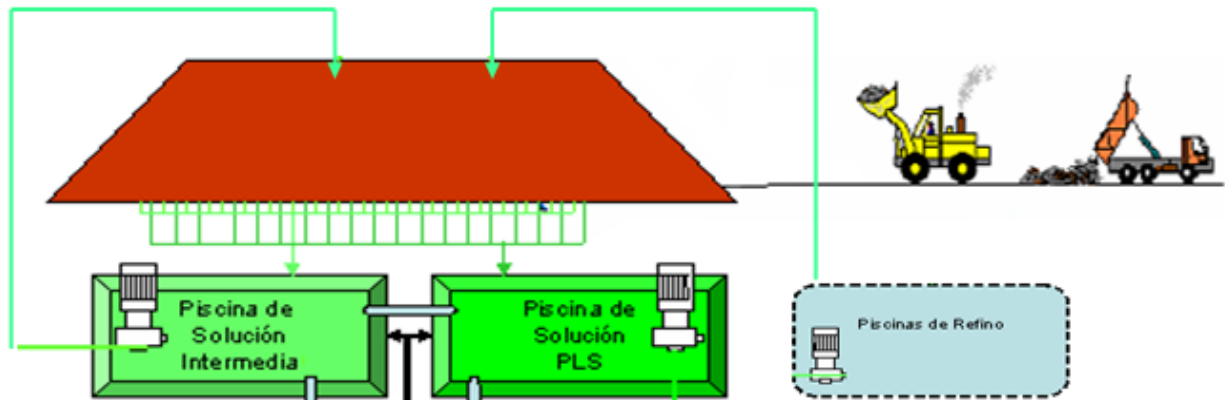


Figura 28: Ciclo de Regadío de pilas de lixiviación. (Fuente: SEIA, 2016)

- **Drenaje pilas:** Cumplido el ciclo de regadío, la pila se deja drenando en forma natural por espacio de 24 h. Durante ese tiempo, la pila evacúa las soluciones contenidas en la masa mineral, hasta quedar con una humedad cercana al 12%.
- **Lavado de pilas:** El mineral es sometido a un lavado con agua utilizando el mismo manifold de regadío de la pila. Se riega por espacio de 24 horas, tiempo suficiente para desimpregnar los contenidos minerales y ácidos de la masa mineral.
- **Estruje de pilas:** Posterior al lavado de pilas con agua, se somete a un proceso de estruje de las soluciones impregnantes, por espacio de 24 h, con el fin de extraer la máxima humedad de los minerales residuales. La humedad resultante en el mineral lixiviado y lavado, alcanza al 10%, condición adecuada para transportar al depósito de rípios.
- **Descarga pilas:** El mineral estrujado es descargado desde la pila, mediante cargador frontal, y transportado mediante camión al depósito de rípios (Figura 29). Posterior a esto, la pila se vuelve a cargar con un mineral fresco y se somete al proceso completo del ciclo descrito anteriormente.



Figura 29: Descarga de pilas de lixiviación. (Fuente: SEIA, 2016)

En la Tabla XI se presenta una descripción de las instalaciones actuales asociadas al área de lixiviación:

Tabla XI: Descripción instalaciones Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación	Cantidad
Piscinas de Operaciones	<ul style="list-style-type: none"> • 11 piscinas de soluciones pobres, intermedias y ricas (Refino, ILS y PLS), de las cuales 4 son para emergencias. • 2 piscinas de electrolito, de las que 1 es para emergencias. • 1 piscina de emergencia. • 2 piscinas de ácido sulfúrico grado C³. • 3 piscinas de agua industrial.
Pilas de Lixiviación	<ul style="list-style-type: none"> • 7 pilas dinámicas (incluye la ex estática). • 1 pila piloto para pruebas metalúrgicas.
Botaderos de Ripios	<ul style="list-style-type: none"> • 2 (1 de ellos es el de antigua data).

³ El ácido sulfúrico grado C es una solución rica en cobre y ácido obtenida por CMSG de los procesos productivos de Codelco Ventanas

4.1.3.2.2.1.Filtración de solución PLS:

La lixiviación en pilas arrastra, en forma natural, sólidos en las soluciones drenadas desde las pilas. Además, las soluciones producidas se contactan con orgánicos en la etapa de Extracción por Solventes, formando una borra, conformada por una fase acuosa, aire, orgánico y sólidos, que termina interfiriendo con el proceso de extracción por solventes. Como remedio, se debe filtrar las soluciones y evitar que los sólidos ingresen al proceso de extracción por solvente, para evitar la conformación de borras.

En este caso en particular, las soluciones producidas en las pilas con mayor cantidad de cobre fino (pilas nuevas), son canalizadas hasta una piscina de almacenamiento, desde donde se impulsan por estación de bombeo a un circuito de filtración en serie. Dichas instalaciones corresponden a un sistema de filtración profunda, conformado por cinco equipos de las siguientes características:

- Estructura y cuerpo de acero ASTM A36 de 6 mm de espesor bajo norma ASME VIII, revestido interiormente con RFV de 4 mm (triple capa multidireccional).
- El material filtrante es arena cuarcífera de distinta granulometría, condicionada para retener sólidos de hasta un tamaño de 5 micras, correspondiente en un 99% a dióxido de silicio, que no sufre alteraciones al entrar en contacto con el fluido ácido de las soluciones.
- La velocidad de filtración es de 12 m³/h, con un caudal de filtrado de hasta 1.400 L/min.
- El piping de conexión es de HDPE PN 10, en formato de piezas especiales en electro fusión y termo fusión.
- Los filtros poseen un sistema electro neumático de retro-lavado automático, comandado por un PC. El sistema posee 20 válvulas con actuador neumático, apoyadas por 10 manómetros de glicerina de 2" en acero inoxidable, más un compresor que apoya el trabajo de los actuadores.
- El sistema de retro-lavado cuenta con una bomba centrífuga para 7 m³/h y 3 bar, unido a un estanque de 10 m³ de capacidad para almacenar agua.

En la Figura 30 se puede observar el diagrama de flujo de la estación de filtrado.



Figura 30: Diagrama de Flujo estación de filtrado. (Fuente: SEIA, 2016)

La ubicación de la estación de filtrado se definió en función de la distancia y disponibilidad de las piscinas existentes en la planta, de manera que sirvan para almacenar los flujos de alimentación y descarga de los filtros. En la Figura 31 se visualiza la ubicación de la estación de filtrado.

- **Losa Soportante de la estación de filtrado**

La estación de filtrado se ha construido sobre una losa de hormigón estanco, cuya dimensión permite contener la totalidad de los volúmenes que se pudiesen eventualmente derramar desde los filtros. Con un área de 15 * 6 m y un pretil de 0.20 m (Figura 32), la losa puede contener un volumen de 18 m³. El volumen total de los cinco filtros es de 13,5 m³ y, además, sólo 2/3 de c/u está ocupado por las arenas filtrantes. Así, se asegura que no se producirán derrames que no se pueda contener.

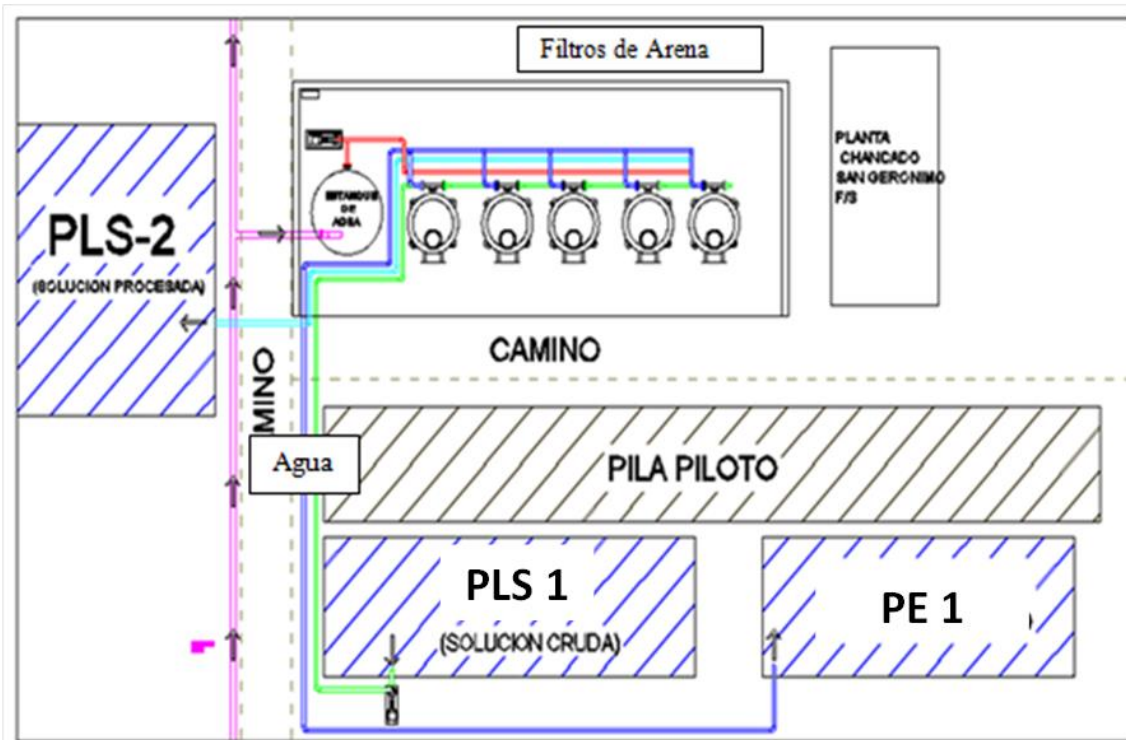


Figura 31: Ubicación estación de filtrado. (Fuente: SEIA, 2016)

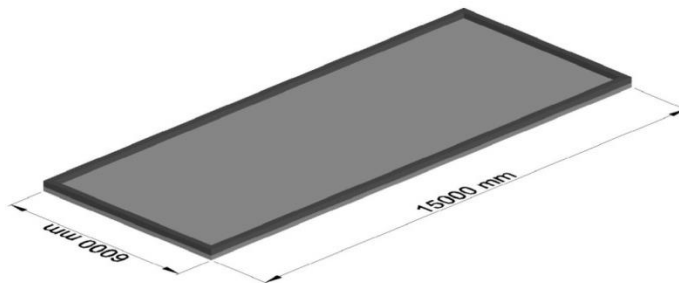


Figura 32: Diagrama de la Losa Soportante de la Estación de Filtrado. (Fuente: SEIA, 2016)

De acuerdo al documento de información entregada por el proveedor de los filtros, se ha estimado que el peso del equipo es de, aproximadamente, 3 ton, lo que considera el peso de 2 equipos con su respectiva estructura, piping y válvulas neumáticas. Es decir, cada equipo pesa aproximadamente 1,5 ton, con un volumen de $2,7 \text{ m}^3$. Considerando además que el equipo se llena

con arena a 2/3 de su capacidad (Figura 33), con una densidad promedio de 1,8 ton/m³ y el resto con PLS a una densidad de 1,2 ton/m³, el peso total de cada equipo es de 5,82 ton, el cual se distribuye en sus cuatro pilares de apoyo.

A continuación, se entrega los antecedentes técnicos de la losa:

- Peso Máximo por Pilar (pata): 1,455 Ton.
- Espaciamiento Longitudinal (X): 1,15 m
- Espaciamiento Transversal (Y): 1,0 m
- Área de Contacto: 490 cm²
- Módulo de Reacción Sub-rasante: 50 psi.
- Resistencia Flexión Concreto: 44 Kg/cm² (640 psi).

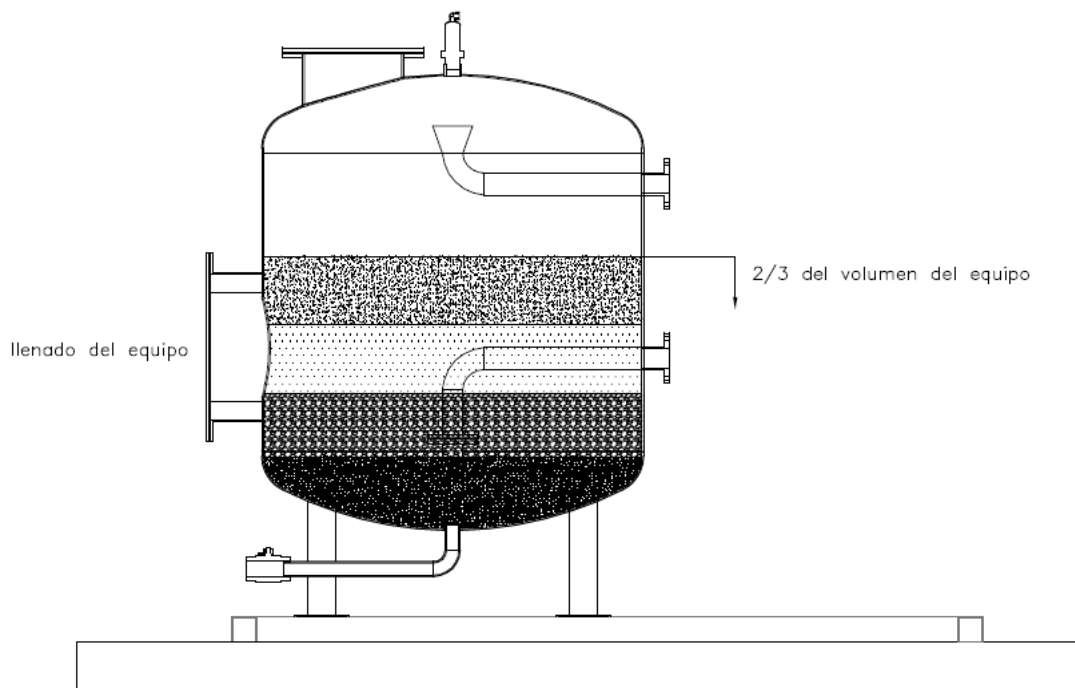


Figura 33: Diagrama de la Estructura del Filtro de Arena. (Fuente: SEIA, 2016)

4.1.3.2.2. Adición de Ácido Sulfúrico grado c y Electrolito al proceso de Lixiviación:

El “Ácido Sulfúrico Grado C” o también denominado “Ácido Débil”, se clasifica como *producto de uso frecuente en los procesos de lixiviación de cobre*, en base a la Circular N° B32/50, del 26 de diciembre del 2012, emitida por la Subsecretaría de Salud Pública

El ácido débil es utilizado en Planta San Lorenzo como un complemento de la actividad química del ácido sulfúrico en los procesos de acidulación de las pilas de lixiviación y aglomerado, con el fin de extraer el cobre presente en ellas. Esto se logra, si es necesario, mezclando este insumo con las soluciones de Refino e ILS, de acuerdo a los parámetros metalúrgicos previamente establecidos por la operación de la planta. Esta mezcla se realiza en las piscinas ya existentes en el sector, las cuales se encuentran debidamente impermeabilizadas con carpeta de HDPE, lo que impide cualquier tipo de filtración al terreno natural y que asegura mantener su propiedad estanco.

Junto con lo anteriormente mencionado, la Planta San Lorenzo actualmente se encuentra autorizada para disponer y utilizar el Electrolito de Refinería (también utilizado como complemento de la actividad química del ácido sulfúrico) según consta en la Resolución N°5671 del 18 de octubre del 2007. Para poder recibir este insumo la Planta cuenta con un sistema de 3 piscinas impermeabilizadas con doble carpeta de HDPE con una capacidad instalada total de almacenamiento que alcanza las 1000 Ton, de acuerdo a la siguiente descripción:

- 1 piscina de Recepción con capacidad para 750 Ton.
- 1 piscina para manejo operacional de 100 Ton.
- 1 piscina extra de 150 Ton.

4.1.3.2.3. Equipo de recuperación de orgánico:

Debido al arrastre normal de fracciones de insumos orgánicos provenientes del proceso de extracción por solventes en las soluciones de refino, que vuelven al proceso de lixiviación por el proceso estanco de recirculación, fue necesario instalar un equipo de recuperación de orgánico, basado en una cinta oleofílica que por adherencia recupera el orgánico flotante que se encuentre en las soluciones. De forma general, el equipo está conformado por:

- Un Equipo Roccol que contiene rodillos que permiten estrujar la cinta que contiene el orgánico y así recuperarlo, así como también darle movilidad,
- Una cinta oleofílica que permite, por adherencia, atrapar las fracciones de orgánico que estén presentes en la solución,
- Poleas de retorno flotante que permiten que la cinta oleofílica se movilice a través de la piscina,
- Estanque Colector que permite acumular las fracciones de orgánico recuperadas.

La Figura 34 presenta un esquema general del equipo

Finalmente, una vez acumulada la cantidad suficiente de orgánico en el estanque colector, éste se trasvasija a bins de 1 m³, los cuales son enviados nuevamente al proceso de extracción por solventes.

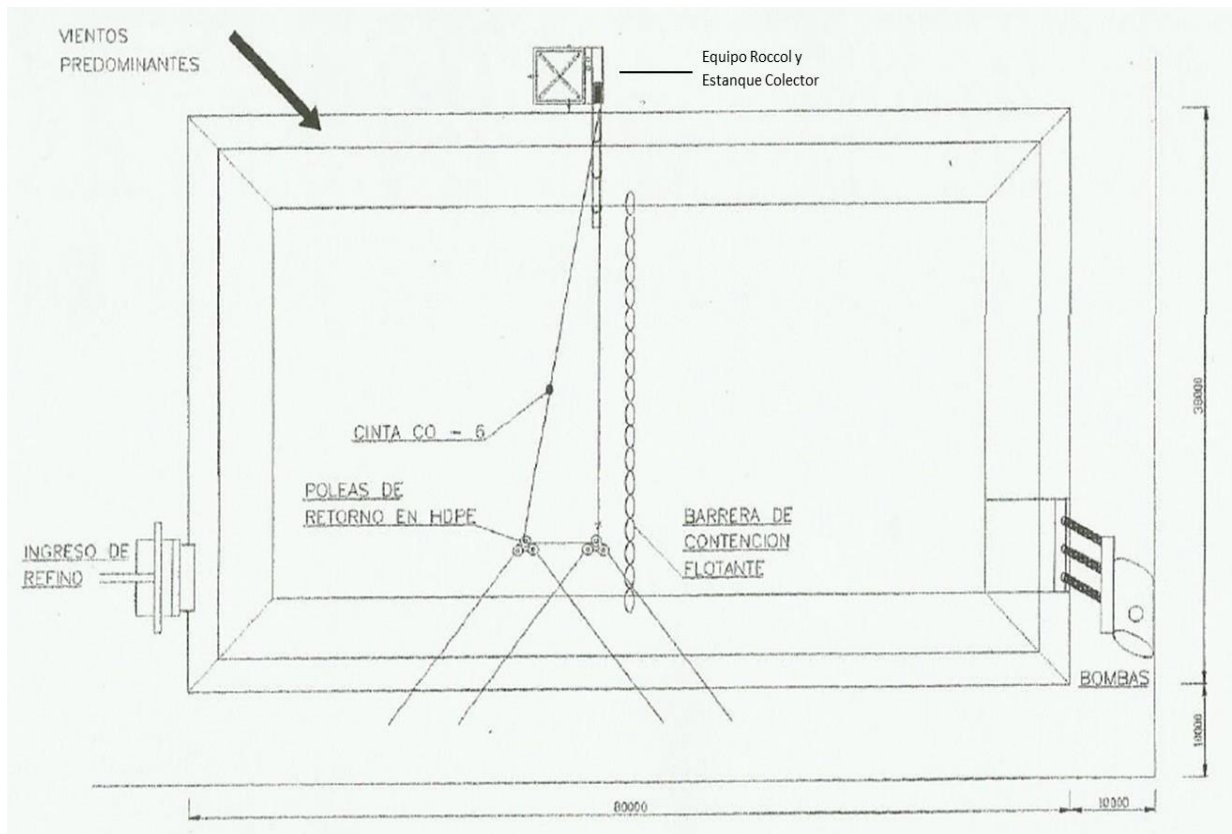


Figura 34: Planta del equipo recuperador de orgánico. (Fuente: SEIA, 2016)

4.1.3.2.2.4. Depósito de Rípios N° 1:

La Planta San Lorenzo cuenta con un Depósito de Rípios que ha almacenado rípios de larga data (Botadero de Rípios N°1), incluso anteriores al año 2009, razón por la que ha constituido un pasivo que se ha acumulado durante mucho tiempo. En la RCA asociada a la Planta san Lorenzo se estableció que se “reubicarían” los rípios del depósito, ya que su material conformante sería reprocesado en la entonces pila estática y ahí quedaría dispuesto. Esta condición se mantendrá en el sentido de que estos rípios seguirán siendo reprocesados, pero esta vez en pilas dinámicas. Los rípios residuales que quedan en la instalación, se irán re-tratando de acuerdo a las necesidades de la matriz minera de la Planta y posteriormente, serán depositados en los botaderos de rípios que estén disponibles en la Faena.

4.1.3.2.2.5. Depósito de Rípios N° 2:

Las pilas agotadas en su procesamiento son drenadas por 24 horas y luego lavadas con agua mediante aspersores por 24 horas más, para desimpregnar los contenidos de minerales y ácido residual. El tiempo de lavado con agua limpia garantiza la des-impregnación total de dichos contenidos, permitiendo que los residuos minerales no representen un peligro de contaminación una vez apilados en el depósito de rípios. Finalmente, antes de descargar las pilas se las deja drenar un tiempo adicional de 24 horas, para reducir el contenido de líquidos de la masa mineral. Cada sección de pila agotada se descarga mediante cargador frontal o retro-excavador y posteriormente, camiones transportan estos desechos hacia el depósito impermeabilizado. Los rípios finales tienen una humedad media entre 10 y 12%.

A medida que se efectúa la operación de llenado del depósito, los rípios se compactan por el paso de los camiones que son parte del carguío y por el peso propio del material que se va depositando en diferentes niveles en forma de pirámide truncada maya. Lo anterior provoca que los líquidos remanentes emerjan, siendo canalizados mediante la base impermeabilizada hacia las canaletas decantadoras y por rebalse de éstas, hacia las canaletas recolectoras conformadas por media tubería corrugada de 800 mm y 600 mm respectivamente. Ésta última converge a una pequeña piscina central recubierta por geo-textil de 200 gr/m² y geomembrana de 1 mm de espesor,

la cual en su interior contiene dos cajones recolectores fabricados en plancha de HDPE de 20 mm de espesor (Figura 35) para prevenir asentamiento de dichos cajones se preparó una losa de hormigón de 5 x 3 x 0,1 m.

Los cajones cuentan cada uno con una descarga gravitacional mediante tubería de HDPE de 160 mm de diámetro que dirige las soluciones a las piscinas de traspaso. Estas piscinas poseen un sistema de bombas para reincorporar las soluciones al sistema. En caso de precipitaciones que provoquen el rebalse de los cajones, la piscina central del depósito cuenta con dos tuberías de 200 mm que salen desde el fondo de ésta y conducen las soluciones en forma gravitacional a la Piscina de Emergencia N°6, ubicada aguas abajo del Depósito de Ripios, la que forma parte del sistema de piscinas de emergencias. Esta piscina tiene una capacidad de 17.346 m³.

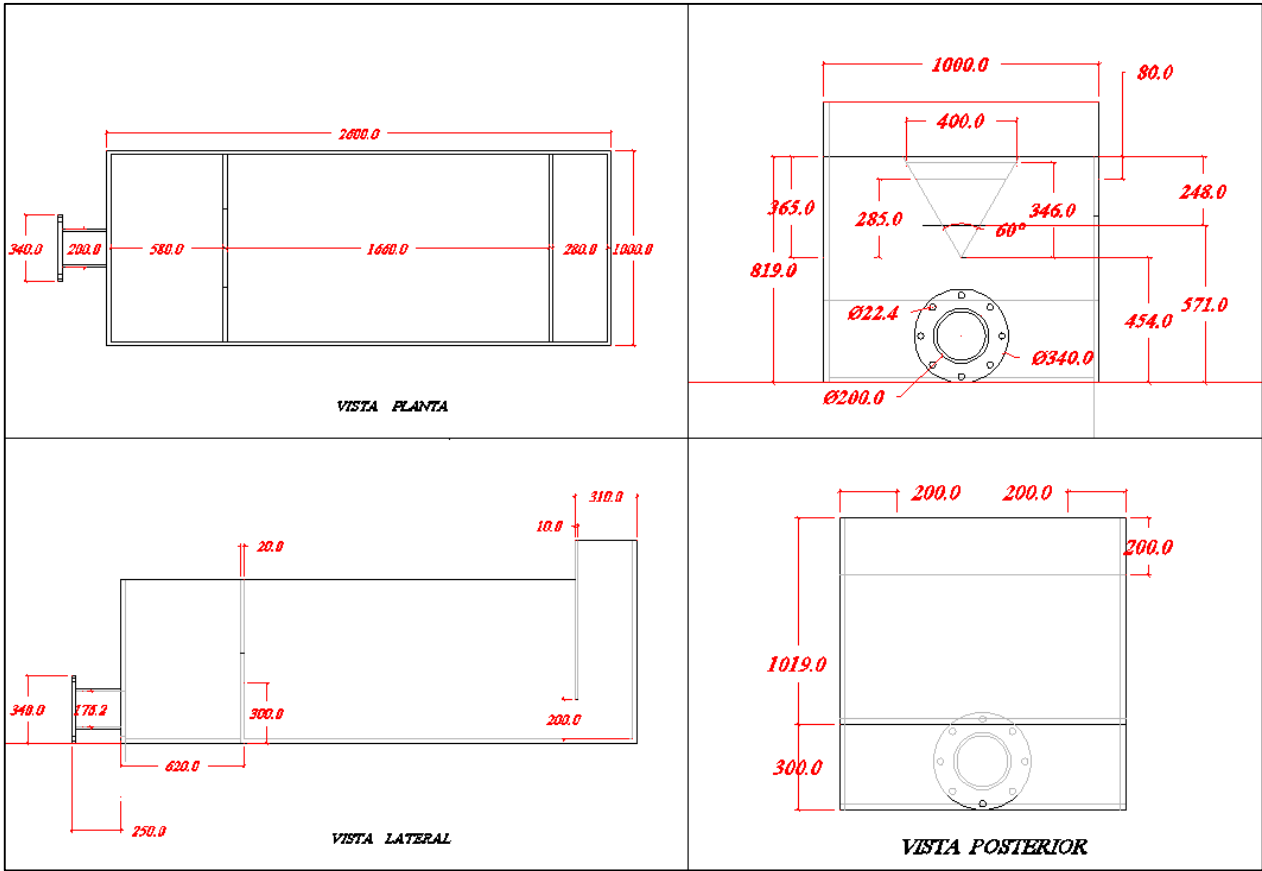


Figura 35: Cajón Recolector HDPE. (Fuente: SEIA, 2016)

Las piscinas de traspaso cuentan con una línea de rebalse de 160 mm de diámetro, la cual empalma con la línea de emergencia de diámetro 200 mm proveniente del Depósito de Ripios hacia la piscina de emergencia N°6, evitando así cualquier posibilidad de rebalse de éstas en caso de precipitaciones o problemas con la bomba de impulsión.

Tanto la piscina de emergencia, así como las líneas de conducción y los sistemas de recolección de soluciones fueron diseñados considerando la Precipitación Máxima Probable (PMP⁴).

- **Características:**

El depósito tendrá una capacidad de diseño, en su máxima cota de construcción, de 842.559 m³ en un área efectiva de depósito de 62.708 m², según las dimensiones indicadas en la Figura 35, y los perfiles de taludes señalados en la Figura 36. A razón de 20.000 Ton/mes, se calcula un período de operación de 5,3 años, constituyendo un depósito con las siguientes características geométricas:

- Altura Máxima: 36m
- Angulo Global: 25°
- Angulo Parcial por Banco: 30°
- Ancho de Berma: 2m

Toda el área del depósito, incluyendo su muro perimetral en contacto con la solución, está recubierta con una carpeta de HDPE de 1 mm de espesor. Además, las zonas de acumulación de solución como las canaletas y la piscina central contienen una capa de geo-textil de 200 gr/m², dispuesta bajo la lámina de HDPE de 1 mm.

⁴ Precipitación Máxima Probable

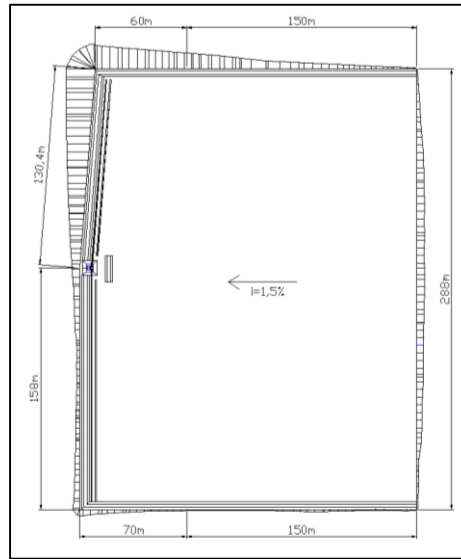


Figura 36: Dimensiones Generales Botadero de Ripios N°2. (Fuente: SEIA, 2016)

- **Secuencia de llenado:**

La operación de llenado del depósito de ripios es efectuada con camiones que transportan el material, para disponerlo en forma estable. Como antes se mencionó, los ripios una vez procesados quedan con una humedad entre el 10 y el 12%, lo que permite una mejor compactación.

La secuencia de llenado se inicia cubriendo toda el área del depósito, la que se va compactando con el tráfico de los mismos camiones mientras la excavadora es la encargada de esparcir los ripios para mantener las características geométricas establecidas en el proyecto (Figura 37), teniendo en cuenta lo que especifica al respecto el Artículo N° 342 del Reglamento de Seguridad Minera:

- Control permanente de taludes y estabilidad de los bordes de vaciado del depósito.
- Construcción de berma de seguridad en los bordes, la que debe tener una altura mínima de $\frac{1}{2}$ rueda del camión que descargue en el depósito.
- Pendiente positiva en dirección a los bordes, de mínimo 1%.
- Señalización e iluminación efectiva del sector, señalero debe usar chaleco reflectante y estar instruido sobre la operación de descarga del camión.

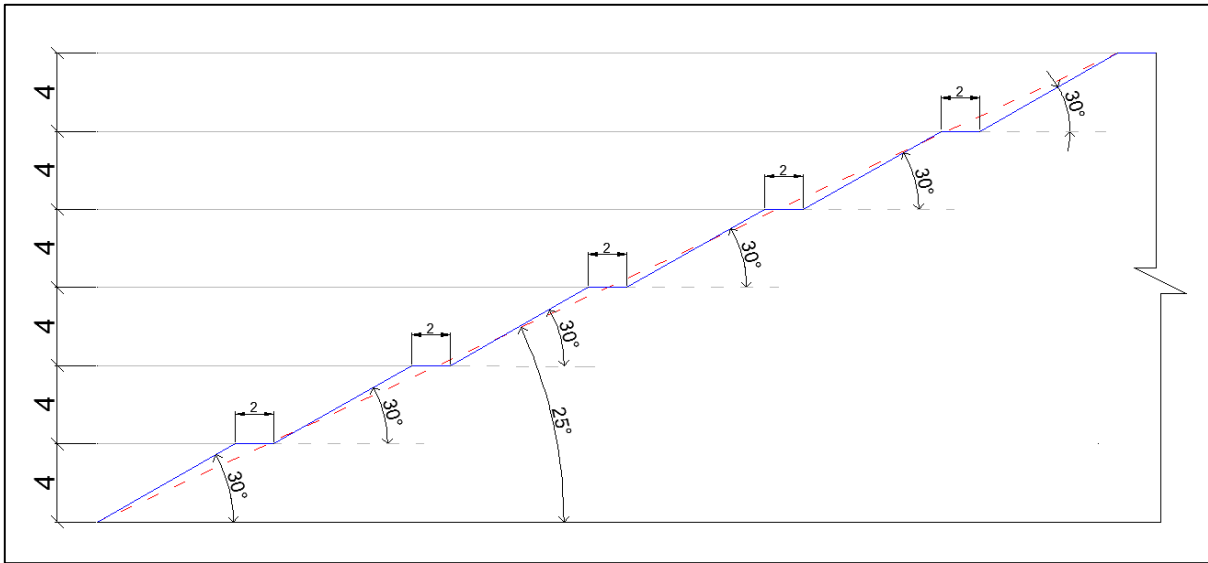


Figura 37: Perfil taludes Botadero de Ripios N°2. (Fuente: SEIA, 2016)

Como se mencionó anteriormente, en la parte frontal de la cota más baja del depósito se consideró un sistema de canaletas recolectoras de aguas lluvias y/o soluciones drenantes provenientes de la compactación de los ripios, las que son enviadas gravitacionalmente a través de tuberías de HDPE a las piscinas de traspaso, las cuales posteriormente, mediante el uso de bombas centrifugas, son reincorporadas al sistema. En los otros 3 costados del depósito, el límite de llenado corresponde al pie interior del talud del muro perimetral, lo que significa que dicho muro permanecerá hasta el final de la vida útil del depósito. En la medida que el depósito progrese en altura, en uno de sus bordes se construirá un camino de 6 m de ancho con pretilas de seguridad y pendiente máxima de 10%, con plataforma de descanso en todos sus niveles.

- **Construcción del área del depósito y muro perimetral**

Toda el área efectiva del depósito de ripios consideró un movimiento de tierra, el cual se calculó de tal forma que el material obtenido del corte fue utilizado para el relleno del mismo. El corte se realizó mediante excavadora y el material fue trasladado mediante camiones, depositándolo en las áreas de relleno para posteriormente emparejarlo con buldócer o cargador frontal. Todo el material sobrante se utilizó en la construcción del muro perimetral, más materiales del sector.

Para lograr una pendiente uniforme en dirección este-oeste de 1,5% en toda la superficie del depósito de ripios, se empleó motoniveladora. Ya nivelada toda la superficie, se aplicó una capa de 10 cm de material fino (maicillo) distribuido mediante cargador y camiones, para proceder luego a realizar un rastrillado manual extrayendo toda piedra existente, tras lo cual se compactó mediante rodillo de 10 ton o superior, previa humectación con camión aljibe.

Los muros perimetrales tienen una longitud total de 1006 metros lineales. El muro frontal tiene un talud para ambos lados de 26 grados sexagesimales, un coronamiento de 2 m de ancho y una altura vertical de 1,5 m. El resto de los muros tiene un talud de 42 grados, un coronamiento de 1,5 m de ancho y una altura vertical de 1,5 m.

La geomembrana de HDPE de 1 mm de espesor que cubre la totalidad de la superficie en contacto con los ripios, fue unida mediante termo-fusión por personal especializado en este tipo de trabajos. Los anclajes se realizaron sobre los pretiles, dándole al depósito en su parte basal un aspecto de un gran estanque debidamente impermeabilizado.

- **Parámetros de construcción:**

Los parámetros usados para los cálculos del depósito corresponden a:

- Toneladas mes ripios: 20.000 Ton/mes
- Días de Trabajo Anual: 365 días
- Densidad in Situ: 1.5 ton/m³
- Área inicial Depósito: 62.708 m²
- Capacidad Depósito: 842.955,2m³
- Pendiente Depósito: 1,5%

La Figura 38 muestra los distintos niveles que tendrá el depósito N°2 en base a su diseño de ingeniería.

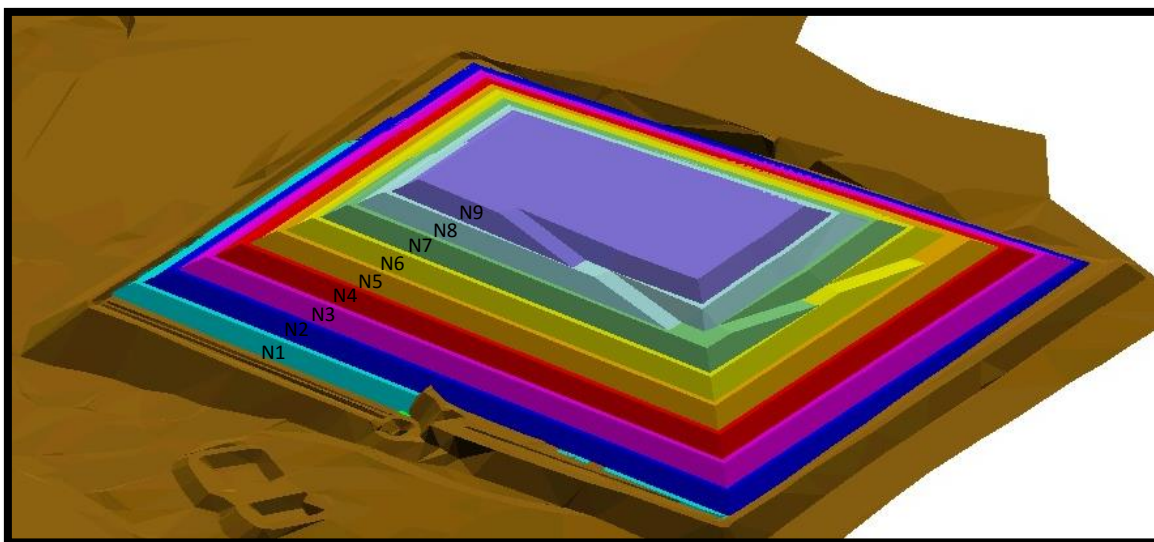


Figura 38: Niveles del Botadero de Ripios N°2 en 3D. (Fuente: SEIA, 2016)

- **Cálculo de estabilidad:**

En los análisis de estabilidad, tanto de operación, como de cierre del depósito N°2, donde se concluye que, para las condiciones actuales de operación, la instalación es estable, considerando el peligro sísmico existente en la zona.

- **Desvío aguas lluvias:**

Aguas arriba del depósito se preparó una canaleta con el fin de evitar que el agua proveniente de la escorrentía superficial generada por las aguas lluvias ingrese al depósito.

El agua captada por el depósito gracias a su fondo inclinado e impermeabilizado y las canaletas de contorno que se forman entre los pretiles y el depósito enviarán las soluciones hacia las canaletas recolectoras y posteriormente a la piscina de emergencia N°6 con una capacidad total de 17.346 m³ que es parte del sistema de piscinas de emergencia.

Como se indicó anteriormente, tanto la canaleta, como la piscina de emergencia asociada al depósito N°2 fueron diseñadas considerando la PMP.

4.2. Establecer las variables operacionales críticas desde el punto de vista ambiental y de seguridad.

Las variables operacionales críticas se definieron en base a matrices de evaluación de riesgos laborales y evaluación de aspectos e impactos ambientales con las cuales CMSG trabaja habitualmente.

4.2.1. Seguridad

La lixiviación, desde el punto de vista de la seguridad laboral representa una actividad riesgosa y así queda demostrado en la matriz de evaluación de riesgos laborales (**ANEXO 4**).

En la Figura 39, se puede visualizar que el 91% de los riesgos asociados al área de lixiviación son categorizados con algún nivel de criticidad, de los cuales un 58% es crítico, un 24% es moderadamente crítico, y 9% es altamente crítico.

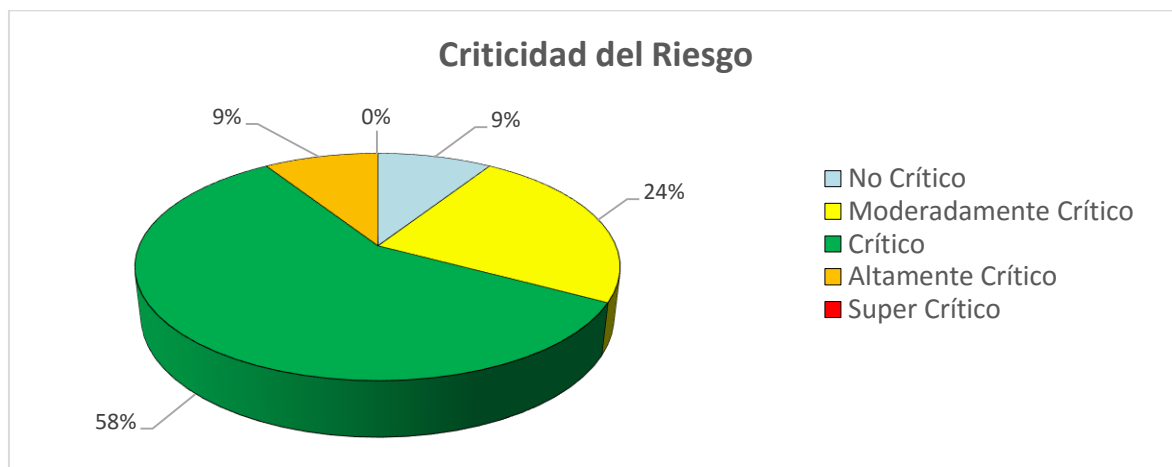


Figura 39: Análisis criticidad de riesgos laborales asociados a Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

Para los riesgos altamente críticos, la mayoría corresponde a contacto con sustancias químicas, específicamente soluciones ácidas, por lo que esta variable se vuelve importante desde el punto de vista de la gestión de riesgos que se pretende realizar

Además de lo anterior, otros riesgos presentes entre los más críticos son: exposición a radiación UV, exposición a calor y caída a diferente nivel. Lo anterior se explica, ya que el proceso de lixiviación se realiza al aire libre y abarca grandes distancias, por lo que existe una exposición al sol relativamente alta. Por otro lado, se trabaja con piscinas que generalmente presenta profundidades cercanas a los dos metros, así como pilas de lixiviación que tienen 2 metros de altura, por lo que las variables profundidad y altura tendrán un rol importante en la herramienta que se pretende implementar

4.2.2. Medio Ambiente

En términos ambientales la Planta San Lorenzo se encuentra controlada y así lo demuestran los resultados obtenidos de la matriz de identificación y evaluación de aspectos ambientales. (ANEXO 5).

En las Figuras 40 y 41, se puede visualizar que el 66% de los aspectos evaluados presenta un impacto moderado, un 24% impacto leve y un 10% impacto alto. En términos de significancia ambiental, un 90% es no significativo, mientras que un 10% es significativo.

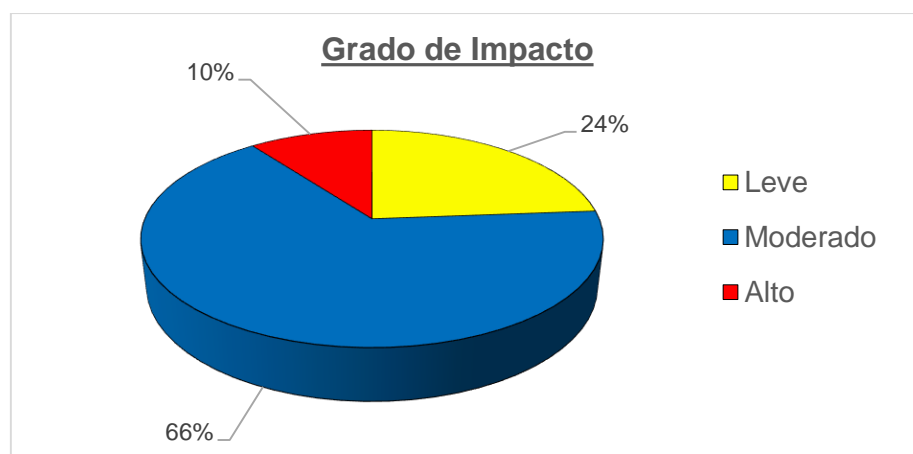


Figura 40: Grado de Impacto Aspectos Ambientales Planta San Lorenzo. (Fuente: Elaboración Propia)

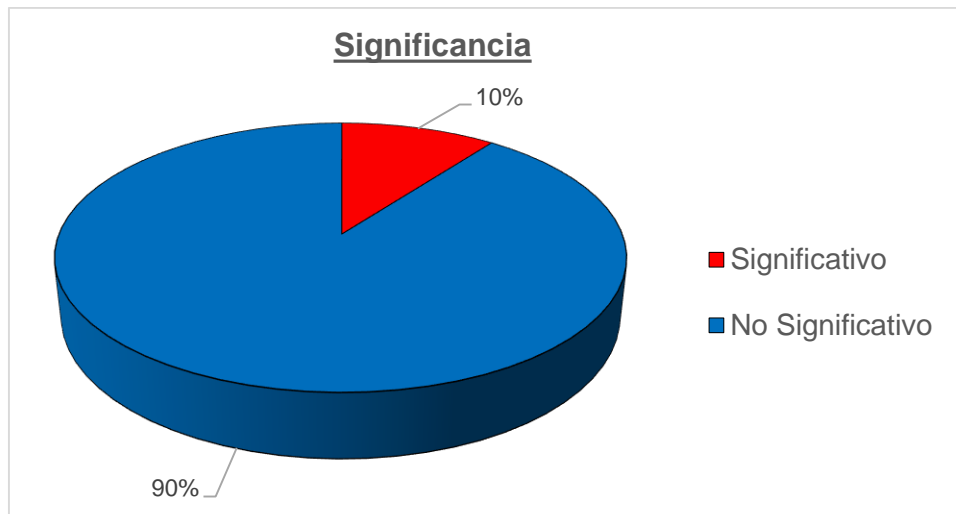


Figura 41: Significancia de los Aspectos Ambientales de Planta San Lorenzo. (Fuente: Elaboración Propia)

Lo anteriormente expuesto se debe principalmente a que CMSG en su Planta San Lorenzo controla constantemente sus aspectos ambientales a través de las siguientes medidas, muchas de ellas parte de sus compromisos ambientales adquiridos en el proceso de evaluación ambiental:

- Humectación permanente de caminos no pavimentados y sistemas de nebulización en sectores donde existe generación de material particulado, como por ejemplo la Planta de Chancado.
- Monitoreo constante de los niveles de emisión de ruido en sectores cercanos a Planta San Lorenzo.
- Impermeabilización de todos los sectores donde se almacenan y se trabajan con soluciones ácidas (aplicable a piscinas de almacenamiento de soluciones, pilas de lixiviación y botadero de ripios). Lo anterior le da el status de “estanco” mencionado en capítulos anteriores.
- Monitoreo constante de la calidad del agua de las napas subterránea tantas aguas arriba, como aguas abajo des sector de influencia de la Planta.

- Manejo de sustancias y residuos peligrosos acorde a la normativa vigente y almacenamiento en sectores adecuados y que cumplan con todos los estándares necesarios, tanto de seguridad, como ambientales.

Además de los controles antedichos, es importante mencionar que aledaño por el Oeste al área de influencia de la Planta San Lorenzo, existe el acuífero de la Quebrada Santa Gracia, subalimentado por la Quebrada San Antonio. Aun cuando la Planta San Lorenzo es estanco y está ingenierilmente diseñada para no producir RILES, se debe considerar la potencialidad de un eventual acceso de iones hacia el acuífero mencionado. Por tal razón, todas las superficies de las facilidades del proceso de lixiviación de la Planta San Lorenzo (piscinas de insumos y soluciones de proceso, líneas de conducción de ácido y de soluciones, pisos de pilas de lixiviación, pisos de botaderos de ripios), han sido impermeabilizadas con HDPE.

Para comprobar la eficiencia de dicha impermeabilización CMSG ha conducido, como se mencionó anteriormente, a través de Empresas certificadas para ello, muestreos semestrales de la calidad del agua del acuífero vecino, tanto frente a la Planta San Lorenzo como frente al poblado de Lambert. Los resultados muestran que las concentraciones se mantienen consistentemente bajo norma para todos los parámetros, en ambas localidades. No se han detectado tendencias temporales al alza en ninguno de los casos, sino la estocasticidad normal para procesos naturales, como es esperable.

Un seguro adicional a la situación reseñada, es la composición geomorfológica del sitio de emplazamiento de la Planta. Ésta se ubica sobre una meseta constituida por una morrena glacial lateral plio- pleistocénica, producida por el glaciar que, en aquellos tiempos, dominaba la morfología de la Quebrada Santa Gracia. Esto determinó, como sucede en todos los casos de glaciación, que los sedimentos morrénicos producidos por el glaciar (frontales, laterales e inferiores), conformen una masa conglomerádica inserta en una matriz arcillosa generada por la presión glacial que tritura las rocas, las que en este caso corresponden a ígneas intrusivas como granitos, dioritas y granodioritas del batolito costero chileno (Cordillera de la Costa), cuya constitución mineralógica corresponde mayoritariamente a feldespatos (micas), los que, triturados por la acción glacial, originan sedimentos arcillosos.

Lo anterior es importante, porque las arcillas son los impermeabilizantes naturales de los suelos y, además, son intercambiadores iónicos que extraen iones desde fuentes exógenas y los adsorben electroquímicamente a sus lamelas constitutivas. Dicha situación es un seguro ambiental natural que se suma a todas las medidas anti-contaminación de CMSG, por eventuales vertidos o derrames de soluciones que pudieren originarse en la planta, hacia el acuífero de Santa Gracia.

Sin perjuicio de lo anterior, es importante analizar el comportamiento de los aspectos evaluados en el área de lixiviación, ya que será el sector específico donde se aplicará la herramienta. Como se mencionó anteriormente un 10% de los aspectos ambientales evaluados resultó tener un impacto alto, de los cuales el 67% corresponde al área de lixiviación, el 9% al área de explotación minera y un 8% para chancado, aglomeración y Planta Sulfato. Los mismos resultados se obtuvieron para los aspectos evaluados como significativos (Figuras 42 y 43).

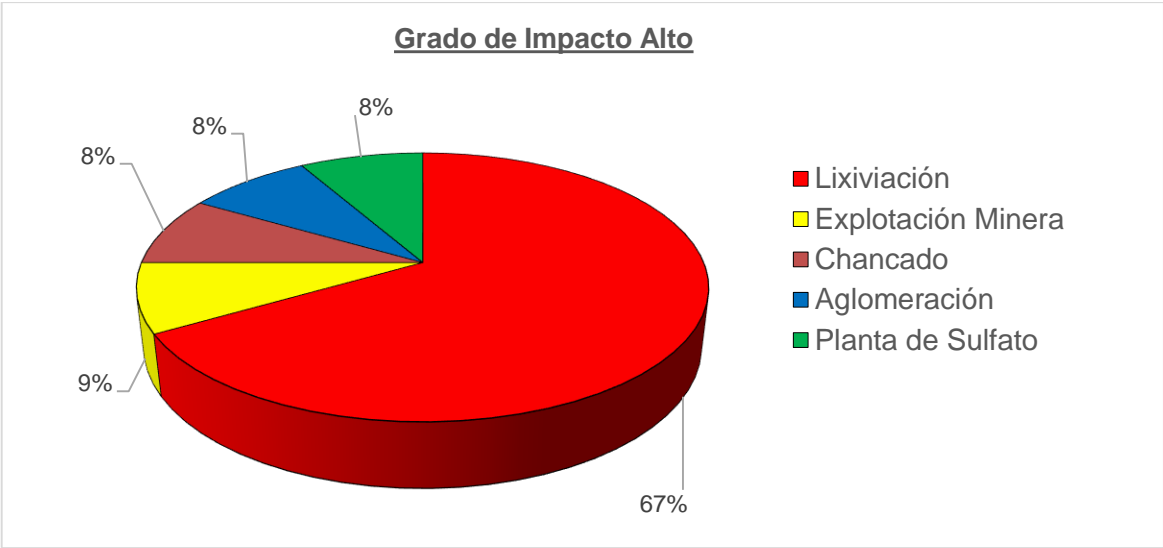


Figura 42: Aspectos evaluados con Grado de impacto alto para las distintas áreas de Planta San Lorenzo. (Fuente: Elaboración Propia)

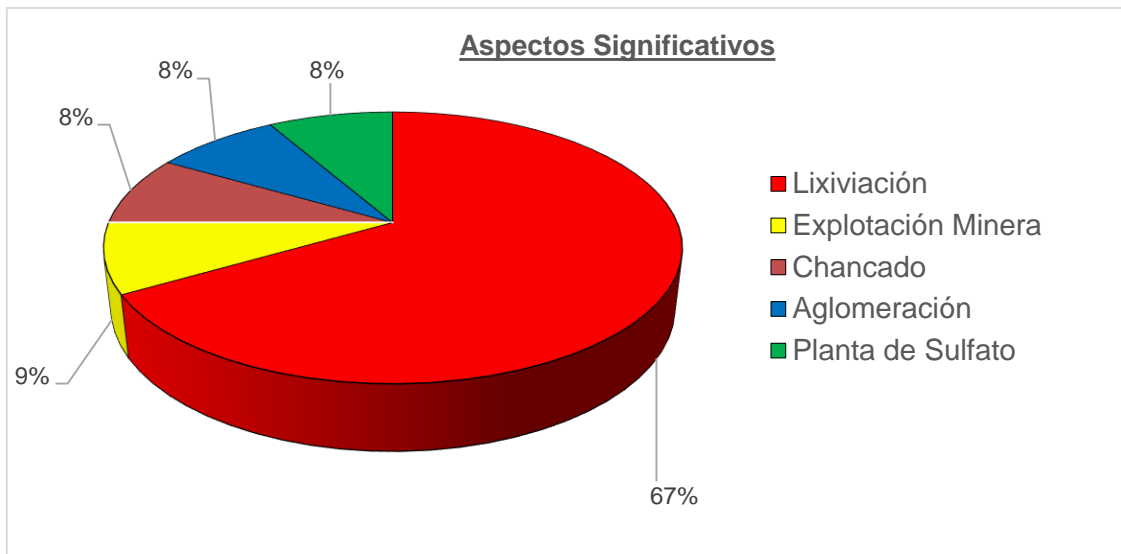


Figura 43: Aspectos evaluados con Grado de impacto alto para las distintas áreas de Planta San Lorenzo. (Fuente: Elaboración Propia)

Lo anterior demuestra que, en el área de lixiviación, aun con todas las medidas de impermeabilización y el status estanco de sus facilidades, existe un grado de impacto alto y significativo de sus aspectos ambientales evaluados.

Del análisis de la matriz de aspectos ambientales se puede establecer que aquellos evaluados con grado de impacto alto y significativo, corresponden a vertidos y derrames (soluciones ácidas), consumo de recursos naturales (agua) y uso de sustancias peligrosas (ácido sulfúrico, en términos de electrolito y ácido grado c). Junto con lo anterior los componentes ambientales que se verían afectados serían el suelo, las napas subterráneas y el agua. Por otro lado, el impacto ambiental más significativo sería la contaminación, por soluciones ácidas de las napas subterráneas y el suelo.

Finalmente, al igual que el análisis realizado para seguridad, la variable “soluciones ácidas” es la que cobra mayor importancia dentro del análisis antedicho, por lo que se vuelve fundamental para la gestión de riesgos que se pretende llevar a cabo. Además, otras variables críticas que verán formar parte de la herramienta serán las asociadas a la impermeabilización de las facilidades del área de lixiviación (piscinas de almacenamiento, pilas de lixiviación, botadero de ripios, líneas de conducción de soluciones).

4.3.Desarrollar la herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales, basada en la norma ISO 31.000, Of. 2009

Para elaborar la herramienta de gestión de riesgos laborales y ambientales, previamente se deben establecer que técnicas de la ISO 31.000, Of.2009 y referentes de la gestión minera se van a utilizar.

4.3.1. Selección de la(s) técnica(s) a utilizar de la norma ISO 31.000 Of. 2009

La selección de las técnicas de la norma ISO 31.000, Of. 2009 a utilizar se basará en dos criterios:

4.3.1.1.Primer Criterio de Selección

En primera instancia y tal como se mencionó en capítulos anteriores, la metodología seleccionada debe aplicar para todos los elementos del proceso de evaluación de riesgos, esto es: (a) identificación del riesgo, (b) análisis del riesgo (probabilidad), (c) análisis del riesgo (consecuencias), (d) análisis del riesgo (nivel de riesgo) y valoración del riesgo del riesgo

En la Tabla XII se presenta un análisis de variadas técnicas de evaluación de riesgos propuestas en la ISO 31.000 Of. 2009 y cuál de ellas aplica para los elementos mencionados anteriormente. Se selección aquella que fuera “Muy Aplicable” en todos los parámetros.

Como se puede visualizar las técnicas que cumplen con lo antedicho, son los siguientes: (a) Apreciación de riesgos ambientales, (b) Estructura “y si...” (SWIFT), (c) Análisis de los modos de fallo y de los efectos y (d) Mantenimientos centrados en la fiabilidad.

Tabla XII: Análisis de técnicas de evaluación de riesgos, en base a los elementos de ésta. (Fuente: Aenor, 2011)

Herramientas y técnicas	Proceso de apreciación del riesgo				
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Evaluación del riesgo
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo	
Tormenta de ideas	MA ¹⁾	NA ²⁾	NA	NA	NA
Entrevistas estructuradas o semiestructuradas	MA	NA	NA	NA	NA
Delphi	MA	NA	NA	NA	NA
Listas de verificación	MA	NA	NA	NA	NA
Análisis preliminar de peligros	MA	NA	NA	NA	NA
Estudios de peligros y de operatividad (HAZOP)	MA	MA	A ³⁾	A	A
Análisis de peligros y puntos de control críticos (HACCP)	MA	MA	NA	NA	MA
Apreciación de riesgos ambientales	MA	MA	MA	MA	MA
Estructura «y si...» (SWIFT)	MA	MA	MA	MA	MA
Análisis de escenario	MA	MA	A	A	A
Análisis del impacto económico	A	MA	A	A	A
Análisis de la causa primordial	NA	MA	MA	MA	MA
Análisis de los modos de fallo y de los efectos	MA	MA	MA	MA	MA
Análisis del árbol de fallos	A	NA	MA	A	A
Análisis del árbol de sucesos	A	MA	A	A	NA
Análisis de causa-consecuencia	A	MA	MA	A	A
Análisis de causa-y-efecto	MA	MA	NA	NA	NA
Análisis de capas de protección (LOPA)	A	MA	A	A	NA
Diagrama de decisiones	NA	MA	MA	A	A
Análisis de fiabilidad humana	MA	MA	MA	MA	A
Análisis de pejarita	NA	A	MA	MA	A
Mantenimiento centrado en la fiabilidad	MA	MA	MA	MA	MA
Análisis del circuito de fuga	A	NA	NA	NA	NA
Análisis Markov	A	MA	NA	NA	NA
Simulación Monte-Carlo	NA	NA	NA	NA	MA
Estadísticas Bayesian y redes Bayes	NA	MA	NA	NA	MA
Curvas FN	A	MA	MA	A	MA
Índices de riesgo	A	MA	MA	A	MA
Matriz de consecuencia/probabilidad	MA	MA	MA	MA	A
Análisis de costes/beneficios	A	MA	A	A	A
Análisis de decisión multi-criterios (MCDA)	A	MA	A	MA	A

1) Muy aplicable.
2) No aplicable.
3) Aplicable.

4.3.1.2.Segundo Criterio de Selección

A parte de lo anteriormente mencionado, para la selección de la herramienta se deben tomar en cuenta los siguientes factores (Aenor, 2011):

a) Disponibilidad de Recursos

Los recursos y las capacidades pueden afectar a la elección de determinadas técnicas de evaluación de riesgos, incluyen:

- La capacidad y aptitud en cuanto a experiencia profesional del equipo de personas que ha de realizar la evaluación del riesgo,
- Las limitaciones en tiempo y en otros recursos dentro de la organización, y
- El presupuesto disponible si se requieren recursos.

Considerando lo anterior y que la Planta San Lorenzo cuenta con el personal profesionalmente apto para realizar la evaluación de riesgos (Gerencia Seguridad y Salud Ocupacional y Gerencia Medio Ambiente y Territorio), el tiempo es limitado para realizar las actividades y los recursos disponibles no son muchos, debido a las actuales condiciones del mercado del cobre, es que la selección deberá basarse en el criterio “MEDIO” (de criterios bajo, medio y alto) para este factor.

b) Naturaleza y grado de incertidumbre

La naturaleza y el grado de incertidumbre requieren una correcta comprensión de la calidad, cantidad e integridad de la información disponible relativa al riesgo que se está considerando. Esto incluye la amplitud de la información disponible sobre el riesgo, sus orígenes y sus causas, así como sus consecuencias para la consecución de los objetivos. La incertidumbre se puede deber a la deficiente calidad de los datos o a la falta de datos esenciales y fiables.

La incertidumbre también puede ser inherente al contexto externo e interno de la organización. Los datos disponibles no siempre proporcionan la base fiable para la predicción del futuro.

Considerando lo anterior y a pesar de que en CMSG existe una información detallada acerca de información asociada a sus riesgos y procesos productivos, el contexto externo está en constante cambio, por lo que en este caso la selección deberá basarse en el criterio “MEDIO”.

c) Complejidad

Los riesgos pueden ser complejos por sí mismos como, por ejemplo, en sistemas complejos donde se necesita disponer de la evaluación del riesgo en todo el sistema, en vez de tratar cada componente por separado e ignorando las interacciones

Considerando lo anterior, las plantas de beneficio no son complejos en sí, desde el punto de vista operacional, sin embargo, si son importantes las interacciones y como los riesgos de éstas podrán afectar a otros procesos dentro de él. Debido a lo antedicho, en este caso la selección deberá basarse en el criterio “MEDIO”.

Además de los factores anteriormente mencionados, la técnica seleccionada debe proporcionar resultados cuantitativos con el fin de que las tomas de decisiones sean tomadas en base a argumentos sólidos y con respaldo numérico.

En el **ANEXO 6**, se presenta un análisis de las técnicas de evaluación de riesgos considerando todos los factores mencionados y explicados anteriormente

Del análisis antedicho, aquellas técnicas que cumplen con los criterios para los factores descritos son las siguientes: (a) análisis de fiabilidad humana, (b) análisis de árbol de sucesos, (c) FMEA y FMECA (análisis de los modos de falla y los efectos) y (d) LOPA (análisis de niveles de protección).

4.3.1.3. Selección de la técnica a utilizar

Finalmente, en base ambos criterios de selección, el resultado se presenta en la Tabla XIII:

Tabla XIII: Matriz de selección de la técnica ISO 31.000, OF. 2009 seleccionada. (Fuente: Elaboración Propia)

Técnicas \ Criterios	Elementos de Evaluación de Riesgos	Factores
Apreciación de riesgos ambientales	Cumple	No Cumple
Estructura “y si...” (SWIFT)	Cumple	No Cumple
Análisis de los modos de fallo y de los efectos (FMECA)	Cumple	Cumple
Mantenimientos centrados en la fiabilidad	Cumple	No Cumple
Análisis de fiabilidad humana	No Cumple	Cumple
Análisis de árbol de sucesos	No Cumple	Cumple
LOPA (análisis de niveles de protección)	No Cumple	Cumple

En base a lo antedicho, la técnica que cumple con ambos criterios y por tanto, la que formará parte de la herramienta a desarrollar, será la técnica análisis de los modos de fallo y efectos (FMEA y FMECA),

4.3.1.4.Descripción de la técnica seleccionada

Para poder entender de mejor forma la técnica seleccionada, a continuación, se presentan sus fundamentos y lineamientos.

El FMECA fue aplicado por vez primera por la industria aeroespacial en la década de los 60, e incluso recibió una especificación en la norma militar americana MIL-STD16291 titulada “Procedimientos para la realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad”. En la década de los 70 lo empezó a utilizar Ford, extendiéndose más tarde al resto de fabricantes de automóviles.

En la actualidad, es un método básico de análisis en el sector del automóvil que se ha extrapolado satisfactoriamente a otros sectores.

Aunque la técnica se aplica fundamentalmente para analizar un producto o proceso en su fase de diseño, este método es válido para cualquier tipo de proceso o situación, entendiendo que los procesos se encuentran en todos los ámbitos de la empresa, desde el diseño y montaje hasta la fabricación, comercialización y la propia organización en todas las áreas funcionales de la empresa. Evidentemente, este método a pesar de su enorme sencillez es usualmente aplicado a elementos o procesos clave en donde los fallos que pueden acontecer, por sus consecuencias puedan tener repercusiones importantes en los resultados esperados. El principal interés del FMECA es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales, si se aplica de manera sistemática.

La aplicación del FMECA por los grupos de trabajo implicados en las instalaciones o procesos productivos de los que son en parte conductores o en parte usuarios en sus diferentes aspectos, aporta un mayor conocimiento de los mismos y sobre todo de sus aspectos más débiles, con las consiguientes medidas preventivas a aplicar para su necesario control. Con ello se está facilitando la integración de la cultura preventiva en la empresa, descubriéndose que mediante el trabajo en equipo es posible profundizar de manera ágil en el conocimiento y mejora de la calidad de productos y procesos, reduciendo costes.

En la medida que el propósito del FMECA consiste en sistematizar el estudio de un proceso/producto, identificar los puntos de fallo potenciales, y elaborar planes de acción para combatir los riesgos, el procedimiento es asimilable a otros métodos simplificados empleados en prevención de riesgos laborales. Este método emplea criterios de clasificación que también son propios de la Seguridad en el Trabajo, como la posibilidad de acontecimiento de los fallos o hechos indeseados y la severidad o gravedad de sus consecuencias. Ahora bien, el FMECA introduce un factor de especial interés no utilizado normalmente en las evaluaciones simplificadas de riesgos de accidente, que es la capacidad de detección del fallo producido por el destinatario o usuario del equipo o proceso analizado, al que el método originario denomina cliente. Evidentemente tal cliente o usuario podrá ser un trabajador o equipo de personas que reciben en un momento

determinado un producto o parte del mismo en un proceso productivo, para intervenir en él, o bien en último término, el usuario final de tal producto cuando haya de utilizarlo en su lugar de aplicación. Es sabido que los fallos materiales suelen estar mayoritariamente asociados en su origen a la fase de diseño y cuanto más se tarde en detectarlos más costosa será su solución. De ahí la importancia de realizar el análisis de potenciales problemas en instalaciones, equipos y procesos desde el inicio de su concepción y pensando siempre en las diferentes fases de su funcionamiento previsto.

El análisis de los modos de falla y de los efectos (FMECA) es una herramienta de máxima utilidad en el desarrollo de un producto que permite, de forma sistemática, asegurar que se han tenido en cuenta y analizados todas las posibles fallas de un determinado proceso. Es decir, esta técnica permite identificar variables significativas del proceso para poder determinar y establecer acciones correctoras necesarias para la prevención de la falla, o la detección de la misma si ésta se produce, evitando que productos defectuosos o inadecuados lleguen al cliente.

Dentro de las técnicas existentes de evaluación de riesgos, el FMECA considera una calificación o jerarquización del grado de criticidad del riesgo, por lo que es normalmente empleada para la planificación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, ya que permite lograr un entendimiento global del sistema que se está evaluando, así como el funcionamiento y la forma en que pueden presentarse las fallas de los procesos que conforman el sistema. Las acciones de recomendación derivadas de un FMECA quedan definidas como acciones o tareas de mantenimiento, lo que permite diseñar una estrategia completa de mantenimiento aplicando criterios de riesgo para cada proceso considerado en la evaluación, para de esta forma, poder evaluar el impacto del plan de mantenimiento en el riesgo del proceso, así como también, asegurar que el plan de mantenimiento es aplicado en aquellos procesos que representan un mayor riesgo para las personas y el medio ambiente.

Cada falla que se pueda presentar en una planta de proceso, representa un riesgo potencial, por lo cual es esencial entender cómo se presenta, entendiendo la forma en que los procesos fallan, así de esta forma se podrán diseñar mejores acciones correctivas o preventivas. En este caso, las acciones son tareas de mantenimiento. Podemos definir entonces un modo de falla, como “la forma” en que un proceso falla. Es importante para el entendimiento de la falla, poder identificar los dos diferentes estados de falla que se pueden presentar (“*fault*” y “*failure*”); primeramente,

aquel estado de falla, en el cual un activo simplemente deja de funcionar y otro, en el cual el activo no desempeña su función conforme a un estándar de desempeño deseado o bien, conforme a las necesidades que el usuario tiene, pero no necesariamente deja de funcionar. Es esta última condición, es la que más interesa estudiar y se denomina “falla funcional”, así, una falla será aquella que evita que un activo desempeñe su función conforme a un estándar de desempeño definido.

El FMECA consiste en las siguientes etapas: (a) definición de la intención del diseño, (b) análisis funcional, (c) identificación de modos de falla, (d) efectos y consecuencias de la falla y (e) jerarquización del riesgo. Estas etapas pueden visualizarse en la Figura 44:



Figura 44: Esquema de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos. (Fuente: Aguilar Otero *et.al.*, 2010)

4.3.2. Referentes de la gestión minera que se utilizarán para la herramienta

Para la elaboración de la herramienta se tomarán elementos utilizados para la evaluación de riesgos aplicada a los Planes de Cierre de Faenas mineras, pero adaptados para la operación minera. Dentro de estos referentes encontramos los siguientes: (a) Planificación del cierre integrado de minas del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) y (b) Guía Metodológica para la Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras de SERNAGEOMIN.

En términos generales, estas metodologías permiten obtener los niveles de riesgo para cada una de las instalaciones de la faena, mediante la combinación de dos elementos esenciales en el análisis: la Probabilidad de ocurrencia de un hecho y la Severidad de sus consecuencias. Conforme a ello, se han establecido procedimientos de análisis para cada uno de estos elementos, bajo el criterio de la singularidad que cada instalación minera.

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

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

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

La base de las metodologías antedichas radica en la identificación y cuantificación de los riesgos manteniendo los lineamientos de la norma “ISO 31.000 *Risk Management Principles and Guidelines*” y complementado con el análisis de factores técnicos operacionales, además de las condiciones geográficas que permitan que la evaluación recoja los aspectos propios e individuales de cada faena.

4.3.3. Herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales en Planta San Lorenzo

Para realizar una evaluación de riesgos aplicando los principios del FMECA, se requiere completar las siguientes etapas:

- a) Identificar los riesgos,
- b) Identificar los posibles afectados, llamados receptores potenciales,
- c) Estimar la probabilidad de que ocurra el riesgo,
- d) Estimar la severidad de las consecuencias sobre los receptores,
- e) Aplicar una matriz de riesgos para distinguir riesgos “significativos” y “no significativos”

Así, considerando los criterios mencionados en el punto 4.3.1., los referentes indicados en el punto 4.3.2. y la técnica de la ISO 31.000, Of. 2009 seleccionada, la herramienta tendrá la siguiente estructura:

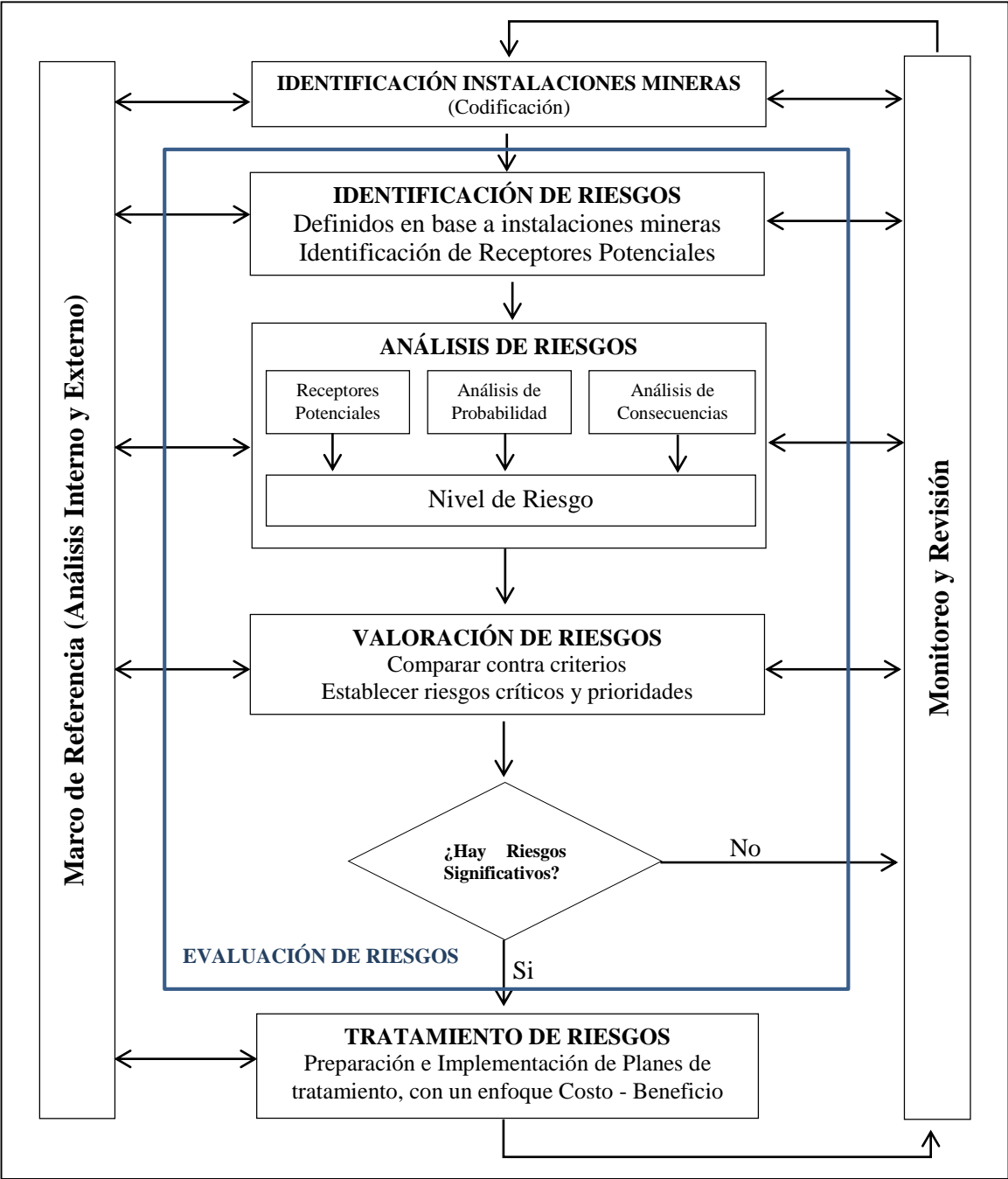


Figura 45: Estructura de la herramienta propuesta. (Fuente: Elaboración Propia)

4.3.3.1.Marco de Referencia

El proceso de gestión del riesgo ocurre dentro del marco de un contexto estratégico, organizacional y operacional. Este requiere establecerse para definir los parámetros básicos dentro de los cuales se debe manejar el riesgo, y para ofrecer una orientación con relación a decisiones dentro del proceso de gestión del riesgo. En el caso del presente trabajo, el marco se definió en el capítulo 4.1, sin embargo, es importante mantenerlo constantemente actualizado, sobre todo lo que tenga que ver con cambios en las normativas aplicables y procesos internos de la empresa.

4.3.3.2.Identificación de Instalaciones Mineras

En esta herramienta se diferenciarán entre 2 tipos de instalaciones: principales y complementarias. Cada una tendrá un código que la diferenciará de las demás. En la Tabla XIV se presenta el desglose de las instalaciones aplicable al área de lixiviación:

Tabla XIV: Desglose instalaciones asociadas a Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

Tipo de Instalación	Código	Nombre de la Instalación	Instalaciones consideradas
Principales	RL	Depósito de Ripios de lixiviación	<ul style="list-style-type: none">• Botadero de Ripios N°1• Botadero de Ripios N°2
	PL	Pilas de Lixiviación	7 pilas de lixiviación dinámica.
Complementarias	PA	Piscinas de almacenamiento de soluciones	Piscinas PLS, ILS, Refino, Electrolito y Ácido grado C
	OL	Obras Lineales	Líneas de conducción de soluciones.

4.3.3.3.Identificación de Riesgos

Posterior a la identificación de las instalaciones, para cada una de ellas se identificarán los riesgos más relevantes que se espera existan, Para lo anterior, se ha determinado cuál es el “hecho” que puede provocar que un determinado riesgo se materialice y en base a esto se ha analizado cuál

es la “causa” que puede desencadenarlo, por ejemplo, deslizamiento de material a causa de un sismo de determinada magnitud.

Finalmente se evalúa quienes serían los afectados por el hecho, es decir los “receptores potenciales”, pudiendo corresponder a las personas, el medio ambiente o ambos (Ver Figura 46).

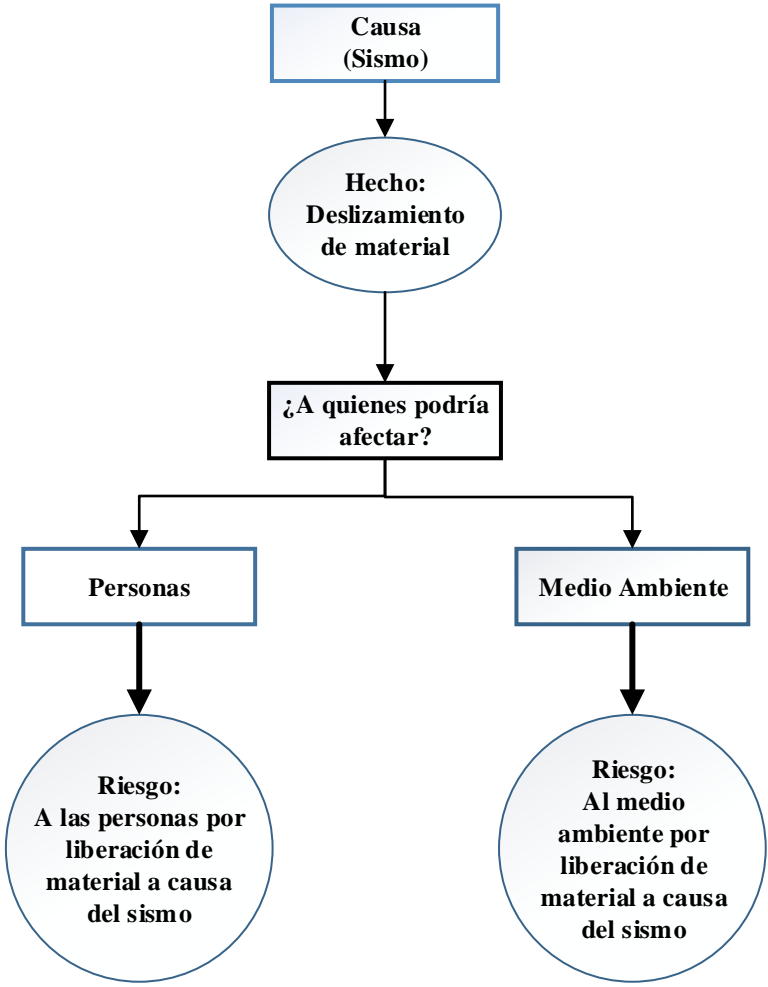


Figura 46: Ejemplo esquemático identificación de riesgos. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

Tabla XV: Riesgos típicos identificados para Depósito de Ripios de lixiviación. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Receptores
Depósito de Ripios de Lixiviación (RL)	RL1	RL1.P	Falla en el talud a causa de un sismo	Personas
		RL1.MA		Medio Ambiente
	RL2	RL2.P	Falla en el talud a causa de erosión hídrica	Personas
		RL2.MA		Medio Ambiente
	RL3	RL3.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Personas
		RL3.MA		Medio Ambiente
	RL4	RL4. P	Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa del viento	Personas
		RL4.MA		Medio Ambiente

Tabla XVI: Riesgos típicos identificados para Depósito de Ripios de lixiviación. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Receptores
Pilas de Lixiviación (PL)	PL1	PL1.P	Falla en el talud a causa de un sismo	Personas
		PL1.MA		Medio Ambiente
	PL2	PL2.P	Falla en el talud a causa de erosión hídrica	Personas
		PL2.MA		Medio Ambiente
	PL3	PL3.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Personas
		PL3.MA		Medio Ambiente
	PL4	PL4. P	Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa del viento	Personas
		PL4.MA		Medio Ambiente

Tabla XVII: Riesgos típicos identificados para Piscinas de almacenamiento de soluciones. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Receptores
Piscina de Almacenamiento de Soluciones (PA)	PA1	PA1.P	Falla en el talud a causa de un sismo	Personas
		PA1.MA		Medio Ambiente
	PA2	PA2.P	Falla en el talud a causa de erosión hídrica	Personas
		PA2.MA		Medio Ambiente
	PA3	PA3.P	Muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras	Personas
		PA3.MA		Medio Ambiente
	PA4	PA4.P	Liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo	Personas
		PA4.MA		Medio Ambiente
	PA5	PA5.P	Liberación de soluciones ácidas a causa de crecida/inundación	Personas
		PA5.MA		Medio Ambiente
	PA6	PA6.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Personas
		PA6.MA		Medio Ambiente

Tabla XVIII: Riesgos típicos identificados para Obras Lineales. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Receptores
Obras Lineales (OL)	OL1	OL1.P	Liberación de soluciones a causa de rotura de línea	Personas
		OL1.MA		Medio Ambiente
	OL2	OL2.P	Liberación de soluciones a causa de crecida /inundación	Personas
		OL2.MA		Medio Ambiente
	OL3	OL3.P		Personas

Instalación Minera	Codificación	Riesgos	Receptores
	OL3.MA	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Medio Ambiente

4.3.3.4. Análisis de los riesgos

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

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

4.3.3.4.1. Análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, el análisis de probabilidad de ocurrencia del hecho, se enfocará en evaluar los elementos y circunstancias cuya combinación produzca un escenario potencial de ocurrencia de un hecho (Ver Figura 47).

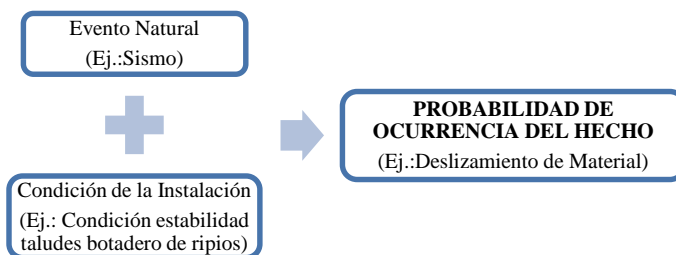


Figura 47: Ejemplo esquemático del análisis de probabilidad de ocurrencia del hecho. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

De esta forma, se considerará como elementos de la probabilidad a las condiciones propias de la instalación minera, particularmente en base a ciertos factores técnicos de operación.

De igual forma, se entenderán como circunstancias de la probabilidad a aquellos eventos naturales que podrían presentarse durante la vida útil de la instalación minera, por ejemplo, un sismo de mediana magnitud.

Por lo tanto, por ejemplo, la condición de un depósito de ripios ante un sismo generará un escenario con un nivel de probabilidad de ocurrencia de un determinado hecho, que en este caso es el deslizamiento de material

A continuación, se realiza el análisis, de manera independiente, del Evento Natural y de la Condición de la Instalación Minera

a) Evento Natural

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

Debido a que cada uno de estos eventos tiene sus propias características y metodologías de evaluación aceptadas en la industria, se deberá definir el nivel de probabilidad de ocurrencia del evento natural, en base a estudios realizados en el sector en un rango de 1 a 5, (de Muy Bajo a Muy Alto), de acuerdo a lo indicado en la Tabla XIX:

Tabla XIX: Tabla para la selección del nivel de probabilidad de ocurrencia del hecho. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

A continuación, se indica el evento que debe ser analizado para cada riesgo identificado, sin perjuicio de que puedan incorporarse otros eventos naturales:

Tabla XX: Eventos naturales a analizar para Depósitos de Ripios de Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Evento Natural a analizar
Depósito de Ripios de Lixiviación (RL)	RL1	RL1.P	Falla en el talud a causa de un sismo	Sismo
		RL1.MA		Sismo
	RL2	RL2.P	Falla en el talud a causa de erosión hídrica	Erosión Hídrica
		RL2.MA		Erosión Hídrica
	RL3	RL3.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Precipitación
		RL3.MA		Precipitación
	RL4	RL4. P	Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa del viento	Viento
		RL4.MA		Viento

Tabla XXI: Eventos naturales a analizar para Pilas de Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Evento Natural a analizar
Pilas de Lixiviación (PL)	PL1	PL1.P	Falla en el talud a causa de un sismo	Sismo
		PL1.MA		Sismo
	PL2	PL2.P	Falla en el talud a causa de erosión hídrica	Erosión Hídrica
		PL2.MA		Erosión Hídrica
	PL3	PL3.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Precipitación
		PL3.MA		Precipitación
	PL4	PL4. P	Contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa del viento	Viento
		PL4.MA		Viento

Tabla XXII: Eventos naturales a analizar para Piscinas de almacenamiento de soluciones. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Evento Natural a analizar
Piscina de Almacenamiento de Soluciones (PA)	PA1	PA1.P	Falla en el talud a causa de un sismo	Sismo
		PA1.MA		Sismo
	PA2	PA2.P	Falla en el talud a causa de erosión hídrica	Erosión Hídrica
		PA2.MA		Erosión Hídrica
	PA3	PA3.P	Muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras	NA*
		PA3.MA		NA*
	PA4	PA4.P	Liberación de soluciones a causa de un sismo	Sismo
		PA4.MA		Sismo
	PA5	PA5.P	Liberación de soluciones ácidas a causa de crecida/inundación	Inundación
		PA5.MA		Inundación
	PA6	PA6.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Precipitación
		PA6.MA		Precipitación

Tabla XXIII: Riesgos típicos identificados para Obras Lineales. (Fuente: Elaboración Propia)

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Evento Natural a analizar
Obras Lineales (OL)	OL1	OL1.P	Infiltración de soluciones a causa de rotura de línea	Sismo
		OL1.MA		Sismo
	OL2	OL2.P	Liberación de soluciones a causa de crecida /inundación	Inundación
		OL2.MA		Inundación

Instalación Minera	Codificación		Riesgos	Evento Natural a analizar
	OL3	OL3.P	Contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	Precipitación
		OL3.MA		Precipitación

*Para el caso del riesgo PA4, asfixia por inmersión a causa ausencia de barreras duras, la probabilidad no se encuentra asociada a la ocurrencia o no de un evento natural, por lo que en su evaluación no se considerará este punto.

b) Condición de la instalación

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

Debido a lo anterior, una construcción y una operación ajustada al diseño original en conjunto con medidas de control eficientes, significarán una menor probabilidad de ocurrencia de un hecho que conlleve consecuencias en las personas y medio ambiente.

La metodología que se propone, aborda precisamente los factores técnicos propios de la operación para determinar la condición de la instalación, tal como se muestra en la Figura 48.

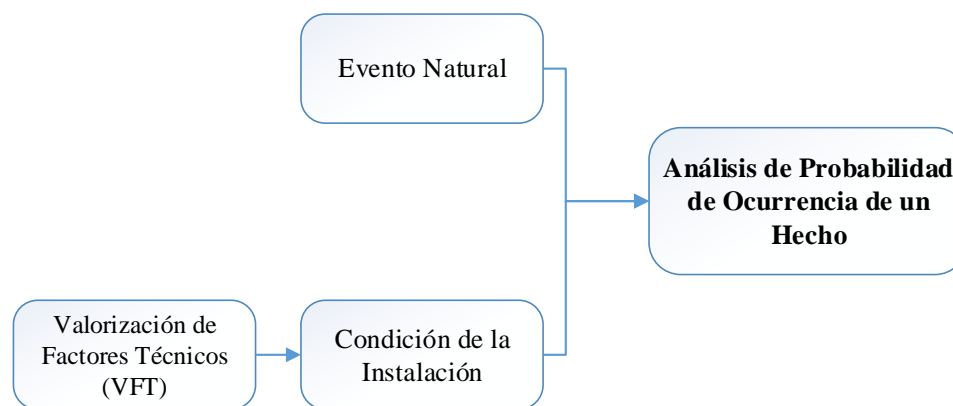


Figura 48: Esquema del análisis de probabilidad de ocurrencia de un hecho. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

- **Valorización de los Factores Técnicos (VFT)**

Los factores técnicos son las condiciones de operación de la instalación minera cuya evaluación permitirá estimar su posible comportamiento en el caso que se presente un evento natural durante ese periodo de tiempo.

En esta herramienta se consideran factores técnicos para cada uno de los riesgos identificados y para cada una de las instalaciones, considerando aquellos aspectos que pueden ser medidos contantemente durante la operación y que incidirán en el comportamiento de la instalación frente a determinados eventos naturales.

Para evaluar cada factor técnico se ha establecido un rango de valorización entre 0 y 1. Donde el valor 1 significa que la operación de la instalación ha sido inadecuada y por lo tanto se encuentra en un estado crítico y el valor 0 es indicativo de una operación dentro de los parámetros de diseño y las buenas prácticas operacionales, por lo que la instalación se encuentra en buen estado (Figura 49).

Valorización/ Factores		0	0,25	0,5	0,75	1
a	Identificación de taludes de ingeniería o menor	Según diseño de ingeniería o menor	-	-	-	sin monitoreo o con un ángulo superior al de diseño
b	Identificación del Grado saturación de colocación material	De acuerdo a diseño o con menor valor	-	Ocasionalmente	-	En forma sistemática
c	Diseño de bermas	Bermas de acuerdo a diseño de ingeniería o mayor	-	Ocasionalmente ingeniería	-	Construcción sistemática de bermas menores a lo indicado en el diseño o bien, sin monitoreo
d	Determinación del nivel freático piezómetros en la base de la pila	De acuerdo a diseño o con menor valor	Desviaciones ocasionales 1-2 por año	Registro esporádico sin desviaciones	Desviaciones constantes por más de un año	Desviaciones constantes en todo el período y no existe control o monitoreo

Figura 49: Ejemplo de estructura de la tabla para la evaluación de factores técnicos. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

En la Figura 49, se presenta en un ejemplo la estructura de la Tabla donde se podrá analizar los factores técnicos para cada riesgo relacionado con la instalación respectiva, en el entendido que su contenido variará dependiendo de la instalación que se esté analizando.

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

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

Para realizar el análisis de los factores técnicos se deberá ingresar a la tabla correspondiente, identificar la valorización de cada factor. De acuerdo a la situación en la que se

encuentra la instalación minera y determinar el nivel final mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$VFT = \alpha \cdot a + \beta \cdot b + \gamma \cdot c + \delta \cdot d + \dots$$

Donde:

VFT: Valorización de factores técnicos.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = Coeficientes resultantes del proceso de jerarquización y normalización.

a, b, c, d = Valorización de cada factor técnico.

En el **ANEXO 7**, se presenta para cada riesgo su correspondiente tabla de factores técnicos propuestos para ser utilizada en la herramienta. El detalle del procedimiento realizado para obtener estos coeficientes mediante el análisis de comparación de pares se encuentra en el **ANEXO 8**.

- **Determinación de la condición de la Instalación Minera (CI)**

Una vez determinada la Valorización de Factores Técnicos (VFT), el nivel resultante cuantitativo será convertido en un valor cualitativo mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la Tabla XXIV

Tabla XXIV: Nivel de la Condición de la Instalación. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

Este resultado, junto con la determinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento natural, determinar la probabilidad de ocurrencia del hecho.

c) Determinación de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho

Una vez determinado el nivel de probabilidad de ocurrencia del Evento Natural y el resultado del análisis de la Condición de la Instalación, se procederá a combinarlos, mediante el empleo de la matriz que se muestra en la Tabla XXV.

En definitiva, el resultado del ingreso a la matriz indicará la Probabilidad de Ocurrencia del hecho evaluado.

Tabla XXV: Matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis., 2014)

		Condición de la Instalación				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Nivel de Probabilidad de Ocurrencia del Evento	Muy alto	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada
	Alto	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Medio	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Bajo	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja
	Muy Bajo	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja	Probabilidad Muy Baja

Es importante recalcar que la incidencia de un evento natural sobre la condición de la instalación minera, expresada mediante el análisis de los factores técnicos, genera un escenario de probabilidad de ocurrencia del hecho, tal como se indica en la Figura 50.

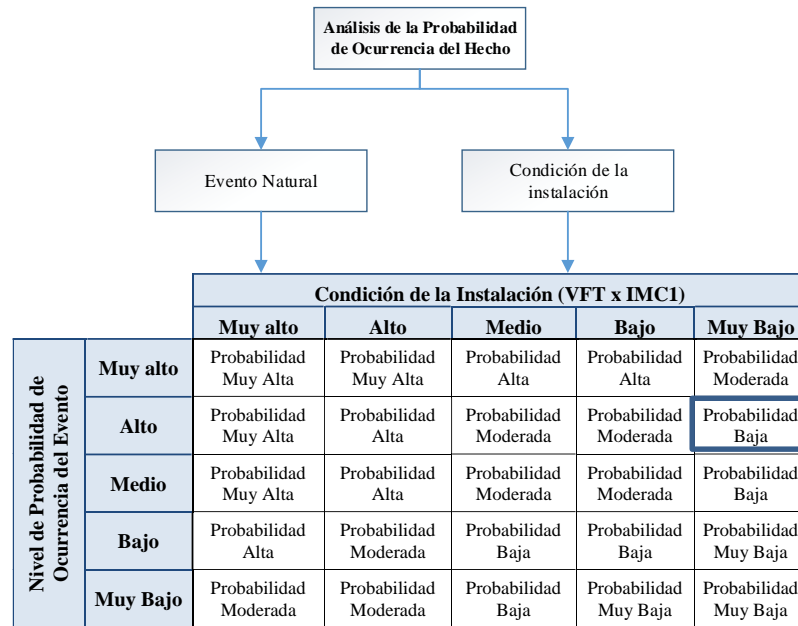


Figura 50: Ejemplo de empleo de la matriz del análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

De la figura anterior, se puede visualizar que una inadecuada operación de la instalación minera y una elevada probabilidad de ocurrencia de un evento natural, significarán una mayor probabilidad de que ocurra un hecho que cause severas consecuencias a las personas y el medio ambiente.

4.3.3.4.2. Análisis de la severidad de las consecuencias

La severidad de las consecuencias es el grado de impacto o daño que pueda generarse como resultado de la ocurrencia del hecho sobre las personas y el medio ambiente existentes en el área de influencia.

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

Lo anterior, tiene por objetivo enfocar el Tratamiento del Riesgo, ya sea sobre las personas o el medio ambiente.

En la Figura 51 se muestra el esquema del análisis de la severidad de las consecuencias.

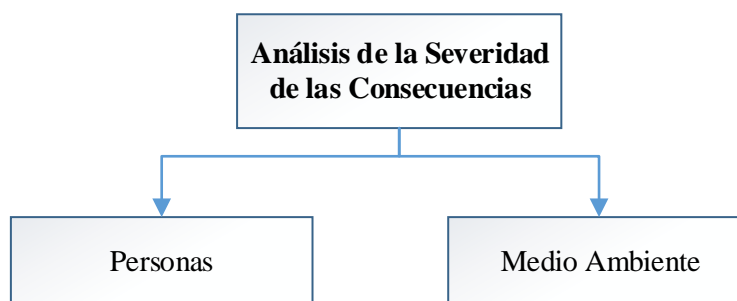


Figura 51: Esquema análisis de la severidad de las consecuencias. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

a) **Análisis de la severidad de las Consecuencias a las Personas**

En el análisis de la severidad de las consecuencias a las personas, se debe considerar a los trabajadores que operen las instalaciones que se están evaluando, así como a los habitantes que se encuentren en los alrededores de la instalación minera, es decir, en el área donde potencialmente podría presentarse la situación de riesgo, cuando la faena se encuentre en situación de riesgo.

El procedimiento planteado consiste en realizar el análisis de “características” que reflejen el grado de severidad de las consecuencias en las personas, asumiendo el escenario de que, efectivamente, ocurriera el hecho. En la Figura 52 se presenta un esquema del procedimiento para el análisis de severidad de las consecuencias a las personas.

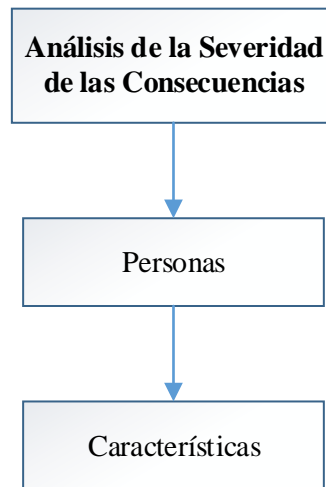


Figura 52: Esquema del análisis de la severidad de las consecuencias a las personas (SCp). (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

- **Características (SCp')**

Se han definido 6 características o variables que permiten reflejar el nivel de severidad de las consecuencias en las personas:

- Intensidad (I):** Indica el grado de afectación en áreas de uso antrópico, incluyendo cualquier sector utilizado por un grupo humano con diversos fines (incluye labores realizadas por trabajadores de la instalación). En consecuencia, se debe evaluar el grado de afectación de los sectores utilizados con fines residenciales, económicos, ceremoniales o recreativos.
- Proximidad (Pr):** Evalúa la proximidad de la instalación minera a asentamientos humanos o áreas con actividades antrópicas. Es necesario considerar que, dependiendo del alcance espacial de un evento no deseado, la proximidad de las obras ante asentamientos humanos o áreas con usos antrópicos cobra relevancia para evaluar la severidad de las consecuencias.

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

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

- v. **Recuperabilidad (RE):** Define la posibilidad de volver al estado normal de forma total o parcial de la persona y sus actividades después de ocurrido el hecho. Esta variable busca identificar como el evento no deseado puede comportarse en el tiempo, en función de que el daño sea revertido.

- vi. **Capacidad de respuesta (C.Re):** Analiza la capacidad de respuesta ante la ocurrencia del hecho. Para evaluar tal capacidad, se toma como referencia la existencia o no de un sistema de alerta temprana y el nivel de información, capacitación y entrenamiento que la población, con potencial de ser alcanzada por el evento, presenta.

Para evaluar cada una de estas variables, se ha establecido un rango de valoración entre 1 y 5, que van desde un nivel muy bajo hasta un nivel muy alto de severidad de las consecuencias. En la Tabla XXVI se presentan las características para el análisis de la severidad de las consecuencias en las personas.

Tabla XXVI: Características para el análisis de la severidad de las consecuencias en las personas. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

		RANGO					
		DESCRIPCIÓN	MUY BAJO (1)	BAJO (2)	MEDIO (3)	ALTO (4)	MUY ALTO (5)
VARIABLES	Intensidad (I)	Intensidad o grado de destrucción	No tiene potencial de afectar zonas residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar una de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar dos de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar tres de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar todas las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.
	Proximidad (Pr)	Proximidad de la instalación minera a asentamientos humanos o áreas con actividades antrópicas.	Instalación minera emplazada fuera de asentamientos o lugares con actividades antrópicas.	-	Instalación minera emplazada colindante con asentamiento y/o lugares con actividades antrópicas.	-	Instalación minera emplazada en medio de asentamiento.
	Fragilidad (F)	Fragilidad de las personas ante un evento; porcentaje de la población en edades frágiles, niños y ancianos.	0 - 5 %	6 - 10 %	11 - 20 %	21 - 30 %	> 30%
	Daño a la Salud (S)	Potencial de afectación a la salud de las personas	No existe un potencial de afectación a la salud	Existe potencial de afectación, pero con molestias en la salud que pueden desaparecer por sí solas y en pocos minutos (por ejemplo, náuseas provocadas por malos olores que duren poco tiempo).	Existe un potencial de afectación a la salud, que, no dejando secuelas, sí implica la necesidad de asistencia médica para recuperarla en pocas horas.	Existe un potencial de afectación a la salud que dejará secuelas por más de un día (sin secuelas crónicas), y que requiere de tratamiento u observación médica	Existe un potencial de afectación a la salud que causará secuelas crónicas o la muerte.
	Recuperabilidad (RE)	Recuperabilidad (la posibilidad de volver al estado normal de forma total o parcial de la persona después de ocurrido un hecho)	Inmediato (Durante la semana en que ocurre el evento).	Corto Plazo (Durante 2da a 4ta semanas de ocurrido el evento).	Mediano Plazo (Durante el mes 2do y hasta 12vo de ocurrido el evento).	Largo Plazo (Durante el mes 13vo y 24vo de ocurrido el evento)	Irrecuperable (No existe recuperación)
	Capacidad de Respuesta (C.Re)⁵	Capacidad de Respuesta ante el evento (sistema de alerta temprana y/o capacitación)	Existencia de Sistema Alerta temprana y Totalmente Capacitados	Existencia de Sistema Alerta temprana sin capacitación de la población	Existencia de Sistema Alerta temprana y parcial capacitación de la población	No existencia de Sistema Alerta temprana e información general de la población	No existencia de Sistema Alerta temprana ni información a la población

⁵ Análisis al año de evaluación

Para realizar el análisis para cada riesgo se deberá identificar en cada variable la valoración que correspondería en el escenario de que ocurriera el hecho y con dichos valores se deberá completar la tabla XXVII.

Tabla XXVII: Análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Personas. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

El resultado final del análisis se obtendrá empleando la siguiente relación:

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

- **Determinación del Nivel de Severidad de las consecuencias a las Personas (SCp)**

Una vez analizadas las características de la población potencialmente afectada, se procederá a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$SCp = SCp'$$

Finalmente, el resultado cuantitativo será convertido a una estimación cualitativa, mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la Tabla XXVIII

Tabla XXVIII: Nivel de Severidad de las Consecuencias a las Personas. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

b) Análisis de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente

El enfoque para el análisis de las consecuencias al Medio Ambiente es similar al procedimiento planteado para el caso de la afectación a las personas. En la Figura 53, se presenta un esquema del procedimiento para el análisis de severidad de las consecuencias en el medio ambiente.

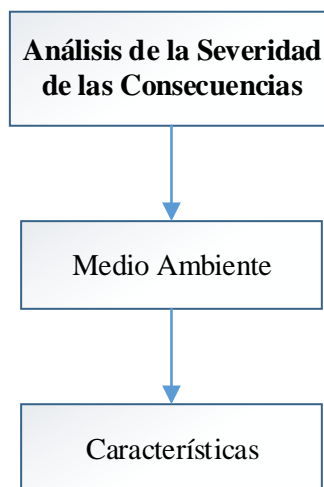


Figura 53: Esquema del análisis de la severidad de las consecuencias en el Medio Ambiente. (Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN y Arcadis., 2014)

En el caso de la severidad de las consecuencias para el medio ambiente también se plantea incluir las variables de las componentes ambientales vinculadas a la estabilidad física y química de la instalación.

- **VARIABLES EN LAS COMPONENTES AMBIENTALES (SCMA)**

Se ha realizado la diferenciación de los receptores específicos del medio ambiente a partir de ciertos componentes ambientales⁶, seleccionando aquellos que tienen relación con la estabilización física y química, y que podrían ser afectados por la ocurrencia de un hecho durante la operación de la instalación. En la Tabla XXIX, se puede visualizar las consideraciones de cada componente ambiental.

Tabla XXIX: Consideraciones de cada componente ambiental. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

Se deberá seleccionar, para cada riesgo analizado, las componentes ambientales que podrían ser afectadas en el escenario de ocurrencia de un hecho. Para el análisis de severidad de las

⁶ En base a la definición de componentes ambientales establecido en la Ley N°19.300/1994

consecuencias en cada uno de estos componentes se han definido 5 variables, las que en su conjunto reflejarían el nivel de severidad de las consecuencias que podrían presentarse al medio ambiente.

Estas variables se explican a continuación:

- i. Extensión (E):** Define la magnitud y/o consecuencia espacial del hecho. Esta variable tiene como objetivo determinar la superficie y/o extensión territorial que podría ser afectada por el riesgo analizado.
- ii. Duración (D):** Indica el tiempo que permanecerá la consecuencia desde su aparición. No considera la aplicación de acciones correctivas. La variable duración busca determinar la extensión “temporal” del riesgo analizado.
- iii. Reversibilidad (Rev):** Evalúa la capacidad que tiene el medio ambiente de revertir naturalmente o mediante acciones las consecuencias del riesgo. Esta variable tiene como objetivo principal determinar la capacidad de resiliencia del componente ambiental según el tipo de riesgo analizado. En este sentido, busca evaluar si es que la componente ambiental podrá volver a la situación o condición existente de manera previa a la generación del riesgo analizado.
- iv. Intensidad (I):** Expresa el grado de alteración sobre el medio ambiente que pueda generar el riesgo analizado. Son ejemplos de *Intensidad Alta* la destrucción y/o pérdida del recurso o componente analizado; de *Intensidad Media* la disminución y/o degradación del componente; en tanto, se entenderá como *Intensidad Baja* cuando el nivel y/o grado de alteración implique modificaciones menores a la condición de la situación basal de componente.
- v. Relevancia Ambiental (Rel):** Refleja la relevancia y/o valor ambiental del componente. A modo de referencia, son ejemplos de Relevancia Ambiental *Muy Alta* la presencia de bofedales y/o llaretas; paisaje prístino y/o escasamente intervenido; suelos con alto potencial agropecuario; hábitats de flora/fauna frágiles y/o que

contengan especies en algún tipo de categoría de conservación; recursos hídricos subterráneos y/o superficiales que sean utilizados para el consumo humano y/o tengan valor biológico por su importancia para el ecosistema.

De la misma forma como se realizó para el análisis a las personas, para cada una de las variables identificadas, se consideraron 5 rangos desde muy baja (1) hasta muy alta (5), expresando de esta manera el nivel de severidad de las consecuencias en el componente ambiental analizado. En la Tabla XXX se presentan las variables para el análisis de la severidad de las consecuencias en los componentes ambientales

Tabla XXX: Variables para el análisis de la severidad de las consecuencias en los componentes ambientales. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

		DESCRIPCIÓN	RANGO				
			MUY BAJO (1)	BAJO (2)	MEDIO (3)	ALTO (4)	MUY ALTO (5)
VARIABLES	Extensión (E)	Define la magnitud y/o consecuencia espacial del riesgo	Puntual: cuando la consecuencia se manifiesta en el entorno inmediato a la fuente generadora.	Parcial: cuando la consecuencia tiene implicancias que abarcan una superficie menor a una subcuenca.	Local: cuando el impacto se manifiesta abarcando una superficie igual a una subcuenca.	Extenso: cuando la consecuencia se manifiesta abarcando la superficie equivalente o mayor a una subcuenca.	Regional: cuando la consecuencia tiene implicancias regionales
	Duración (D)	Indica el tiempo que permanecerá la consecuencia desde su aparición. Sin acciones correctivas	Temporal: hasta 6 mes después de verificado el riesgo	Corto plazo: entre 6 meses y 1 año	Mediano plazo: entre 1 y 3 años	Largo plazo: entre 3 y 5 años	Permanente: duración superior a 5 años
	Reversibilidad (Rev)	Evalúa la capacidad que tiene el Medio Ambiente de revertir naturalmente o mediante acciones las consecuencias del Riesgo	Reversible: la consecuencia se revierte en forma natural una vez finalizado el hecho que lo genera.	Reversibilidad Baja: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizado el hecho que lo genera, pero puede ser revertido en algunos aspectos y de manera transitoria, mediante acciones correctoras.	Parcialmente reversible: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizado el hecho que lo genera, pero puede ser revertido al menos parcialmente, mediante acciones correctoras.	Potencialmente Reversible: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizado el hecho que lo genera, pero puede ser revertido en algunos aspectos específicos, mediante acciones correctoras.	Irreversible: la consecuencia no se revierte en forma natural al finalizar el hecho que lo genero y tampoco puede ser revertido mediante acciones correctoras.

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

***Notas sobre la Relevancia Ambiental:**

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

- Relevancia Ambiental Muy Baja: el componente ambiental está abundantemente y/o altamente representado, no contiene especies o componentes singulares o amenazadas, no provee servicios ambientales relevantes, no posee condiciones que restrinjan su intervención, posee una escasa valoración del grupo humano y/o no posee un uso actual, Valor (1).
- Relevancia Ambiental Media: el componente ambiental posee una abundancia y/o representatividad aceptable, baja proporción de especies o componentes singulares y/o amenazadas, provee servicios ambientales que no se consideran críticos, posee una capacidad de resiliencia aceptable, el recurso/componente que es valorado por el grupo humano al poseer un uso actual, pero que actualmente posee alternativas de reemplazo, el recurso/componente fue recientemente utilizado con fines culturales o económicos por comunidades tradicionales, un grupo humano indígena y/o un grupo vulnerable, Valor (3).
- Relevancia Ambiental Muy Alta: el componente ambiental tiene alta proporción de especies o componentes singulares o amenazados, provee servicios ambientales relevantes,

baja capacidad de Resiliencia y/o fragilidad, régimen de protección oficial, alta valoración por parte de los grupos humanos, cuando el recurso/componente es utilizado con fines culturales o económicos por comunidades tradicionales, un grupo humano indígena y/o un grupo vulnerable, Valor (5).

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

En base a los criterios presentados en los 5 rangos de cada variable, se deberá seleccionar los valores que correspondan al riesgo analizado y completar la Tabla XXXI.

Tabla XXXI: Análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

VARIABLES						
Componentes Ambientales	Aplica (Si/No)	Extensión (E)	Duración (D)	Reversibilidad (Rev)	Intensidad (I)	Relevancia Ambiental (Rel)
Calidad del Aire						
Suelo (Edafología)						
Agua Superficial						
Agua Subterránea						
Flora y Fauna						

La segunda columna de la Tabla XXXI permite indicar cuáles son los factores ambientales que aplican al riesgo analizado, es decir seleccionar aquellos que podrían ser afectados durante la operación de la instalación.

Una vez completada cada una de las filas de acuerdo a los criterios para cada una de las componentes ambientales, se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$SCmd' = E + D + Rev + I + Rel$$

Finalmente, para la determinación de la Severidad de las Consecuencias en el medio ambiente, se deberá seleccionar el valor mayor de los resultados obtenidos de la Tabla XXXI para cada componente ambiental.

- **Determinación del Nivel de Severidad de las consecuencias al Medio Ambiente (SCma)**

Una vez analizada la severidad de las consecuencias al medio ambiente se procederá a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$SCma = SCmd'$$

Finalmente, el resultado cuantitativo será convertido a una estimación cualitativa, mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la tabla XXXII

Tabla XXXII: Nivel de Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

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

4.3.3.4.3. Nivel de Riesgo

Una vez establecida la Probabilidad de ocurrencia del hecho y la Severidad de sus consecuencias, tanto para las personas como para el medio ambiente, es factible evaluar efectivamente el riesgo de la respectiva instalación utilizando para ello una matriz de riesgos como la que se muestra en la Figura 54.

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

Figura 54: Matriz de evaluación de riesgos. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

La matriz de riesgo consiste en una tabla de doble entrada de 5x5 cuyo resultado expresa el nivel de riesgo en un rango de cuatro niveles desde “Bajo” hasta “Muy Alto”.

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

Este proceso se debe realizar tanto para los resultados de severidad obtenida para las personas y para el medio ambiente, de modo que se tendrán dos niveles de riesgos, uno para las personas y otro para el medio ambiente. Por tanto, el nivel de riesgos, tanto para las personas, como para el medio ambiente se obtendrá aplicando las siguientes fórmulas:

- a) Nivel de Riesgo para las Personas

$$R_p = P \cdot SC_p$$

- b) Nivel de Riesgo para el Medio Ambiente

$$R_{ma} = P \cdot SC_{ma}$$

4.3.3.5. Valoración de los Riesgos

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

Conforme a la metodología de valoración de riesgos propuesta, se considerarán como riesgos significativos todos aquellos que en su evaluación de cómo resultante un nivel de riesgos medio a alto, por lo que deberán ser objeto de medidas de control específicas, ya sea que incidan sobre la probabilidad de ocurrencia, la severidad de las consecuencias o ambas a la vez. En caso de que el valor resultante sea bajo, el riesgo se entenderá como No Significativo. En la Figura 55 se visualiza las áreas específicas donde se considerarán los riesgos significativos y no significativos.

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

Figura 55: Establecimiento de la significancia del riesgo. (Fuente: SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014)

Para facilitar la aplicación del análisis y valoración de los riesgos, se deben llenar las planillas del ANEXO 9, donde para cada riesgo identificado en la instalación minera, se consideran para su aplicación, los criterios de probabilidad de ocurrencia del hecho y severidad de las consecuencias, tanto para las personas, como para el medio ambiente, y así de esta forma obtener la valoración correspondiente, respecto de si los riesgos evaluados son significativos.

Finalmente, el resultado del proceso será una lista de riesgos con su respectivo nivel y significancia en base al modelo presentado en la Tabla XXXIII

Tabla XXXIII: Modelo de tabla resumen del proceso de evaluación de Riesgos. (Fuente: Elaboración Propia)

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
RL1	RL1.P	A las personas por falla de talud a causa de un sismo	Bajo	No Significativo

4.3.3.6. Tratamiento de los Riesgos

Como indica el esquema metodológico de la Figura 45, si el riesgo resultante del análisis presenta un nivel significativo, se requiere realizar un Tratamiento del Riesgo con la finalidad de asegurar la estabilidad física y química de la instalación.

En estos casos, se tendrán que incorporar nuevas medidas de acuerdo al avance tecnológico existente, para lograr que la valoración de los riesgos se mantenga en niveles no significativos. En este mismo sentido, dado que la probabilidad de ocurrencia está determinada también por factores técnicos de operación, podrá conjuntamente disponer de los ajustes operacionales necesarios para llevar el riesgo a un nivel aceptable para operación de la instalación.

Por lo tanto, para todos aquellos riesgos calificados como “significativos” se deben proponer las medidas de control bajo el concepto ALARP⁷; por lo cual su implementación en el mediano plazo no debería infringir más costos de lo que pudiese generar la consecuencia de uno de los eventos analizados.

Las medidas propuestas deben tabularse en base al modelo presentado en la Tabla XXXIV, donde se debe incluir la jerarquía de la medida propuesta (Evitar, Reducir, Transferir o Asumir el riesgo)

⁷ "As Low As Reasonably Practicable", (en español, "tan bajo como sea razonablemente factible")

Tabla XXXIV: Medidas de Control propuestas para los riesgos significativos. (Fuente: Elaboración Propia)

Identificación		Medidas de Control				
Riesgo	Causa	Jerarquía	Descripción de la medida sugerida	Evidencia Documentada que debe existir	Responsable	Fecha programada de implementación

4.3.3.7. Monitoreo y Revisión

Finalmente será necesario monitorear continuamente los riesgos y la efectividad del plan de tratamiento, con el fin de asegurar que las circunstancias cambiantes (marco de referencia) no alteren las valoraciones de los riesgos.

El seguimiento deberá realizarse por lo menos una vez en el semestre o cuando haya algún cambio tecnológico u operativo de importancia. Como referencia se deberá utilizar la Tabla XXXV

Tabla XXXV: Seguimiento y revisión de gestión de riesgos. (Fuente: Elaboración Propia)

Monitoreo y Revisión						
Fecha de Seguimiento	¿Hay cambios en el marco de referencia?	Descripción de cambios	Estado de las medidas de control	¿Es necesario realizar cambios en la herramienta?	Descripción de cambios	Observación

4.4. Aplicar la herramienta en el Área de Lixiviación, en Planta San Lorenzo, de Compañía Minera San Gerónimo.

Siguiendo el esquema metodológico presentado en la Figura 45, una vez identificada la instalación minera a ser evaluada, se debe proceder a la identificación de los riesgos. La identificación de las instalaciones mineras a evaluar se presenta en la Tabla XIV, mientras que la identificación de los riesgos asociada a cada una de las instalaciones mineras identificadas, se presenta en las Tablas XV a XVIII.

Posteriormente se debe realizar el análisis y valoración de los riesgos, para ello, tal como se indicó en el apartado 4.3.3.5, se disponía de planillas en formato digital, las cuales debían completarse y se entregaría el resultado, indicando en nivel y significancia del riesgo evaluado. En el **ANEXO 10** se presentan las planillas asociadas a cada una de las instalaciones con sus respectivos riesgos evaluados. En las siguientes tablas, se presenta el resultado final de cada una de ellas:

Tabla XXXVI: Resultado del Análisis y Valoración de Riesgos para Depósito de Ripios de Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
RL1	RL1.P	A las personas por falla de talud a causa de un sismo	MEDIO	Significativo
	RL1.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de un sismo	MEDIO	Significativo
RL2	RL2.P	A las personas por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
	RL2.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
RL3	RL3.P	A las personas por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	BAJO	No Significativo
	RL3.MA	Al Medio Ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas.	MEDIO	Significativo

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
RL4	RL4.P	A las personas por contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento	BAJO	No Significativo
	RL4.MA	Al Medio Ambiente por contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento	BAJO	No Significativo

Tabla XXXVII: Resultado del Análisis y Valoración de Riesgos para Pilas de Lixiviación. (Fuente: Elaboración Propia)

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
PL1	PL1.P	A las personas por falla de talud a causa de un sismo	BAJO	No Significativo
	PL1.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de un sismo	BAJO	No Significativo
PL2	PL2.P	A las personas por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
	PL2.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
PL3	PL3.P	A las personas por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	BAJO	No Significativo
	PL3.MA	Al Medio Ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas	MEDIO	Significativo
PL4	PL4.P	A las personas por contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento	BAJO	No Significativo
	PL4.MA	Al Medio Ambiente por contaminación atmosférica por material particulado suspendido a causa de viento	BAJO	No Significativo

Tabla XXXVIII: Resultado del Análisis y Valoración de los Riesgos para Piscinas de Almacenamiento de Soluciones. (Fuente: Elaboración Propia)

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
PA1	PA1.P	A las personas por falla de talud a causa de un sismo	MEDIO	Significativo
	PA1.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de un sismo	BAJO	No Significativo
PA2	PA2.P	A las personas por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
	PA2.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
PA3	PA3.P	A las personas por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras	MEDIO	Significativo
	PA3.MA	Al Medio Ambiente por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras	MEDIO	Significativo
PA4	PA4.P	A las personas por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo	MEDIO	Significativo
	PA4.MA	Al Medio Ambiente por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo	MEDIO	Significativo
PA5	PA5.P	A las personas por liberación de soluciones ácidas a causa de crecida/inundación.	BAJO	No Significativo
	PA5.MA	Al Medio Ambiente por liberación de soluciones ácidas a causa de crecida/inundación	BAJO	No Significativo
PA6	PA6.P	A las personas por contaminación de aguas subterráneas a causa de infiltración de soluciones ácidas	BAJO	No Significativo
	PA6.MA	Al Medio Ambiente por contaminación de aguas subterráneas a causa de infiltración de soluciones ácidas	BAJO	No Significativo

Tabla XXXIX: Resultado Análisis y Valoración de los Riesgos para Obras Lineales. (Fuente: Elaboración Propia)

REGISTRO	RIESGOS		NIVEL	SIGNIFICANCIA
OL1	OL1.P	A las personas por liberación de soluciones a causa de un sismo	BAJO	No Significativo
	OL1.MA	Al Medio Ambiente por liberación de soluciones a causa de un sismo	BAJO	No Significativo
OL2	OL2.P	A las personas por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
	OL2.MA	Al Medio Ambiente por falla de talud a causa de erosión hídrica	BAJO	No Significativo
OL3	OL3.P	A las personas por contaminación de aguas subterráneas a causa de infiltración de soluciones ácidas	BAJO	No Significativo
	OL3.MA	Al Medio Ambiente por muerte por contaminación de aguas subterráneas a causa de infiltración de soluciones ácidas	BAJO	No Significativo

Posterior a al análisis y valoración de los riesgos, es necesario evaluar la significancia de los riesgos, ya que en base al esquema de la Figura 45, se debe aplicar tratamiento del riesgo para aquellos que fueron calificados como “significativos”. En la Tabla XL se presentan los riesgos significativos asociados a cada una de las instalaciones evaluadas:

Tabla XL: Riesgos significativos asociados a cada una de las instalaciones. (Fuente: Elaboración Propia)

Registro	Instalación	Riesgo	
RL	Depósito de Ripios de Lixiviación	RL1.P	A las personas por falla en el talud a causa de un sismo
		RL1.MA	Al Medio Ambiente por falla en el talud a causa de un sismo
		RL3.MA	Al Medio Ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas.
PL	Pilas de Lixiviación	PL3.MA	Al Medio Ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas

Registro	Instalación	Riesgo	
PA	Piscinas de Almacenamiento de Soluciones	PA1.P	A las personas por falla de talud a causa de un sismo
		PA3.P	A las personas por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras
		PA3.MA	Al Medio Ambiente por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras
		PA4.P	A las personas por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo
		PA4.MA	Al Medio Ambiente por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo
OL	Obras Lineales	-	No presenta

En base a la información anterior, en la Tabla XLI se presentan las medidas de control propuestas para cada uno de los riesgos identificados anteriormente

Tabla XLI: Medidas de control propuestas para riesgos significativos. (Fuente: Elaboración Propia)

Identificación			Medidas de Control				
Instalación	Riesgo	Causa	Jerarquía	Descripción de la medida sugerida	Evidencia Documentada que debe existir	Responsable	Fecha programada de implementación
RL	A las personas por falla en el talud.	Sismo	Evitar	1.Compactación del material conformante del depósito 2.Implementar sistemas de piezómetros para evaluar nivel freático en base del depósito	Registros operacionales de compactación y niveles freáticos del depósito.	Jefe de Operaciones Planta	Junio 2016
	Al Medio Ambiente por falla en el talud.	Sismo	Evitar	1. Compactación del material conformante del depósito 2.Implementar sistemas de piezómetros para evaluar nivel freático en base del depósito	Registros operacionales de compactación y niveles freáticos del depósito.	Jefe de Operaciones Planta	Junio 2016
	Al Medio Ambiente por contaminación de agua subterránea.	Lluvia	Reducir	Establecer con los servicios públicos y la comunidad un plan de contingencias frente a una eventual contaminación del acuífero.	Contrato o acuerdo escrito entre la empresa y la comunidad respecto al plan de contingencias.	Gerente de Operaciones	Diciembre 2016
PL	Al Medio Ambiente por contaminación de agua subterránea	Lluvia	Evitar	1. Mejorar sistemas de impermeabilización de detección de fugas. 2.Implementar procesos de lavado y re-manejo en pilas.	<ul style="list-style-type: none"> • Certificado de calidad de impermeabilización. • Registros operacionales de procesos de lavado y re-manejo de pilas 	Jefe de Operaciones Planta	Diciembre 2016
PA	A las personas por falla de talud	Sismo	Evitar	1. Reforzamiento de los taludes de las piscinas 2. Implementar sistemas de piezómetros o testigos de fuga para evaluar nivel freático en base de las piscinas	Registros operacionales de reforzamiento y niveles freáticos del depósito.	Jefe de Operaciones Planta	Diciembre 2016
	A las personas por muerte por inmersión.	Ausencia de barreras duras	Evitar	Mejoramiento cierre perimetral de piscinas de almacenamiento.	Registro mejoras a cierres perimetrales	Jefe de Operaciones	Junio 2016

Identificación			Medidas de Control				
Instalación	Riesgo	Causa	Jerarquía	Descripción de la medida sugerida	Evidencia Documentada que debe existir	Responsable	Fecha programada de implementación
	Al Medio Ambiente por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras	Ausencia de barreras duras	Evitar	Mejoramiento cierre perimetral de piscinas de almacenamiento.	Registro mejoras a cierres perimetrales	Jefe de Operaciones	Junio 2016
	A las personas por liberación de soluciones ácidas.	Sismo	Evitar	1.Reforzamiento de los taludes de las piscinas 2.Implementar sistemas de piezómetros o testigos de fuga para evaluar nivel freático en base de las piscinas	Registros operacionales de reforzamiento y niveles freáticos del depósito.	Jefe de Operaciones	Junio 2016
	Al Medio Ambiente por liberación de soluciones ácidas.	Sismo	Evitar	1.Reforzamiento de los taludes de las piscinas 2.Implementar sistemas de piezómetros o testigos de fuga para evaluar nivel freático en base de las piscinas	Registros operacionales de reforzamiento y niveles freáticos del depósito.	Jefe de Operaciones	Junio 2016

Para efectos de esta herramienta, todos aquellos riesgos evaluados como “no significativos”, se entenderán como tolerables y por ende su tratamiento estará asociado a asumir el riesgo por parte de la empresa.

V. DISCUSIÓN

5.1. Del marco de aplicación de la herramienta

5.1.1. De la Accidentabilidad Laboral

A lo largo de los años, la minería ha integrado la seguridad como una prioridad tan importante como la productividad en sus operaciones (Salas, 2006). Reflejo de esto es que su tasa de accidentabilidad es la más baja dentro de las actividades económicas del país, una tendencia que mejora en cada ejercicio. El año 2015, la tasa de frecuencia de accidentes alcanzó a 2,06 sin embargo, no se ha logrado concretar la “cero fatalidad”, por lo que todavía existen esfuerzos por parte de la Autoridad para llegar a esta meta.

Dentro de las instalaciones mineras, las Plantas de Beneficio presentan la segunda mayoría, en términos de trabajadores fallecidos, debido a la multiplicidad de riesgos existentes en ella. Considerando que la herramienta se aplicó en una planta de lixiviación en pila, ésta se posiciona en un contexto complejo dentro del ámbito de la seguridad minera, en el sentido de que la aspiración de toda empresa es alcanzar altos estándares de seguridad, con el fin de alcanzar el objetivo que es la no existencia de accidentes laborales, específicamente los fatales. Debido a lo anterior, todos los cambios normativos y, por ende, las restricciones y obligaciones irán enfocados en ese sentido.

5.1.2. De las Nuevas Normativas e Institucionalidad Ambiental

La segunda mitad del siglo XX y principios del siglo XXI vio un rápido desarrollo en la toma de conciencia de los científicos, los líderes políticos y el público en general, sobre la importancia y complejidad de los problemas ambientales (Craig, *et.al.*, 2007). Lo anterior se materializó en Chile con la modernización de la hasta el 2010, ineficiente institucionalidad ambiental existente, la cual fortaleció el poder del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, a través de la creación del Servicio de Evaluación Ambiental, y el hasta entonces desconocido marco fiscalizador ambiental, a través de la creación de la Superintendencia del Medio Ambiente. Estas

modificaciones fortalecieron de una manera significativa la temática ambiental en las empresas, por lo que la herramienta propuesta se convierte en un respaldo estratégico importante, en términos de gestionar adecuadamente los riesgos asociados a los aspectos ambientales de la Planta.

Por otro lado, la inexistencia de indicadores estadísticos en Chile de accidentabilidad ambiental, complejizaron la comparación de la gestión ambiental de la empresa evaluada con estándares nacionales fijados para tales términos, por lo que sólo se pudo establecer su interpretación a nivel referencial.

5.1.3. De la Gestión de Riesgos e ISO 31.000, Of. 2009

Todas las actividades de una organización implican riesgos. Las organizaciones gestionan el riesgo identificándolo, analizándolo y evaluando después si el riesgo debería modificarse mediante un tratamiento que satisfaga sus criterios de riesgo. A lo largo de todo este proceso, las organizaciones comunican y consultan a las partes interesadas y realizan monitoreo y revisan el riesgo y los controles que lo modifican para asegurar que no es necesario un tratamiento adicional del riesgo (INN, 2012).

La gestión del riesgo se puede aplicar a la totalidad de una organización, a todas sus áreas y niveles principales, en todo momento, así como a las funciones, proyectos y las actividades específicas (Aenor, 2011).

Aunque la práctica de la gestión del riesgo se ha desarrollado a lo largo del tiempo y en numerosos sectores con objeto de satisfacer diversas necesidades, la adopción de procesos coherentes dentro de un marco de trabajo exhaustivo puede contribuir a asegurar que el riesgo se gestiona de una manera eficaz, eficiente y coherente a través de la organización (INN, 2012).

La ISO 31000 fue creada para ayudar a las organizaciones evaluar, implementar y aplicar estrategias efectivas de gestión de riesgos. Además, proporciona directrices para supervisar de forma proactiva, identificar, analizar y abordar los riesgos en toda la organización, y para ayudar a garantizar iniciativas de gestión de riesgos están estructuradas, transparentes y dinámicas para el cambio (Aenor, 2011).

El enfoque genérico que se describe en la norma ISO 31.000, Of. 2009 proporciona los principios y las orientaciones para gestionar cualquier forma de riesgo de una manera sistémica,

transparente y fiable, dentro de cualquier alcance y de cualquier contexto. Además, esta norma describe este proceso lógico y sistémico de identificación, análisis y evaluación del riesgo de forma integral, así como el tratamiento de aquellos que no cumplan con las condiciones definidas por la organización.

Por lo tanto, dicha norma entregó los parámetros necesarios para la base de la herramienta desarrollada, ya que contiene los elementos básicos a considerar para la gestión del riesgo, de manera ordenada, coherente y sistemática, además de considerar los elementos del contexto, ya sea interno o externo, que influyen en su aplicabilidad.

5.1.4. Del Análisis Interno

En general, Compañía Minera San Gerónimo, es una empresa de la mediana minería que, a lo largo de los años, ha mejorado sustancialmente sus estándares de ambientales y de seguridad. Lo anterior queda demostrado en la sostenible baja en la tasa de accidentabilidad laboral, así como en el índice de incidentabilidad ambiental, de cuyo análisis puede establecerse un desarrollo progresivo en su gestión en ambas temáticas. Como toda empresa minera no está exenta de problemas y éstos se asocian principalmente a problemáticas generadas por los materiales que entran en contacto con soluciones corrosivas, que progresivamente los desgastan y los dañan generando problemas operacionales.

La Evaluación de Impacto Ambiental de un proyecto concluye con una Resolución de Calificación Ambiental que puede ser de aprobación o rechazo. (RCA Favorable o Desfavorable) En caso favorable, las condiciones que se impongan, serán de cumplimiento obligatorio: desarrollo de la función de seguimiento y fiscalización. En caso de rechazo, el proyecto o actividad no puede ejecutarse en tanto su calificación no sea favorable: facultad de reingreso. Por lo tanto, la RCA es una autorización que entrega el Servicio de Evaluación Ambiental, SEA, y a la vez un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación, del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) (GRN, 2016).

En base a lo anteriormente mencionado, la empresa lleva a cabo su operación en la Planta San Lorenzo en el marco de una licencia ambiental, cuya aprobación se ve reflejada en la obtención

de Resolución de Calificación Ambiental para el funcionamiento del último proyecto que se está llevando a cabo hasta el día de hoy.

5.1.5. De los Aspectos Financieros, Competitivos, Corporativos, Sociales y Organizacionales.

Compañía Minera San Gerónimo es una empresa de la mediana minería y se encuentra estratégicamente ubicada en la Región de Coquimbo, cerca de algunas de las minas de cobre más grandes del mundo. Es privilegiada en su ubicación, al encontrarse todas sus operaciones a escasos kilómetros de la Carretera Panamericana, del centro de la ciudad de La Serena, del Aeropuerto Internacional y Puerto de Coquimbo. Tiene sus operaciones en la Región de Coquimbo, posee tres divisiones productivas, cada una conformada por un complejo de minas y planta.

En términos generales, posee una estructura jerárquica vertical típica de las organizaciones y posee áreas estratégicas que apoyan la gestión de las operaciones, entre ellas se cuenta el área de medio ambiente y el área de seguridad. Además, posee directrices para el funcionamiento de éstas, en base a una políticas, misión, visión y valores corporativos.

Además de lo anterior y al estar inserta cercana a áreas pobladas de la región de Coquimbo, es que ha desarrollado una estrategia comunitaria, con el fin de apoyar el desarrollo de comunidades que antiguamente no lo tenían. Para ello cuenta con un equipo de profesionales que constantemente realizan labores de ayuda y vinculación entre la empresa y los pobladores de los distintos asentamientos cercanos a los centros operacionales más importantes de la empresa.

5.1.6. De los Aspectos legales

En la Minería la base del funcionamiento es el cumplimiento de la normativa del país en el que desarrolla sus actividades. Sin un cumplimiento satisfactorio de la normativa atinente, una faena minera no tendría la autorización de operar por parte de la autoridad encargada, en este caso SERNAGEOMIN; por no cumplir con los requerimientos mínimos respecto a seguridad y medio ambiente (SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014).

En Chile, existe un amplio listado de cuerpos legales para el sector minería; pero sin lugar a dudas la normativa de mayor relevancia en el tema de seguridad minera es el Decreto Supremo N° 132/2002, reglamento que establece las condiciones de seguridad que se debe seguir para el diseño y operación de una mina y sus respectivas faenas.

En términos generales la Planta San Lorenzo presenta un estado de cumplimiento alto de las normativas aplicables al proceso de Lixiviación, donde se aplicó la herramienta, esto se vio reflejado posteriormente en la aplicación de la herramienta, donde la mayoría de los riesgos relacionados con seguridad presentaban un estado de cumplimiento satisfactorio.

5.1.7. Del Contexto Operacional

La lixiviación en pilas es el método hidrometalúrgico más importante en la extracción de cobre. El mineral de cobre es apilado, en alturas que usualmente superan los 7 metros, con áreas superficiales que van desde 0,1 a 1 km². El lixivante que contiene H₂SO₄ es aplicado en la superficie de la pila, desde donde percola a través del lecho mineral, disolviendo los minerales de cobre, para producir una solución enriquecida de cobre o PLS, que es colectada en una superficie inclinada e impermeable que se encuentra debajo de la pila, para ser transportada por medio de tuberías hasta la poza de soluciones ricas, y posteriormente a los circuitos de extracción por solventes y electro-obtención (Davenport, *et.al*, 2011).

Es un proceso complejo donde existen innumerables variables fisicoquímicas que influyen en su correcta operatividad y eficiencia, por lo que es importante establecer previamente todos los parámetros necesarios para su funcionamiento, incluyendo aquellos relacionados con temáticas de seguridad y medio ambiente.

En base a lo anteriormente mencionado, la naturaleza de los procesos asociados a la lixiviación que se realizan en Planta San Lorenzo implican riesgo que deben identificarse y evaluarse para implementar las medidas que eviten la materialización de los mismos o minimicen sus consecuencias.

Dentro del análisis del área de lixiviación en Planta San Lorenzo, se pudieron identificar 4 instalaciones importantes: Pilas dinámicas, piscinas de almacenamiento de soluciones, depósito de rípios de lixiviación y obras lineales asociadas a la conducción de soluciones obtenidas del proceso.

Dentro de cada instalación se identificaron actividades y tareas, que sirvieron como base para el desarrollo de la herramienta de gestión propuesta.

5.2. De las Variables Operacionales críticas desde el punto de vista ambiental y de seguridad

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas. Por lo tanto, optimizar la concentración de ácido se convierte en un ejercicio necesario para disminuir el consumo de ácido, porque generalmente, es el reactivo de mayor costo. Si la concentración de ácido es inferior a la óptima, se estará comprometiendo la recuperación de cobre, mientras que un incremento de la concentración de ácido en las soluciones lixiviantes permite alcanzar mayores recuperaciones de cobre, aunque también se produce un elevado consumo de ácido (Davenport, *et.al*, 2011).

Debido a que una de las variables fundamentales de la lixiviación está asociada a la presencia de ácido sulfúrico y soluciones ácidas en todas sus instalaciones, es que se convierte en una actividad riesgosa. Lo anterior queda demostrado en la matriz de evaluación de riesgos laborales, donde quedó establecido que la mayoría de los riesgos presenta algún grado de criticidad y entre ellos el más importante está asociado al manejo de sustancias químicas peligrosas.

Por otro lado, en términos ambientales se presenta una planta con sus aspectos ambientales controlados. Lo anterior queda demostrado en la matriz de evaluación de aspectos ambientales, donde la mayoría de los evaluados presenta un grado de impacto moderado. Sin embargo, la mayoría de los aspectos que presentan un grado de impacto alto y significativo están asociados al área de lixiviación y específicamente, al derrame y manejo de sustancias peligrosas (ácido sulfúrico y soluciones ácidas), sobre todo considerando que la Planta se encuentra emplazada cerca de un acuífero que alimenta aguas abajo, a distintos poblados.

El análisis de ambas matrices de evaluación permitió establecer que las variables asociadas al manejo de soluciones ácidas fueron las más importantes para el desarrollo herramienta propuesta.

5.3. De la Herramienta para la gestión de riesgos laborales y ambientales basada en la norma ISO 31.000, Of. 2009

5.3.1. De la Selección de las técnicas a utilizar de la norma ISO 31.000, Of. 2009

La evaluación del riesgo se puede realizar con diferentes grados de profundidad y de detalle, y utilizando uno o varios métodos que varían desde simples a complejos. La forma de la evaluación y de sus resultados debe ser consecuente con los criterios de riesgo desarrollados como parte del establecimiento del contexto (INN, 2013).

En efecto, uno de los pilares fundamentales del proceso de gestión del riesgo es la evaluación del riesgo, que considera la identificación, análisis y valoración de los riesgos. Por esta razón este fue el primer criterio considerado para seleccionar la técnica de la norma ISO 31.000, Of. 2009 más idónea para la herramienta propuesta.

En la selección de un enfoque para la evaluación del riesgo, influyen diversos factores, tales como la disponibilidad de recursos, la naturaleza y el grado de incertidumbre de los datos, y la complejidad de la aplicación (INN, 2013).

En efecto, cada uno de estos factores son importantes al momento de seleccionar la técnica adecuada para la gestión del riesgo, ya que, de acuerdo a la naturaleza de la empresa evaluada, la disponibilidad de recursos era limitada, existe un grado de incertidumbre, debido a los constantes cambios operacionales que se realizan, situación típica para este tipo de industrias, así como los constantes cambios externos, principalmente asociados a la volatilidad del precio del cobre y al cambio de los estándares normativos en seguridad y gestión ambiental minera; y finalmente la complejidad, en el sentido de que cada decisión que se tome, respecto del tratamiento de algún riesgo en lixiviación, afectará a otros procesos dentro de la Planta. Por esta razón el análisis de los 3 factores antedichos fue el segundo criterio de selección para la técnica más idónea para la herramienta propuesta.

El análisis de modos y efectos de fallas (FMECA) es una técnica que se utiliza para identificar las vías por las que los componentes, sistemas o procesos pueden dejar de cumplir con su intención de diseño. Normalmente, el análisis de criticidad es de tipo cualitativo o semicuantitativo, pero se puede cuantificar mediante la aplicación de estimaciones de falla reales.

Se pueden aplicar durante el diseño, la fabricación o el funcionamiento de un sistema físico. (Aenor, 2011).

Los análisis FMECA necesitan información acerca de los elementos del sistema con detalle suficiente para el análisis significativo de las vías en que cada elemento puede fallar (INN, 2013).

En efecto, la técnica FMECA proporcionó los lineamientos básicos necesarios para el desarrollo de la herramienta propuesta, ya que se consideró un análisis de cada una de las instalaciones asociadas al área de lixiviación, los riesgos asociados a su operación y cómo estos podían provocar “fallas”, en términos de consecuencias negativas para las personas y el medio ambiente. Del análisis anteriormente mencionado se pudo visualizar que los eventos naturales, así como los factores técnicos de la operación, eran factores fundamentales a considerar para el correcto desarrollo y posterior funcionamiento de la herramienta.

5.3.2. De los Referentes de la gestión minera a utilizar

La evaluación de riesgos será un proceso iterativo durante todo el ciclo de vida de la faena, teniendo como escenario la condición en que las instalaciones quedarán luego de finalizar las operaciones mineras y considerando que las obras propias de la etapa de cierre ya han sido implementadas en tiempo y forma. La empresa deberá realizar una evaluación de riesgos, como requisito para el plan de cierre, y se deberá ir actualizando conforme el proyecto minero va avanzando en su desarrollo. La metodología propuesta en esta Guía permitirá que la empresa minera presente al Servicio, para su revisión, los niveles de riesgo resultantes de su evaluación, considerando tanto las medidas de cierre propuestas en el diseño aprobado como posibles nuevas medidas y adecuaciones para el control de sus riesgos (SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014).

En efecto, el referente de la gestión minera utilizado es una herramienta metodológica asociada a la evaluación de riesgos para el cierre de las Faenas Mineras, la cual está basada en los parámetros presentados en la ISO 31.000, Of. 2009. Si bien la misma guía establece que la herramienta solo debe utilizarse para la fase de cierre de un proyecto, sin embargo, al estar basada en la norma antedicha y considerando el carácter general de su aplicabilidad, permite que, haciendo unas modificaciones a sus parámetros constituyentes, sea aplicable al proceso de operación minera. Dichas modificaciones estuvieron asociadas a la eliminación de los criterios asociados a la

implementación de las medidas de cierre y el cambio en el sentido de evaluación asociado a la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias de los riesgos analizados.

5.3.3. De la herramienta de gestión de riesgos laborales y ambientales en Planta San Lorenzo

En general, las evaluaciones de riesgo en la industria minera en Chile han tenido como concepto de partida que el riesgo es el resultado de la relación entre la probabilidad y la consecuencia. Lo anterior, procede originalmente a lo establecido en la ISO/IEC Guide 73 que define el Riesgo como: “Combinación de la probabilidad de un suceso y su consecuencia”, aun cuando no es una norma específica para la minería (SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014).

Actualmente, en la industria minera chilena, la metodología que suele emplearse en líneas generales consiste en la formulación de planillas o matrices donde se selecciona el nivel de probabilidad del evento analizado y sus consecuencias en función de criterios cualitativos o semi cualitativos. Los criterios dependerán de la tolerancia al riesgo que cada evaluador decide aceptar y, por tanto, se ha tendido a que cada empresa minera formule una matriz de evaluación de riesgos de acuerdo a su conveniencia (SERNAGEOMIN y Golder Associates S.A., 2008).

La herramienta propuesta consideró elementos propios asociados al proceso integral de evaluación de riesgos: identificación, análisis y valoración de los riesgos. En ella además se establece que el riesgo se obtiene a través de la combinación de la probabilidad y la severidad de las consecuencias, cumpliendo así con lo establecido en la ISO/IEC Guide 73, respecto a la definición técnica del concepto de riesgo. Junto con lo anterior, los criterios de probabilidad y severidad se plasmaron en una planilla, en base a matrices de evaluación que facilitó su aplicación en el área definida.

El éxito de la gestión del riesgo dependerá de la eficacia del marco de trabajo de gestión que proporcione las bases y las disposiciones que permitirán su integración a todos los niveles de la organización. El marco de trabajo facilita una gestión eficaz del riesgo mediante la aplicación del proceso de gestión del riesgo a diferentes niveles y dentro de contextos específicos de la organización. El marco de trabajo asegura que la información sobre el riesgo obtenida de este proceso de gestión del riesgo se comunica y utiliza adecuadamente como una base para la toma de

decisiones y la obligación de rendir cuentas en todos los niveles pertinentes de la organización (INN, 2013).

La herramienta propuesta considera la definición del marco de trabajo para establecer aquellos elementos del contexto interno y externo que puedan influir en su estructura. Éste debe establecerse cada vez que exista algún cambio interno o externo importante y, de esta forma, evaluar un posible cambio en alguno de los parámetros de evaluación. Para el caso del presente trabajo se definió el marco de trabajo con el cual se desarrolló la herramienta, el cual servirá de base para futuras aplicaciones, si así se considera necesario.

Según lo establece la normativa, el análisis de riesgos debe desarrollarse para todas las instalaciones que componen una faena minera (SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014).

La herramienta propuesta considera como punto de partida, la identificación de instalaciones mineras, con el fin de considerar sus particularidades y características más importantes en su desarrollo.

La identificación del riesgo es el proceso con el que se descubren, reconocen y registran los riesgos. El propósito es identificar qué puede pasar o qué situaciones se pueden presentar que pueden afectar el logro de los objetivos del sistema o de la organización. Además, incluye la identificación de las causas y del origen del riesgo (peligro en el contexto de los daños físicos), eventos, situaciones o circunstancias que podrían tener un impacto material sobre los objetivos y la naturaleza del impacto (INN, 2013).

La herramienta desarrollada presenta riesgos típicos identificados para cada una de las instalaciones asociadas al área de lixiviación, sin perjuicio que el evaluador pueda considerar otros riesgos que no aparecen en dicha lista. Estos riesgos se describieron como situaciones que podrían ocurrir y que pudieran generar problemas para la empresa. Junto con lo anterior, se consideraron las causas principales de la existencia de esos riesgos, las cuales principalmente estuvieron asociadas a eventos naturales, como lluvias, sismos e inundaciones. Finalmente, para cada riesgo se establecieron los posibles receptores de las consecuencias asociadas a su materialización, que en este caso fueron las personas (entendidas como trabajadores o pobladores cercanos) y medio ambiente.

El análisis del riesgo consiste en desarrollar una comprensión del riesgo. Proporciona un elemento de entrada para la evaluación del riesgo y para tomar decisiones acerca de si es necesario

tratar los riesgos, y de las estrategias y los métodos de tratamiento del riesgo más apropiados. Consiste en determinar las consecuencias y sus probabilidades para eventos de riesgo identificados, teniendo en cuenta la presencia (o no) y la eficacia de todos los controles existentes. Las consecuencias y sus probabilidades se combinan después para determinar un nivel de riesgo (INN, 2013).

La herramienta propuesta consideró el análisis de los riesgos en base a la determinación de la probabilidad de ocurrencia del hecho y la severidad de las consecuencias tanto para personas, como para el medio ambiente, con el cual posteriormente se determina el nivel de riesgo asociado a cada una de las instalaciones del área de lixiviación.

El análisis de los riesgos implica la consideración de las causas y las fuentes del riesgo, sus consecuencias, y la probabilidad de que estas consecuencias puedan ocurrir. Se deberían identificar los factores que afectan a las consecuencias y a la probabilidad (Aenor, 2011).

A objeto de poder analizar la probabilidad de ocurrencia de un hecho, en el contexto de una faena minera, se han de contestar preguntas tales como ¿Cuáles son las circunstancias que generan ese hecho? ¿Cómo es posible analizar dichas circunstancias en base a la información existente o posible de generar por la empresa minera? ¿Cuáles son los elementos que se involucran en el análisis? ¿Cómo puede reproducirse este análisis y ser trazable a lo largo de la vida del proyecto hasta el momento de la etapa de Cierre? Por lo tanto, una instalación minera que puede haberse diseñado correctamente, dependerá de una adecuada construcción y posterior operación el alcanzar los objetivos de estabilidad física y química en condición de cierre. Esto es, que una instalación minera puede haberse diseñado con ciertas características y bajo condiciones de operación que, durante la vida útil no es posible alcanzar por diversas razones, en cuyo caso un buen diseño se ve necesariamente afectado por una incorrecta operación lo que podría derivar en la aparición de algún riesgo significativo (SERNAGEOMIN y Arcadis, 2014).

La herramienta propuesta considera que los elementos que influyen en la probabilidad son dos: la ocurrencia de un evento natural y los factores técnicos asociados a la correcta operación de la instalación minera analizada, una combinación de ambos, a través de un algoritmo matemático, permitió obtener la probabilidad de ocurrencia asociado a los distintos riesgos identificados. Lo anterior, ya que si bien no es posible predecir absolutamente cómo se comportará la instalación

bajo la incidencia de un evento natural una vez cerrada, sí es posible esperar que una adecuada construcción y operación asegure una mejor respuesta ante un evento determinado.

El análisis de las consecuencias determina la naturaleza y el tipo de impacto que podría ocurrir asumiendo que se ha generado un evento, situación o circunstancia particulares. Un evento puede dar lugar a una gama de impactos de diferentes magnitudes, y afectar a una gama de diferentes objetivos y diferentes partes interesadas. Los tipos de consecuencias a analizar y las partes interesadas afectadas se han tenido que decidir cuándo se estableció el contexto. El análisis puede variar desde una descripción simple de las consecuencias hasta un modelo cuantitativo detallado o un análisis de vulnerabilidad (INN, 2013).

La herramienta propuesta consideró para su análisis la severidad de las consecuencias, tanto para las personas, como para el medio ambiente, respecto de la potencialidad materialización de un hecho (riesgo). Para ello se consideraron variables que permitieron reflejar el nivel de severidad, a través de las cuales, aplicando un algoritmo matemático, se pudo obtener el nivel de severidad asociado a los distintos riesgos identificados.

La evaluación cualitativa define las consecuencias, la probabilidad y el nivel de riesgo, indicando niveles tales como alto, medio y bajo, y puede combinar las consecuencias y la probabilidad y evaluar el nivel de riesgo resultante en función de criterios cualitativos. Los métodos semicuantitativos utilizan escalas de evaluación numéricas para las consecuencias y la probabilidad, y las combinan para determinar un nivel de riesgo aplicando una fórmula. Las escalas pueden ser lineales o logarítmicas, o tener alguna otra relación; las fórmulas utilizadas también pueden variar (Aenor, 2011).

La herramienta propuesta consideró una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos. Por una parte, cada una de las variables consideradas en el nivel de severidad y probabilidad de ocurrencia de un hecho, estuvo asociada a una escala de evaluación numérica en base a criterios previamente establecidos para una adecuada decisión al momento de la implementación de la herramienta, las que posteriormente, a través de una fórmula matemática entregó los niveles de probabilidad y severidad (en términos cualitativos). Posteriormente, se utilizó una matriz de riesgos cualitativa de doble entrada que permitió combinar los niveles antedichos y así obtener el nivel de los riesgos asociados a los riesgos evaluados, tanto para las

personas, como para el medio ambiente. Dicho nivel de riesgo consideró parámetros cualitativos, desde Bajo a Muy Alto.

La valoración del riesgo implica la comparación de niveles estimados de riesgo con los criterios de riesgo definidos cuando se estableció el contexto, con objeto de determinar la importancia del nivel y tipo de riesgo. En ella se aplica el conocimiento del riesgo obtenido durante el análisis del riesgo, para tomar decisiones sobre acciones futuras. El marco de trabajo más simple para definir los criterios de riesgo es un sólo nivel que separe los riesgos que necesitan tratamiento de los que no (INN, 2013).

La herramienta propuesta consideró como tolerables para la organización aquellos riesgos que fueran calificados con niveles de riesgo bajos, por lo que aquellos calificados como medio, alto y muy alto fueron calificados como significativos y por tanto deberán ser objeto de tratamiento, a través de la implementación de medidas de control. Lo anterior se fundamenta, en que, al considerar factores técnicos operativos dentro de la probabilidad de ocurrencia del hecho, cualquier cambio que implique elevar el nivel de riesgo de bajo a medio, podría tener serias consecuencias si no se controla a tiempo, sobretodo en la actualidad donde el comportamiento de los eventos naturales no respeta ningún tipo de pronósticos y han sido constantes en el último año, sobretodo en la Región de Coquimbo.

La finalidad de los planes de tratamiento del riesgo consiste en documentar la manera en que se implantarán las opciones de tratamiento elegidas. La información proporcionada en los planes de tratamiento debería incluir lo siguiente: (a) las razones que justifican la selección de las opciones de tratamiento, incluyendo los beneficios previstos; (b) aquellos que son responsables de la aprobación del plan y aquellos responsables de la implementación del plan; (c) las acciones propuestas; (d) las necesidades de recursos, incluyendo las contingencias; (d) las medidas del desempeño y las restricciones; (e) los requisitos en materia de información y de monitoreo; y el calendario y la programación (Aenor, 2011).

La herramienta propuesta consideró implementar medidas de control para aquellos riesgos calificados como significativos, con el fin de reducir sus niveles a no significativos. Para ello se estableció considerar la identificación del riesgo, al cual se le aplicarán las medidas, la jerarquía de la medida de control a implementar, la evidencia documentada que debe existir de su cumplimiento, el responsable y la fecha programada de implementación. De esta forma, se podrá llevar un control

exhaustivo, con el fin de evaluar si se cumplen con los plazos establecidos en la etapa de monitoreo y revisión.

5.4. De la aplicación de la herramienta en el Área de Lixiviación en Planta San Lorenzo de Compañía Minera San Gerónimo

5.4.1. De la aplicación de la herramienta a la instalación Depósito de Ripios de Lixiviación (RL)

La instalación depósito de ripios de lixiviación presentó 5 riesgos calificados como no significativos y 3 calificados como significativos. Éstos últimos son: a las personas por falla en el talud a causa de un sismo, al medio ambiente por falla en el talud a causa de un sismo y al medio ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas.

El riesgo a las personas y al medio ambiente por falla en el talud a causa de un sismo fue calificado como significativo, debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia alta, debido a los últimos acontecimientos ocurridos durante el año 2015 en la región de Coquimbo, donde ocurrió un evento telúrico de magnitudes cercanas a los 8,4 Richter. Por otro lado, existen algunos factores técnicos que influyen directamente en la significancia del riesgo, como la no existencia de piezómetros para medir nivel freático que potencialmente podría originarse en el depósito, la escasa identificación del grado de saturación de colocación el material y las fallas ocasionales en los sistemas de drenaje que ha originado, en algunos casos eventos de filtraciones que han podido ser controlados a tiempo.

El riesgo al medio ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas fue calificado como significativo, debido a que, si bien el evento natural (lluvia) asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia baja, debido a los periodos de sequía y baja pluviometría a los cuales se ha visto expuesta a región de Coquimbo durante los últimos años, las consecuencias asociadas a su ocurrencia son altas. Lo anterior debido a que una eventual contaminación de las aguas subterráneas abarcaría una gran extensión de superficie, ya que el acuífero alimenta aguas debajo de la Planta a majadas y parcelas, así como también provocaría cambios parciales en la línea base del componente ambiental,

específicamente en su calidad. Además de lo anterior, debido a la importancia que tiene el agua hoy en día, debido al periodo de sequía antedicho por el que pasa la región, es que su relevancia ambiental es aceptable.

Todos los demás riesgos fueron evaluados como no significativos, debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia baja, los factores técnicos asociados a su operación son adecuados y aceptables, y además la severidad de las consecuencias fue evaluada como baja.

5.4.2. De la aplicación de la herramienta a la instalación Pilas de Lixiviación (PL)

La instalación pilas de lixiviación presentó 7 riesgos calificados como no significativos y 1 calificado como significativo. Éste último fue al medio ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas.

El riesgo al medio ambiente por contaminación de agua subterránea a causa de infiltración de soluciones ácidas fue calificado como significativo, debido a que, si bien el evento natural (lluvia) asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia baja, debido a los periodos de sequía y baja pluviometría a los cuales se ha visto expuesta a región de Coquimbo durante los últimos años, las consecuencias asociadas a su ocurrencia son altas. Lo anterior debido a que una eventual contaminación de las aguas subterráneas abarcaría una gran extensión de superficie, ya que el acuífero alimenta aguas debajo de la Planta a majadas y parcelas, así como también provocaría cambios parciales en la línea base del componente ambiental, específicamente en su calidad. Además de lo anterior, debido a la importancia que tiene el agua hoy en día, debido al periodo de sequía antedicho por el que pasa la región, es que su relevancia ambiental es aceptable.

Todos los demás riesgos fueron evaluados como no significativos, debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia baja, los factores técnicos asociados a su operación son adecuados y aceptables, y además la severidad de las consecuencias fue evaluada como baja. Se exceptúa de lo anterior, los riesgos asociados a las personas y el medio ambiente por falla en el talud a causa de un sismo, debido a que la probabilidad de ocurrencia del evento natural asociado a su posible materialización fue calificada

como alta, sin embargo, tanto los factores técnicos, como las consecuencias fueron calificadas como bajas.

5.4.3. De la aplicación de la herramienta a la instalación Piscinas de Almacenamiento de Soluciones (PA)

La instalación piscinas de almacenamiento de soluciones presentó 7 riesgos calificados como no significativos y 5 calificados como significativos. Éstos últimos son: a las personas por falla en el talud a causa de un sismo, a las personas por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras, al medio ambiente por muerte por inmersión a causa de ausencia barreras duras, a las personas por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo y al medio ambiente por muerte por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo.

El riesgo a las personas y al medio ambiente por falla en el talud a causa de un sismo fue calificado como significativo, debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia alta, debido a los últimos acontecimientos ocurridos durante el año 2015 en la región de Coquimbo, donde ocurrió un evento telúrico de magnitudes cercanas a los 8,4 Richter. Por otro lado, existen algunos factores técnicos que influyen directamente en la significancia del riesgo, como la no existencia de piezómetros para medir nivel freático que potencialmente podría originarse en las bases de las piscinas, la escasa identificación del grado de saturación de colocación el material al momento de construirlas, la presencia de grietas y deslizamientos debido a los últimos eventos telúricos y las fallas ocasionales en los sistemas de drenaje que ha originado, en algunos casos eventos de filtraciones que han podido ser controlados a tiempo.

El riesgo a las personas y el medio ambiente por muerte por inmersión a causa de ausencia de barreras duras fue calificado como significativo, debido a que, si bien no tiene un evento natural asociado a su ocurrencia, las consecuencias asociadas a su posible materialización son altas. Lo anterior se explica, ya que en el caso de las personas la consecuencia asociada es la muerte y es irrecuperable. Por otro lado, para el medio ambiente las consecuencias son irreversibles, ya que implican la muerte de fauna que potencialmente se vea afectada por la materialización del riesgo.

El riesgo a las personas y al medio ambiente por liberación de soluciones ácidas a causa de un sismo fue calificado como significativo, debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia alta, debido a los últimos acontecimientos ocurridos durante el año 2015 en la región de Coquimbo, donde ocurrió un evento telúrico de magnitudes cercanas a los 8,4 Richter. Por otro lado, existen algunos factores técnicos que influyen directamente en la significancia del riesgo, como la no existencia de piezómetros para medir nivel freático que potencialmente podría originarse en las bases de las piscinas, la escasa identificación del grado de saturación de colocación del material al momento de construirlas, la presencia de grietas y deslizamientos debido a los últimos eventos telúricos y las fallas ocasionales en los sistemas de drenaje que ha originado, en algunos casos eventos de filtraciones que han podido ser controlados a tiempo.

Todos los demás riesgos fueron evaluados como no significativos, debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia baja, los factores técnicos asociados a su operación son adecuados y aceptables, y además la severidad de las consecuencias fue evaluada como baja. Se exceptúa de los anterior los riesgos asociados a al medio ambiente por falla en el talud a causa de un sismo, debido a que la probabilidad de ocurrencia del evento natural asociado a su posible materialización fue calificada como alta, sin embargo, tanto los factores técnicos, como las consecuencias fueron calificadas como bajas.

5.4.4. De la aplicación de la herramienta a la instalación Obras Lineales (OL)

La instalación obras lineales presentó todos los riesgos calificados como no significativos. Lo anterior debido a que el evento natural asociado a su posible materialización fue evaluado con una probabilidad de ocurrencia baja, los factores técnicos asociados a su operación son adecuados y aceptables, y además la severidad de las consecuencias fue evaluada como baja. Se exceptúa de los anterior los riesgos asociados a las personas y el medio ambiente por liberación de soluciones a causa de un sismo, debido a que la probabilidad de ocurrencia del evento natural asociado a su posible materialización fue calificada como alta, sin embargo, tanto los factores técnicos, como las consecuencias fueron calificadas como bajas. Para el caso del riesgo asociado al medioambiente por contaminación de aguas subterráneas a causa de infiltración de soluciones ácidas, su

consecuencia es moderada, sin embargo, debido a que la probabilidad del evento (lluvia) es baja y los factores técnicos son aceptables, el nivel de riesgo fue calificado como bajo. Además de lo anterior hay que considerar que el volumen de solución liberada en caso de que el riesgo se materializase es sustantivamente menor al que, por ejemplo, podría liberarse desde una piscina de almacenamiento de soluciones.

5.4.5. De la aplicación de tratamiento a los riesgos significativos

En general y debido a que un evento natural no se puede controlar y por ende tampoco tratar, es que las medidas de control estuvieron asociadas a: (a) implementar mejoras operacionales y técnicas con el fin de disminuir la probabilidad de ocurrencia del riesgo asociada a los factores técnicos de operación y (b) implementar medidas asociadas a disminuir las consecuencias asociadas a la materialización del riesgo.

En base a lo antedicho, la mayoría de las medidas de control estuvieron asociadas a lo primero, es decir mejoras operacionales para disminuir la probabilidad y por lo tanto prevenir su materialización. Principalmente las medidas apuntan a la compactación del material conformante de los depósitos de ripios, implementar sistemas de control de niveles freáticos a través de piezómetros, mejoras en los sistemas de impermeabilización y detección de eventuales fugas, y reforzamiento de taludes de las piscinas de almacenamiento. Todas estas medidas se asocian a la jerarquía de tratamiento del riesgo “Evitar”.

Por otro lado, las medidas que apuntan a disminuir las consecuencias estuvieron asociadas al riesgo a las personas y el medioambiente por contaminación de aguas subterráneas, ya que su materialización, de acuerdo a la evaluación, su significancia estuvo asociada a las consecuencias del evento. Dichas medidas consideran reducir las consecuencias, tanto para las personas, como el medio ambiente al establecer con los servicios y la comunidad un plan de contingencias que permitan tomar acciones para que no exista exposición a las aguas contaminadas, hasta que se pueda controlar y subsanar el evento de contaminación.

Cada una de las medidas propuestas considera la evidencia documentada que debe existir en la empresa, el responsable de su implementación y la fecha programada, que, a juicio del

evaluador, deben implementarse. Lo anterior permitirá que la etapa de monitoreo y revisión se lleve a cabo con mayor facilidad y de manera eficiente.

VI. CONCLUSIÓN

6.1. Establecer el marco adecuado de la aplicación de la herramienta es un paso fundamental, ya que de esta forma se obtendrán los lineamientos sobre los cuales la herramienta debe trabajar.

6.1.1. La herramienta propuesta se inserta dentro de un marco cada vez más complejo en el ámbito de la seguridad, debido a los constantes cambios en la legislación asociada a los procesos mineros, así como las exigencias solicitadas por los servicios públicos que fiscalizan las operaciones de la Planta. Si bien Compañía Minera San Gerónimo se encuentra en un buen pie en esta temática, la herramienta será un apoyo adicional a la gestión preventiva y permitirá establecer controles periódicos con el fin de evitar la materialización de los riesgos.

6.1.2. Por otro lado, la herramienta se inserta en un marco complejo y de altas exigencias en temáticas ambientales, sobre todo en lo asociado a la fiscalización ambiental, por lo que cualquier evento que implique algún impacto ambiental, será objeto de problemas con la comunidad y con las autoridades ambientales que generara un menoscabo importante en términos de multas o un eventual cierre de las operaciones de la Planta. En este sentido, la herramienta es una herramienta de gestión que facilita la evaluación y el control de los aspectos ambientales más críticos que son y serán siempre los asociados a una eventual contaminación del acuífero de la Quebrada Santa Gracia producto de filtraciones de soluciones ácidas.

6.2. Del análisis elaborado en el presente trabajo se pudo establecer que las variables más importantes, tanto para la seguridad, como para el medio ambiente están asociadas al manejo de sustancias peligrosas, en este caso específico el ácido sulfúrico y las soluciones ácidas, por lo que se estableció como un parámetro transversal dentro de todo el desarrollo de la herramienta.

6.3.La herramienta para la gestión integral de los riesgos laborales y ambientales propuesta consideró elementos propios del proceso de gestión integral del riesgo, ordenados y sistematizados por la norma ISO 31.000, Of.2009, a través de la técnica FMECA, junto elementos asociados a estándares que ya se están aplicando en el ámbito del cierre de faenas mineras, por lo que su aplicabilidad fue eficiente y los resultados obtenidos son acordes a la realidad de la empresa, así como también monitoreables y trazables en el tiempo. La adaptación de dichos elementos requirió un conocimiento acabado de las variables operacionales asociadas a las distintas instalaciones del área de lixiviación y como estas se relacionan entre sí y con otros procesos productivos dentro de la misma planta.

6.4.La aplicación de la herramienta permitió establecer que, en línea generales, Compañía Minera San Gerónimo, presenta un alto estándar en el control de los riesgos asociados al área de lixiviación en Planta San Lorenzo, sin embargo, existen factores técnicos operacionales que, si no son controlados a tiempo, generarán consecuencias importantes si los riesgos asociados ellos, llegan a materializarse. Por lo tanto, las medidas de control propuestas en ella, se basan en mantener controlados dichos factores técnicos, con el objetivo de disminuir la probabilidad de ocurrencia del riesgo evaluado y por ende bajar el nivel de significancia y transformarlo en riesgo tolerable para la organización

6.4.1. Por lo tanto, la correcta utilización de esta herramienta por los mandos gerenciales de la Planta, puede convertirse en una ventaja estratégica competitiva si es utilizada para identificar acciones específicas que mejoren el desempeño y optimicen las operaciones, con el fin de disminuir la probabilidad de materialización del riesgo. Esto también puede influenciar la estrategia del negocio, mediante la identificación de ajustes potenciales relacionados a oportunidades y riesgos previamente no identificados. La herramienta se convierte en un instrumento para ayudar a la organización a redireccionar su enfoque, en lugar de responder a las crisis, mediante una evaluación proactiva de los riesgos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Tor, Dámaso. Integración de Sistemas de Gestión Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional. Uruguay, Sociedad de Ecología Médica y Social, 1996. 172 pp.
- Instituto de Normalización Nacional (INN). Norma Chilena NCh - ISO 31.010: Gestión del Riesgo – Técnicas de Evaluación del Riesgo. Primera Edición. Santiago, Chile, 2013. 109 pp.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Norma UNE-EN 31010 “Gestión del Riesgo, Técnicas de Apreciación del Riesgo”. Madrid, España, 2011. 97 pp.
- Vásquez, Guido. Curso de Capacitación Interna: “Procesos de Aglomeración y Lixiviación”. La Serena, Chile. Compañía Minera San Gerónimo, 2009. 55 pp.
- Superintendencia de Seguridad Social. Estadísticas de Accidentabilidad 2013. 2014. [en línea]<http://163.247.55.110/PortalWEB/SST/estadisticas/2014_04_28_Estad%C3%ADsticas%20de%20Accidentabilidad%202013.pdf> [consulta: 15 de junio de 2015].
- Servicio Nacional de Geología y Minería. Accidentabilidad Minera 2015. 2016. [en línea]<http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/accidentabilidad_Minera/Estadistica-de-accidentabilidad-2015.pdf> [consulta: 15 de marzo de 2016].
- Superintendencia del Medio Ambiente. Cuenta Pública Participativa 2015. 2016. [en línea]<<http://www.sma.gob.cl/index.php/documentos/documentos-de-interes/documentos/cuentas-publicas>> [consulta: 15 de marzo de 2016].
- Prieto, Claudia, Metodología para la evaluación de riesgos por deslizamientos en líneas de conducción de hidrocarburos. Tesis (Magíster en Ingeniería, mención Geotecnia). Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2011, 276 pp.
- Bravo, Oscar y Sánchez, Marleny. Gestión Integral de Riesgos. Segunda Edición. Bogotá, B&S, 2009. 469 pp.
- Keipi, Kari. Mora, Sergio. Bastidas, Pedro. Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo: Listas de preguntas de verificación (“Checklist”).2005. [en línea] Serie de informes de buenas prácticas del Departamento de Desarrollo Sostenible Banco

Interamericano del Desarrollo <<http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/2845/2845.pdf>> [consulta: 15 de marzo del 2016].

- Análisis del riesgo de instalaciones industriales por Joaquim Casal “*et al*”. Primera Edición. Barcelona, Ediciones UPC, 1999. 364 pp.
- Santamaría, Jesús. Braña, Pedro. Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química. Madrid, Fundación Mapfre, 1994. 522 pp.
- Burriel, Germán. Sistemas de Gestión de Riesgos Laborales e Industriales. Segunda Edición. Madrid, Editorial Mapfre, 1999. 752 pp.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC-IEC 60812 “Sistemas de Gestión - Técnicas de Análisis por Confiabilidad de Sistemas. Procedimiento para Análisis de Modo de Falla y Efectos (AMFE)”. Bogotá, Colombia, 2011. 45 pp.
- Craig, James. Vaughan, David. Skinner, Brian. Recursos de la Tierra: Origen, Uso e Impacto Ambiental. Tercera Edición. Madrid, España, Pearson Prentice Hall, 2007. 656 pp.
- Ipinza, Jorge. Curso de Hidrometalurgia: “Apuntes de Hidrometalurgia I”. Iquique, Chile. Universidad Arturo Prat, Departamento de Metalurgia, 2009. 103 pp.
- Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ficha Proyecto: Declaración de Impacto Ambiental “Aumento de Producción en Planta San Lorenzo de CMSG, de 20.000 a 35.000 TPM”. Servicio de Evaluación Ambiental. 2016. [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2131251385> [consulta: 30 de marzo de 2016].
- Aguilar – Otero, José. Torres - Arcique, Rocío. Magaña - Jiménez, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. [en línea] Tecnología y Ciencia, Ediciones <http://web.imiq.org/attachments/345_15-26.pdf> [consulta: 15 de marzo del 2016].
- SERNAGEOMIN y Arcadis. Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras. Versión 01. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2014. 137 pp.
- Salas, Alberto. Importancia y Desafíos de la Mediana Minería. Sociedad Nacional de Minería, 2006. 15 pp.

- Instituto de Normalización Nacional (INN). Norma Chilena NCh - ISO 31.000: Gestión del Riesgo – Principios y Orientaciones. Primera Edición. Santiago, Chile, 2012. 30 pp.
- GRN, Gestión en Recursos Naturales. Resolución de Calificación Ambiental, RCA. 2016. [en línea] < <http://www.grn.cl/permiso-ambiental-sectorial-pas/permiso-ambiental/resolucion-de-calificacion-ambiental-rca.html>> [consulta: 15 de marzo de 2016].
- Extractive Metallurgy of Copper por William Davenport “*et al*”. Quinta Edición. Oxford, United Kingdom (UK), Elsevier Ltd., 2011. 472 pp.
- SERNAGEOMIN y Golder Associates S.A. Manual de Evaluación de Riesgos de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas (FMA/P). Servicio Nacional de Geología y Minería, 2008. 501 pp.