

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación de la gestión de controles críticos con la  
metodología Bow Tie enfocado a la prevención de  
accidentes por deslizamiento de taludes en minería  
de tajo abierto**

Cristhian Andres Ames Arredondo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Benjamín Ramos Aranda

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme realizar esta tesis, con mucha estima agradezco al Ing. Marco Carhuaz Chávez, por facilitarme los trabajos del área de Mina, también por impartir su experiencia y conocimiento en todos los ámbitos que constituye la seguridad minera.

Lo considero un maestro, me gustaría decirle lo siguiente: el término gratitud no siempre es asociado o familiarizado con los maestros; pero la realidad es que estas personas son sumamente importantes en nuestro desarrollo como personas, y especialmente en mi caso, él fue crucial para la realización de esta tesis.

Quiero agradecerle por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgía, agradecerle por la claridad y exactitud con la que enseñó cada tema, discurso y lección que me ha brindado ya sea en lo personal como profesional. Gracias por haberme elegido ser su educando, gracias por haberme enseñado tan bien y por haberme permitido el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias por todo.

La investigación ha resultado de un largo proceso de aprendizaje que no habría logrado concluir sin la asistencia del asesor Ing. Benjamín Ramos Aranda de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas, a quien quiero expresar mi gratitud.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por los valores y fortaleza que me inculca en la vida, el cariño que siempre me tiene y sobre todo la paciencia para guiarme a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Juan y Cecilia por el apoyo incondicional, gracias por creer en mí y disfrutar de cada día. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a su amor, a su inmensa bondad, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes y a toda mi hermosa familia, que con su aliento forjaron mi día a día, en esta noble profesión que me satisface plenamente.

## ÍNDICE DE CONTECIDO

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	15
1.1.1 Planteamiento del problema .....	15
1.2 Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema general .....	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos .....	17
1.4 Justificación e importancia .....	17
1.5 Hipótesis de la investigación.....	18
1.5.1. Hipótesis general .....	18
1.5.2. Hipótesis específica.....	18
1.6 Identificación de variables.....	18
1.7 Operacionalización de variables .....	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.2. Bases teóricas .....	23
2.2.1. Gestión de controles críticos.....	23
2.2.2. Metodología Bow Tie .....	30
2.2.3. Prevención de accidentes.....	40

2.2.4. Deslizamiento de talud .....	41
2.2.5. Deslizamiento .....	41
2.2.6. Mina de tajo abierto .....	54
2.2.7. Procesamiento de experiencia.....	66
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	74
3.1. Método y alcances de la investigación.....	74
3.1.1. Método de la investigación .....	74
3.1.2. Alcances de la investigación.....	74
3.2. Diseño de la investigación .....	75
3.2.1. Tipo de diseño de investigación.....	75
3.3. Población y muestra .....	75
3.3.1. Población.....	75
3.3.2. Muestra.....	75
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	76
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos .....	76
CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	77
4.1. Planificación del cambio.....	77
4.2. Árbol de decisión sobre controles críticos.....	97
4.3. Procedimiento 5: Verificación y elaboración de informes .....	98
4.3.1. Informe de control crítico: A1 .....	98
4.3.2. Informe de control crítico: B1 – Segregación y control de acceso .....	100
4.3.3. Informe de control crítico: B4 – Estación robótica - radar Slope.....	101
4.3.4. Informe de control crítico: C1 .....	101
4.3.5. Informe de control crítico: C3 – Mapa o plano de riesgos.....	102
4.3.6. Informe de control Crítico: C6 – Plan de respuesta de emergencia.....	104
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES .....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	109
ANEXOS .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proceso de operacionalización de variables .....	19
Tabla 2. Criterios de aceptabilidad típicos para F.S estático y pseudoestático ....	46
Tabla 3. Definición de unidades geotécnicas y media de RMR.....	85
Tabla 4. Requerimientos del personal.....	92
Tabla 5. Requerimientos de equipos.....	92
Tabla 6. Requerimientos de la organización .....	92
Tabla 7. Identificación de controles críticos.....	92
Tabla 8. Función y responsabilidades .....	95
Tabla 9. Informe de control crítico: A1 – Auditoría de las competencias del personal.....	99
Tabla 10. Informe de control crítico: B1 – Segregación y control de acceso.....	100
Tabla 11. Informe de control crítico: B4 – Estación robótica - radar Slope.....	101
Tabla 12. Informe De Control Crítico: C1 – Control del diseño y disciplina operacional.....	102
Tabla 13. Informe De Control Crítico: C3 – Mapa o plano de riesgos .....	103
Tabla 14. Informe De Control Crítico: C6 – Plan de respuesta de emergencia..	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Historia de la metodología Bow Tie.....	30
Figura 2. Composición de la metodología Bow Tie .....	31
Figura 3. Estructura de la metodología Bow Tie.....	32
Figura 4. Estructura de la metodología Bow Tie-Primer pas. ....	33
Figura 5. Estructura de la metodología Bow Tie-Segundo paso .....	34
Figura 6. Estructura de la metodología Bow Tie-Tercer paso .....	35
Figura 7. Identificación de controles preventivos y mitigadores .....	35
Figura 8. Estructura de la metodología Bow Tie-Cuarto paso .....	36
Figura 9. Estructura de la metodología Bow Tie-Quinto paso .....	37
Figura 10. Jerarquía de Controles de Riesgo.....	39
Figura 11. Nomenclatura de un deslizamiento .....	42
Figura 12. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales .....	44
Figura 13. Ejemplo de factores de seguridad aceptables.....	45
Figura 14. Dovelas de la masa deslizante.....	47
Figura 15. Diagrama para determinar el factor de corrección .....	48
Figura 16. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer .....	49
Figura 17. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer y Morgenstern-Price .....	49
Figura 18. Altura de banco y ángulo.....	51
Figura 19. Ancho de berma .....	51
Figura 20. Parámetros que definen un talud de mina.....	53
Figura 21. Geometría típica de una mina tajo abierto .....	56
Figura 22. Comparación entre el dumping paddock y el end-idumping.....	59
Figura 23. Retrocesos convencionales y secuenciales .....	60
Figura 24. Corte Frontal .....	62
Figura 25. Conducción operativa.....	63
Figura 26. Operación paralela de parada y reversa .....	63
Figura 27. Caso 1 - Antes del accidente .....	68
Figura 28. Caso 1 - Después del accidente. ....	69

Figura 29. Caso 2 - Antes del accidente .....	71
Figura 30. Caso 2 - Después del accidente. ....	71
Figura 31. Caso 3 - Antes del accidente .....	73
Figura 32. Caso 3 - Después del accidente .....	73
Figura 33. Proceso de gestión de controles críticos.....	76
Figura 34. Topografía al año 2023 del Tajo, definición de dominios estructurales y trazas proyectadas en superficie de fallas mayores y fallas locales .....	87
Figura 35. Ubicación en planta de las labores antiguas digitalizadas .....	88
Figura 36. Ubicación en planta de las labores antiguas digitalizadas .....	88
Figura 37. Plano de Riesgos Geotécnicos del tajo - Julio 2019 .....	89
Figura 38. Cuadro comparativo de subsidencias 2015 Al 2019 .....	89
Figura 39. Deslizamiento de Talud.....	90
Figura 40. Identificación de Top Evento .....	90
Figura 41. Identificación de causas .....	91
Figura 42. Identificación de impactos .....	91
Figura 43. Diagrama de Bow Tie - Primera parte .....	93
Figura 44. Diagrama de Bow Tie - Segunda parte .....	94
Figura 45. Flujograma Organizacional Operaciones Mina .....	97
Figura 46. Árbol de decisión de controles críticos .....	98
Figura 47. Guía para la ejecución de la Gestión de los controles críticos. ....	114
Figura 48. Guía de buenas prácticas para Gestión de controles críticos para la salud y la seguridad.....	115
Figura 49. Informe mensual de riesgos criticos de mina .....	116
Figura 50. Slope Stability in Surface mining - Book.....	117
Figura 51. Capacitación sobre análisis cinemático de taludes. ....	118
Figura 52. Slope Capacitación de Gestion de barreras críticas.....	118
Figura 53. Frecuencia y sistema de monitoreo para el control de estabilidad de terreno. ....	119
Figura 54. Taller de identificación y monitero de controles criticos de riesgos...	119
Figura 55. Mapa geológico del cuadrángulo de la Oroya. ....	120
Figura 56. Slope Boletín informativo de la Gerencia de Supervison minera .....	121

Figura 57. SME Mining Engineering Handbook – Third Edition Volumen One.....	122
Figura 58. Política de Gestión de Respuesta de Emergencias.....	123
Figura 59. GroundProbe – Equipos de radar utilizados en el tajo .....	124

## RESUMEN

El estudio efectuado se ha comprometido a liderar y proporcionar recursos para gestionar la seguridad minera con la información de la ICMM “Consejo Internacional de Minería y Metales”. A tal fin, dicho consejo ha desarrollado un enfoque denominado “gestión de controles críticos” (GCC) para mejorar el control de gestión sobre los siniestros poco frecuentes, pero potencialmente catastróficos, centrándonos en los controles críticos.

La presente tesis constituye una continuación de dicha gestión y está diseñada para analizar juntamente con la metodología Bow Tie, reconociendo el evento con mayor nivel catastrófico optando con la recopilación de la información de una mina a tajo abierto en la región Junín, sucesos que han ocurrido, diseño, estructuración, sistema de gestión en seguridad, entre otros. Así, poder descubrir las falencias existentes e implementar controles eficaces, en este caso controles mitigadores y controles preventivos en cada una de sus causas e impactos ocasionados por el evento top, destacando con prioridad dominante los controles críticos efectuados, ya que estos son de prioridad exclusiva. Todo el estudio proporciona orientaciones adicionales sobre la prevención de accidentes por deslizamiento de talud, los tipos más graves de siniestros que afecta a la seguridad minera en una mina de tajo abierto, proponiendo medidas para lograr los resultados deseados en cada paso.

El documento de Gestión de Controles Críticos ha sido de gran ayuda por su misma estructuración del contenido, ya que la información contenida en esta ha sido recopilada de todas las empresas miembros del ICMM y otras empresas de la industria minera y metalúrgica. Por lo cual se agradece por la información y la orientación proporcionados durante este trabajo.

En comparación con otros métodos de gestión, este es el más eficaz en la actualidad sobre gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie. Aplicarlo en este evento top, como es el deslizamiento de talud en mina de tajo abierto, ha exigido realizarlo en cinco procedimientos concisos. Esto ha permitido reducir el

valor de la magnitud del riesgo, obteniendo así un sistema de gestión eficaz, más rápido y de mejor performance, garantizando mayor seguridad, según la calidad de información recopilada. Como objetivo colateral se considera incentivar a las empresas aplicar GCC en cada una de sus actividades sean o no conexas a la industria minera.

## **ABSTRACT**

The study carried out is committed to leading and providing resources to manage mining safety with information from the ICMM "International Council on Mining and Metals". To this end, the council has developed a specific "critical controls management" (GCC) approach to improve management control over infrequent, but potentially catastrophic claims, focusing on critical controls.

In this thesis, it constitutes a continuation of said management and is designed to analyze together with the Pajarita methodology, recognizing the event with the highest catastrophic level, opting with the collection of information from an open pit mine in the Junín region, events that have occurred, design, structuring, security management system, among others, in order to discover the deficiencies affected and implement detected controls, in this case mitigating controls and preventive controls in each of their causes and impacts caused by the dominant event critics carried out, since these are of exclusive priority. The entire study provides additional guidance on preventing slope slip accidents, the most serious types of claims affecting mining safety in an open pit mine, proposing measures to achieve the desired results at each step. The Critical Controls Management document has been of great help for its very structuring of the content, since the information it constitutes has been collected from all the member companies of the ICMM and other companies in the mining and metallurgical industry. The quality I appreciate for the information and guidance provided during this work.

Compared with other management methods, this is the most effective at present on the management of critical controls with the Pajarita methodology, applied in this superior event, such as the slope slide in an open pit mine, it has been carried out in 5 concise procedures: which has allowed us to reduce the value of the magnitude of the risk, thus obtaining an effective, faster and better-performing management system, guaranteeing greater security, according to the quality of the information collected. As a collateral objective, incentivize companies that apply GCC in each of their activities, whether or not they are connected to the mining industry.

## INTRODUCCIÓN

El Consejo Internacional de Minería y Metales “ICMM” ha publicado el documento titulado “Guía para la ejecución de la Gestión de Controles Críticos” en el 2015, en la que se describe el enfoque de gestión de los controles críticos (GCC) que debe utilizar la industria minera y metalúrgica. Este presente estudio ofrece orientaciones de cara a la aplicación del enfoque GCC. Además, explica el contexto y los antecedentes, sus beneficios potenciales y los obstáculos a los que puede enfrentarse, así como la forma en que una organización puede adoptar la GCC.

Las empresas de la industria minera tienen el compromiso de garantizar el bienestar de los trabajadores, las comunidades y sus familias. Pese a que la minería es una actividad peligrosa por naturaleza, esto no significa que los accidentes sean inevitables. La seguridad minera debe tener una importancia central en todas las operaciones y procesos.

Aunque se siguen produciendo accidentes mortales e incidentes catastróficos, las empresas reconocen que esto es inaceptable y creen que es posible lograr el objetivo de “cero accidentes”.

En el presente trabajo de tesis, se ha determinado cinco procedimientos constituidos para la ejecución de la GCC adoptando la metodología Bow Tie para el análisis de riesgos; que este caso es el deslizamiento de talud en mina de tajo abierto lo cual nos ha permitido disminuir el valor de magnitud de riesgo, en términos prácticos, esto significa que, con mayor dominio de gestión sobre estos controles críticos, sean controles preventivos y mitigadores.

Téngase en cuenta que no existe una única forma correcta de aplicar la guía para la ejecución de la gestión de controles críticos. Esta deberá adaptarse a la realidad de cada empresa y cada explotación.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad las empresas mineras destinan cada vez mayores recursos para el control y monitoreo geotécnico de sus operaciones, conscientes de que coexiste uno de los problemas de mayor potencial de riesgo, el cual tiene una forma de suceder poco usual como es los deslizamientos de taludes. Por lo general, los deslizamientos de taludes se producen en una explotación a tajo abierto, lo cual no significa que este sea el único frente de trabajo donde ocurren.

El uso de tecnología como radares terrestres, estaciones robóticas, monitoreo satelital, drones para controles topográficos y una visualización más amplia de las operaciones son algunos de los métodos de control y monitoreo que vienen ganando mucho espacio en la actividad minera.

La Gerencia de Supervisión Minera (GSM), manteniéndose a la vanguardia en el uso de tecnología de punta para las supervisiones a las unidades mineras, tiene proyectado implementar a sus procedimientos de supervisión, el monitoreo a través de imágenes satelitales, las cuales permiten obtener información precisa y de manera rápida.

El trabajo de supervisión y fiscalización de la GSM ha podido verificar, en distintas operaciones a tajo abierto, la instalación de sistemas de radar tipo SSR (Secondary Surveillance Radar) 313 o similares para el monitoreo geotécnico de los taludes, el cual permite al titular minero conocer con una anticipación mayor a dos días la ocurrencia de un evento e incluso determinar el volumen aproximado a desplazarse.

Teniendo en cuenta la información de la GSM, aún no se efectúa la gestión de controles críticos en el riesgo de deslizamiento de talud con la metodología bow tie, el cual tiene como principal énfasis la prevención de accidentes por deslizamiento del talud, el cual se considera un dinamismo de alto riesgo que como consecuente han sido motivo de diversos accidentes en las unidades mineras.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál será la influencia de la aplicación de la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie enfocado a la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera se desarrollará la aplicación de la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie para la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto?
- ¿De qué manera reducirá el nivel de riesgo al efectuar la aplicación de la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie para la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de la gestión de controles críticos empleando la metodología Bow Tie el cual está enfocado a la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el desarrollo de la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie enfocado a la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto.
- Determinar la reducción del nivel de riesgo asociado a eventos con el potencial de generar accidentes causados por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto empleando la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie.

### **1.4 Justificación e importancia**

El estudio a efectuar se justifica porque la mina asignada como muestra es un yacimiento de cobre que utiliza el método de explotación superficial. Su estructura litológica y composición mineralógica son altamente complejas, los cuales están constituidos por más de 15 estructuras litológicas destacando con más porcentaje de composición el arsénico que tiene como signo el tener consecuencias de riesgo de gran potencial; debido a la caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos que tiene como efecto al deslizamiento de talud; por tanto, es de suma importancia para toda empresa tener los conocimientos despejados sobre la gestión de controles críticos aplicando la metodología Bow Tie.

Al mismo tiempo, el proyecto es muy importante porque al aplicar la gestión de controles críticos, disminuirá el riesgo asociado a eventos con el potencial de generar accidentes causados por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto ya que se empleará la metodología Bow Tie y obtener conocimientos e instrucciones de como efectuar dicha gestión para beneficio de la mina.

## **1.5 Hipótesis de la investigación**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- La aplicación de la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie influirá positivamente en la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto.

### **1.5.2. Hipótesis específica**

- La forma en que se desarrollará la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie influirá positivamente en la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto.
- El modo en que se reducirá del nivel de riesgo asociado a eventos con el potencial de generar accidentes con la metodología Bow Tie influirá positivamente en la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto.

## **1.6 Identificación de variables**

Las variables que se han de tener en cuenta son:

a) Variable independiente

X<sub>1</sub>: Gestión de controles críticos

b) Variables dependientes

Y<sub>1</sub>: Proceso de ejecución

Y<sub>2</sub>: Nivel de riesgo

## **1.7 Operacionalización de variables**

**Tabla 1. Proceso de operacionalización de variables**

Proceso de operacionalización de variables			
Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
VI: Gestión de controles críticos	Es un método práctico para mejorar el control de la gestión de siniestros poco frecuentes, pero potencialmente catastróficos, centrado en los controles críticos. Este tipo de sucesos se denominan siniestros significativos no deseados (SSND). La prevención de SSND requiere una atención específica desde el máximo nivel de responsabilidad de una organización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles preventivos a cada causa.</li> <li>• Controles mitigantes a cada consecuencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de controles preventivos.</li> <li>• Número de controles mitigantes.</li> </ul>
VD1: Proceso de ejecución	Constituido por tres importantes pasos de elaboración los cuales son las etapas de planificación, explotación de la aplicación y el proceso de formulación de observaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujograma de procedimientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de procedimientos.</li> </ul>
VD2: Nivel de riesgo	Es la probabilidad de que un peligro existente en una determinada actividad durante un periodo de tiempo concreto, provoque un incidente cuyas consecuencias sean capaces de ser estimadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probabilidad * Severidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor de la magnitud del riesgo</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

- In the article entitled "*Management of slope stability risk in open pit mines*" the study aims to provide the stability of slopes in open pit mines is a matter of great concern due to the significant detrimental consequences that may have instabilities, has the characteristics: (1)
  
- ✓ To ensure the safe and continuous economic operation of these mines, the risk of slope stability needs to be systematically assessed and managed. However, this has not traditionally been easy due to the fact that measuring the parameters necessary to assess slope stability can be time consuming, expensive and cause disruption to mining operations. (1)
  
- ✓ This document presents a decision theory-based framework by which risk can be systematically assessed and managed, and proposes a combination of traditional and remote sensing techniques, both land-based and satellite, to measure certain parameters. (1)
  
- ✓ This combination makes it possible to assess and update risk in a more efficient and cost-effective way than is traditionally done, especially when satellite observation data is already available. The application of such a system in the

Nanfen iron open pit mine in China is presented, where a novel technique was developed and successfully applied to monitor the sliding forces in prestressed rock bolts. (1)

- ✓ This is the first step in building an automated risk management system, which in the future will include smart sensors for warning systems and material-based stabilization methods that can self-adjust their properties, such as strength and stiffness in response to possible instabilities (1).
- En el artículo titulado “*Gestión del riesgo de estabilidad de taludes en minas a tajo abierto*” el estudio tiene como objetivo aportar la estabilidad de las pendientes en minas a tajo abierto. Es un tema de gran preocupación, debido a las importantes consecuencias perjudiciales que pueden tener las inestabilidades, cuenta con las siguientes características: (1)
  - ✓ Para garantizar el funcionamiento económico seguro y continuo de estas minas es necesario evaluar y gestionar sistemáticamente el riesgo de estabilidad de taludes. Sin embargo, esto no ha sido tradicionalmente fácil debido al hecho de que medir los parámetros necesarios para evaluar la estabilidad de las pendientes puede ser laborioso, costoso y causar interrupciones en las operaciones mineras. (1)
  - ✓ Este documento presenta un marco basado en la teoría de la decisión mediante el cual el riesgo puede evaluarse y gestionarse sistemáticamente, y propone una combinación de técnicas de detección remotas y tradicionales, tanto basadas en tierra como satelitales, para medir ciertos parámetros. (1)
  - ✓ Esta combinación permite evaluar y actualizar el riesgo de una manera más eficiente y rentable de lo que se hace tradicionalmente, especialmente cuando los datos de observación satelital ya están disponibles. Se presenta la aplicación de dicho sistema en la mina a tajo abierto de hierro Nanfen en China, donde se

desarrolló y se aplicó con éxito una técnica novedosa para monitorear las fuerzas de deslizamiento en pernos de roca pretensados. (1)

- ✓ Este es el primer paso para construir un sistema automatizado de gestión de riesgos, que en el futuro incluirá sensores inteligentes para sistemas de advertencia y métodos de estabilización basados en materiales que pueden autoajustar sus propiedades, como la resistencia y la rigidez en respuesta a posibles inestabilidades (1).
- In the article entitled "*Analysis of slope stability risks Open mine with PT probability method. Timah (Persero) TBK Batubesi Area, Damar, East Belitung*" the study aims to provide the stability of the mining slopes, especially in tin minerals, it has different criteria than other minerals: (2)
- ✓ The safety factor that becomes the reference value of the stable slope of the mine can also reflect the movement of the earth (Lubis, 2012 in Wijayanti, 2015). When processing these FK values, it is often not taken into account that all parameters have the same opportunity to represent those parameters (Azizi, 2012). (2)
- ✓ The probability method is a way to analyze the risk of mining slopes by including various parameters including wet density, dry density, cohesion, and friction angle. The research aims to obtain FK and PK values that are stable and efficient to extract, since the smaller the slope that opens, the lower the recovery of the tin ore and the greater the stability of the slope and vice versa. (2)
- ✓ To obtain the value of FK and PK, it is necessary to perform a slope analysis with the limit equilibrium method and the probability method, then modeling with the Slide V.6.0 software and calculation with the Excel program. The data processing comes from 4 drill points that found that GT\_01 with a FK value > 1.3 indicates that safe slope and ground movement can occur and get a PK value of 0.5-0.6%. For GT\_02, GT\_03 and GT\_04 got insecure slope results, so optimization is necessary. (2)

- En el artículo titulado “*Análisis de riesgos de estabilidad de taludes Mina abierta con método de probabilidad PT. Timah (Persero) TBK Batubesi Area, Damar, East Belitung*” el estudio tiene como objetivo, aportar la estabilidad de las pendientes mineras, especialmente en minerales de estaño, tiene criterios diferentes que otros minerales: (2)
- ✓ El factor de seguridad que se convierte en el valor de referencia de la pendiente estable de la mina también puede reflejar el movimiento de la tierra (Lubis, 2012 en Wijayanti, 2015). Al procesar estos valores FK a menudo no se tiene en cuenta que todos los parámetros tienen la misma oportunidad para representar esos parámetros (Azizi, 2012). (2)
- ✓ El método de probabilidad es una forma de analizar el riesgo de minar pendientes al incluir varios parámetros que incluyen densidad húmeda, densidad seca, cohesión y ángulo de fricción. La investigación tiene como objetivo obtener valores de FK y PK que sean estables y eficientes para extraerse, ya que cuanto menor sea la pendiente que se abre, menor es la recuperación del mineral de estaño y mayor es la estabilidad de la pendiente y viceversa. (2)
- ✓ Para obtener el valor de FK y PK, es necesario hacer un análisis de pendiente con el método de equilibrio límite y el método de probabilidad, luego modelado con el software Slide V.6.0 y cálculo con el programa Excel. El procesamiento de datos proviene de 4 puntos de perforación que encontraron que GT\_01 con un valor  $FK > 1,3$  indica que la pendiente segura y el movimiento del suelo pueden ocurrir y obtener un valor PK 0,5-0,6%. Para GT\_02, GT\_03 y GT\_04 obtuvieron resultados de pendiente inseguros, por lo que la optimización es necesaria. (2)

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Gestión de controles críticos**

El proceso de GCC es un método práctico para mejorar el control de gestión sobre los siniestros poco frecuentes, pero potencialmente catastróficos, centrado en los controles críticos. Este tipo de sucesos se denominan siniestros significativos

no deseados (SSND). A modo de ejemplos de SSND en la industria minera cabe citar los incendios subterráneos, las explosiones del polvo de carbón y la sobreexposición a partículas diésel. Sin embargo, no todos los SSND son sucesos repentinos. También pueden incluir, por ejemplo, la exposición potencial de grupos de trabajadores a agentes cancerígenos o de otro tipo a niveles dañinos durante un período prolongado. Este tipo de siniestros pueden provocar múltiples bajas entre los trabajadores, pero también afectar a la viabilidad de una empresa a largo plazo. En otras palabras, representan un riesgo significativo para ella. La prevención de los SSND requiere una atención específica desde el máximo nivel de responsabilidad de una organización, junto a otros riesgos significativos para su negocio. (3)

#### **2.2.1.1. El enfoque de GCC se basa en:**

- ✓ Tener claro cuáles son los controles realmente importantes: los controles críticos (paso 4);
- ✓ Definir el desempeño requerido a los controles críticos (paso 5): qué debe hacer el control crítico para evitar el siniestro;
- ✓ Decidir qué aspectos se deben comprobar o verificar (paso 5) para garantizar que el control crítico funcione según lo previsto;
- ✓ Asignar la responsabilidad de aplicar el control crítico: ¿quién es el encargado de su funcionamiento? (paso 6);
- ✓ Informar sobre el desempeño de los controles críticos (paso 8).

La GCC también se centra en los controles específicos con los que se persigue evitar o minimizar un SSND. De ese modo se puede establecer un sistema de GCC de un modo más rápido y eficiente que con los métodos descritos anteriormente. Cualquier programa de cambio impulsado desde la dirección debe ofrecer “beneficios inmediatos” para demostrar que el cambio funciona. El enfoque de GCC se centra en lograr acciones más prácticas y visibles para los controles críticos. Esto incrementará la probabilidad de que se mantenga el cambio de énfasis en el seno de una organización (es decir, el mantenimiento de las mejoras en términos

de seguridad personal, perfeccionando al mismo tiempo el control de la dirección sobre los SSND). (3)

#### **2.2.1.2. El enfoque de GCC se centra en:**

- ✓ Identificar los controles necesarios (cuando ya existan numerosos controles);
- ✓ Identificar los controles críticos;
- ✓ Garantizar que los responsables y directivos estén supervisando los controles críticos para verificar si están sirviendo realmente para lo que se supone que deben servir.

#### **2.2.1.3. Pasos de ejecución**

##### **1. Planificación del proceso**

En este paso se describen las consideraciones relativas al desarrollo de un plan de proyecto, que guiará la ejecución del proceso en su conjunto. (3)

- **Resultado perseguido**

Elaborar un plan en el que se describa el alcance de un proyecto, incluidas las acciones que se deben llevar a cabo, por parte de quién y en qué plazos (3).

- ✓ Acción 1: Elaboración de un plan de proyecto

##### **2. Identificación de Siniestros Significativos No Deseados (SSND)**

En este paso se identificarán los principales peligros y SSND, y a continuación se evaluarán los peligros graves conocidos (y también los desconocidos) con el fin de verificar si son importantes para la empresa. De ese modo se garantizará que el proceso de GCC se dirija a los SSND más relevantes. Además, se examinará si es posible eliminar un SSND mejorando el diseño de la operación. Estas mejoras pretenden reducir la probabilidad de que se produzca un SSND, o la repercusión de sus consecuencias, de modo que el SSND deje de representar un riesgo significativo. El resultado de este paso incluye un documento de “descripción de peligros” en el que se resume la información fundamental del SSND. (3)

- Resultado perseguido

Identificar los SSND que es necesario gestionar. Resumir la información clave de cada SSND.

- ✓ Acción 1: Identificar los principales peligros y SSND
- ✓ Acción 2: Comprobar si los SSND representan un riesgo significativo
- ✓ Acción 3: Evaluar las oportunidades de eliminar el SSND mediante la introducción de mejoras en el diseño
- ✓ Acción 4: Describir el SSND, incluido el correspondiente peligro, el mecanismo de liberación y sus consecuencias.

### 3. Identificación de controles

En este paso se identifican todos los controles (existentes y posibles) para cada SSND; a continuación, en el paso 4 se identifican los controles críticos. Un control se define como un acto, objeto (diseñado con métodos de ingeniería) o sistema (combinación de acto y objeto) cuya finalidad es prevenir o mitigar un siniestro no deseado. Las herramientas proporcionadas en la Guía de buenas prácticas pueden ayudar a identificar los controles conocidos y los controles posibles. Una vez identificados, los controles se utilizan para elaborar un diagrama bow-tie para cada SSND. (3)

- Resultado perseguido

Identificación de los controles para cada SSND, tanto existentes como posibles nuevos controles, incluida la elaboración de un diagrama bow-tie.

- ✓ Acción 1: Identificación de los controles
- ✓ Acción 2: Elaboración de un diagrama bow-tie
- ✓ Acción 3: Evaluación del diagrama bow-tie y los controles

### 4. Selección de los controles críticos

En este paso consiste en seleccionar los controles críticos de entre los identificados en el paso 3. Un control crítico es un control que resulta crucial para prevenir un SSND o mitigar sus consecuencias. La ausencia o el fallo de un control

crítico puede incrementar de manera significativa el riesgo de que se produzca un SSND, pese a la existencia de otros controles. (3)

- Resultado perseguido

Seleccionar los controles críticos para los SSND. Resumir la información sobre los controles críticos.

- ✓ Acción 1: Selección de los controles críticos
- ✓ Acción 2: Comprobación de la aplicabilidad de los controles críticos
- ✓ Acción 3: Resumen de los controles críticos para cada SSND

## 5. Definición del funcionamiento y la presentación de informe

En el paso 5 se definen los objetivos de los controles críticos y los requisitos de desempeño de cada uno de ellos, es decir, el desempeño mínimo requerido a un control crítico para garantizar que mitigue eficazmente el riesgo de que se produzca un SSND. En este paso se identifican las actividades que afectarán al desempeño de los controles críticos. Estas actividades permiten comprender cómo se puede verificar un control crítico en la práctica y ofrecen un mecanismo para supervisar el estado de un control crítico. (3)

- Resultado perseguido

Definir los objetivos de los controles críticos, los requisitos de desempeño y el método que se utilizará para verificar el funcionamiento de dichos controles en la práctica.

- ✓ Acción 1: Definición del objetivo de un control crítico
- ✓ Acción 2: Definición de los requisitos de desempeño de los controles críticos
- ✓ Acción 3: Identificación de las actividades que afectan al desempeño de los controles críticos
- ✓ Acción 4: Definición de las actividades de verificación o “comprobación”

## 6. Asignación de responsabilidades

El paso 6 asigna la responsabilidad o “propiedad” de cada SSND, cada control crítico y cada actividad de verificación, desde la explotación individual hasta el

equipo directivo de la compañía. Esto incluye la definición de las responsabilidades de cada “propietario”, como, por ejemplo, las responsabilidades en materia de rendición de cuentas. (3)

- Resultado perseguido

Elaborar una lista de los responsables de cada SSND, cada control crítico y cada actividad de verificación. Elaborar un plan de verificación y elaboración de informe para comprobar e informar sobre el estado operativo de cada control crítico (3).

- ✓ Acción 1: Asignación de propiedad y de responsabilidades de rendición de cuentas

## 7. Aplicación específica en una explotación

En este paso se describe cómo se puede implantar un proceso de GCC en una explotación. Esto implica adaptar los pasos del proceso de GCC completados anteriormente (pasos 2 a 6) de manera que incluyan información detallada sobre la explotación de que se trate. A su vez, esto requiere adaptar las descripciones de los peligros que entrañan los SSND (paso 2), la identificación de los controles y de los controles críticos (pasos 3 y 4), los resúmenes de la información sobre los controles críticos y los planes de verificación y elaboración de informe (paso 5) y los “propietarios” asignados a nivel de explotación (paso 6). (3)

- Resultado perseguido

Definir un plan de verificación y elaboración de informes para el SSND. Diseñar una estrategia para implantar la GCC a nivel de explotación.

- ✓ Acción 1: Adaptar el proceso de GCC a la explotación
- ✓ Acción 2: Revisar la estrategia de GCC de la explotación
- ✓ Acción 3: Elaborar un plan para aplicar la estrategia de GCC a nivel de explotación
- ✓ Acción 4: Ejecutar el plan

## 8. Verificación y elaboración de informe

El paso 8 es el primer paso práctico del proceso de GCC. Los propietarios de cada actividad de verificación y elaboración de informe deberán llevar a cabo las correspondientes actividades. El responsable de GCC de la explotación deberá prestar asistencia durante las primeras iteraciones, de modo que los diferentes propietarios puedan desempeñar correctamente las funciones asignadas en el marco del proceso de GCC. (3)

- Resultado perseguido

Llevar a cabo las actividades de verificación e informar sobre el proceso. Definir e informar sobre el estado de cada control crítico.

- ✓ Acción 1: Realización de actividades de verificación
- ✓ Acción 2: Elaboración de informe

## 9. Respuesta ante un funcionamiento inadecuado de los controles críticos

La respuesta ante un desempeño inadecuado de los controles críticos vendrá determinada por los resultados de las actividades de verificación y elaboración de informe descrita en el paso 8. Dicha respuesta es importante, ya que resulta útil para examinar los controles críticos y ayuda a mejorar el enfoque de GCC en su conjunto. (3)

- Resultado perseguido

Los responsables de los controles críticos y de los SSND conocen el funcionamiento de los controles críticos. Si su funcionamiento presenta deficiencias con respecto a lo previsto o tras un incidente, será necesario investigar y adoptar medidas para mejorar su funcionamiento o suprimir la condición de “críticos” de los controles.

- ✓ Acción 1: Adoptar medidas cuando los controles críticos presenten un desempeño inadecuado
- ✓ Acción 2: Investigar las causas por las que el desempeño de los controles críticos es inferior al previsto
- ✓ Acción 3: Utilizar los resultados de la investigación para mejorar el proceso de GCC

## 2.2.2. Metodología Bow Tie

Es un método de evaluación de riesgos que puede ser utilizado para analizar y demostrar las relaciones de escenarios de alto riesgo y sus causas. El método lleva su nombre debido a la forma del diagrama en el que se crea, que se parece a una corbata de los hombres. Un diagrama de Bowtie hace dos cosas. En primer lugar, da una mirada global de todos los escenarios de accidentes posibles que pudieran existir en torno a un determinado Peligro. En segundo lugar, mediante la identificación de las medidas de control permite desplegar lo que hace una empresa para controlar esos escenarios de riesgos. (4)

Es una representación gráfica de las dinámicas del peligro, el cual muestra los eslabones entre las causas, controles, pérdida del control del evento y las consecuencias para cada escenario. (4)



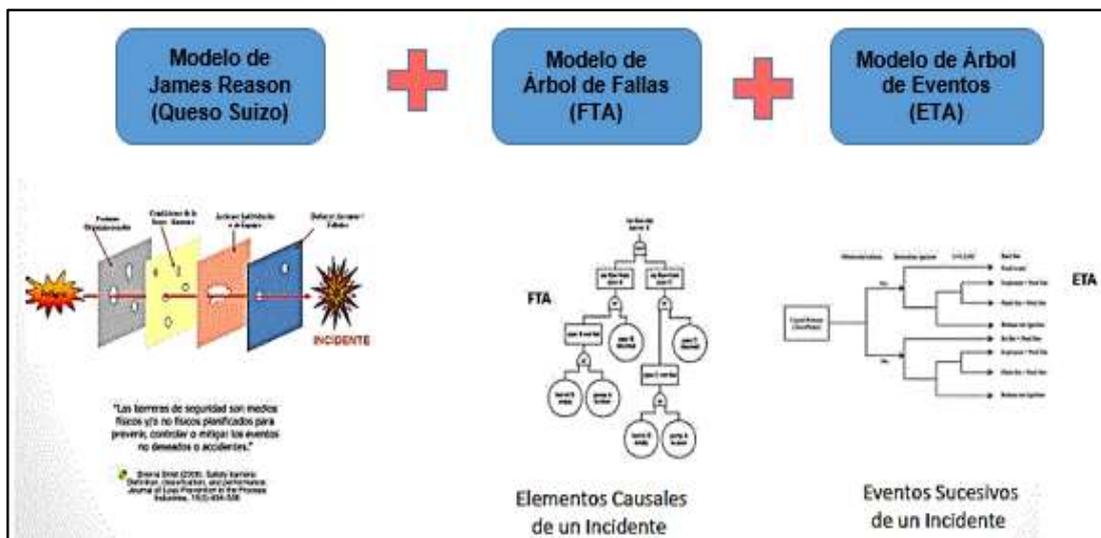
**Figura 1. Historia de la metodología Bow Tie**

La metodología Bow Tie se basa en la combinación de tres modelos de investigación de accidentes:

- ✓ El modelo del queso suizo de causalidad de los accidentes es un modelo utilizado en el análisis de riesgos y gestión de riesgos, usado en la aviación, la ingeniería y la asistencia sanitaria. Compara los sistemas humanos a varias rebanadas de queso suizo, que se apilan. Esto fue propuesto originalmente por James T. Reason de la Universidad de Mánchester, y se ha ganado ya una amplia aceptación. A veces se llama el modelo del efecto acumulativo. (5)
- ✓ Análisis del árbol de fallas (en inglés: Fault tree analysis, FTA) es un análisis de falla deductivo de arriba hacia abajo (descendente) en el que se analiza un

estado no deseado de un sistema utilizando la lógica booleana para conjugar una serie de eventos de bajo nivel. Este método de análisis se utiliza sobre todo en los campos de ingeniería de seguridad e ingeniería de fiabilidad para comprender cómo los sistemas pueden fallar, para identificar las mejores formas de reducir un riesgo o para determinar (o comenzar a comprender) tasas de eventos de un accidente de seguridad o una falla (funcional) de un nivel en particular de un sistema. (6)

- ✓ Análisis de árbol de eventos (ETA) es un delantero, de abajo hacia arriba, esta técnica de análisis se utiliza para analizar los efectos de funcionamiento o sistemas fallidos, dado que se ha producido un evento. ETA es una poderosa herramienta que identificará todas las consecuencias de un sistema que tiene una probabilidad de que se produzcan después de un suceso iniciador que se puede aplicar a una amplia gama de sistemas. Esta técnica se puede aplicar a un sistema temprano en el proceso de diseño para identificar posibles problemas que puedan surgir, en lugar de corregir los problemas después de que ocurran. Con este proceso lógico de avance, el uso de ETA como una herramienta en la evaluación del riesgo puede ayudar a prevenir resultados negativos que se produzcan, proporcionando un evaluador de riesgos con la probabilidad de ocurrencia. ETA utiliza un tipo de técnica de modelado llamado árbol de eventos , que se ramifica eventos de un solo evento usando la lógica booleana. (6)



### 2.2.2.1. Estructura de la metodología Bow Tie

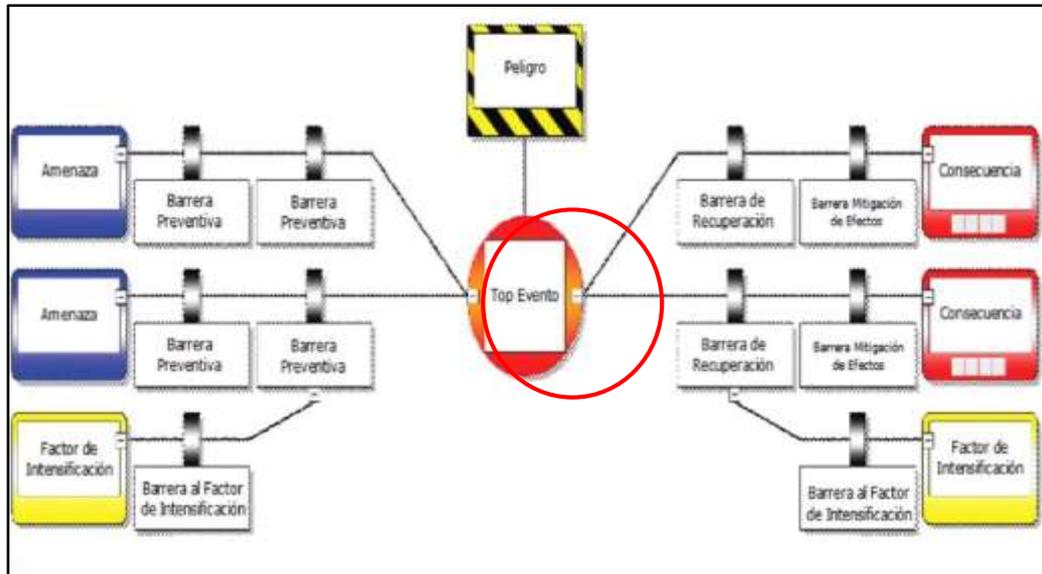
- ✓ Hazard o Peligro: Acción o condición que puede producir daño.  
Pregunta: ¿Cuáles son sus Peligros?. (7)
- ✓ Top Event o Evento Top: Es el evento más importante que puede suceder, donde se pierde el control. (7).
- ✓ Pregunta: ¿Qué pasa cuando ocurre el peligro? ¿Qué pasa cuando se pierde el control?. (7)
- ✓ Threat o Amenaza / Causa: Son los elementos causales, estos habilitan que se desarrolle el peligro. (7).
- ✓ Pregunta: ¿Cuál es la causa que libera el peligro? (7)
- ✓ Consequence o Consecuencia / Resultado: Elemento posterior al Evento Top.
- ✓ Pregunta: ¿Cómo se puede desarrollar el evento y cuáles son las posibles consecuencias? (7)
- ✓ Preventive Barrier o Barrera Preventiva: Estas son barreras de protección, evita que el peligro se libere. (7)
- ✓ Pregunta: ¿Cómo evitamos que el peligro se libere, ¿cómo mantenemos el control? (7)
- ✓ Recovery Barrier o Barrera de Recuperación: Permiten recuperar la normalidad o mitigar las consecuencias. (7).
- ✓ Pregunta: ¿Cómo limitamos la gravedad del evento y cómo disminuimos los efectos? (7).
- ✓ Escalation Factor o Factor de Intensificación: Control del factor de escalamiento, esto permite retomar el control. (7)  
Pregunta: ¿Cómo pueden fallar las barreras o como podrían ser afectadas la efectividad de las barreras? ¿Cómo aseguramos que las barreras NO FALLEN? (7)



**Figura 3. Estructura de la metodología Bow Tie**  
Tomado de GCE Risk - [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com)

### 2.2.2.2. Pasos para elaboración de un BowTie

1. Identificación del riesgo (evento principal, evento top, etc.) Riesgo / evento top:  
El evento / incidente inicial o la pérdida de control inicial. (7)



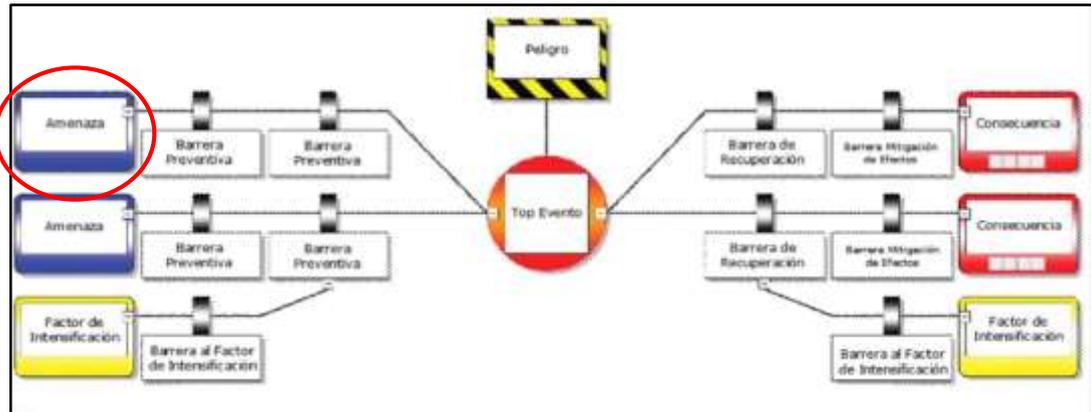
**Figura 4. Estructura de la metodología Bow Tie-Primer pas.**  
Tomado de GCE Risk - [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com)

Listado de riesgos de seguridad:

- ✓ Inventario de riesgos
- ✓ Registro de incidentes
- ✓ Fuentes externas (sucesos, casos, incidentes, etc.)
- ✓ Lluvia de ideas de los talleres.
- ✓ Revisión de todo el contenido del sistema gestión de seguridad.

### 2. Identificación de causas

La causa es el mecanismo que puede liberar o causar exposición al peligro de una manera no controlada. (7)



**Figura 5. Estructura de la metodología Bow Tie-Segundo paso**  
**Tomado de GCE Risk - [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com)**

Mecanismos que pueden liberar el peligro. (7)

- ✓ Son causas todos los motivos por los cuales podría ocurrir el evento top.
- ✓ Las causas identificadas se deben listar en este sector izquierdo del BT.
- ✓ Si fuese necesario, se deberán agrupar.
- ✓ Al menos, cada evento top debería tener 1 causa.
- ✓ No puede ser la falla de un control (7):
- ✓ Falta de inspección de pre uso (causa real pueden ser errores o fallas no identificados, a competencias de los trabajadores.
- ✓ Falta de compromiso (causa real puede ser la resistencia al cambio)

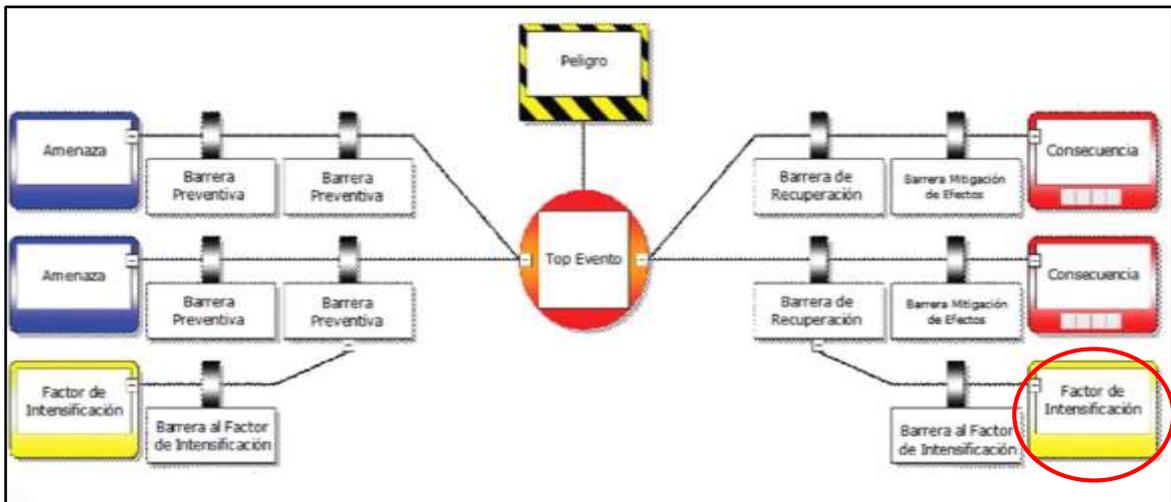
### 3. Identificación de impactos

Eventos o cadena de eventos que resultan de la liberación de un peligro

Existen consecuencias de:

- ✓ Seguridad
- ✓ Salud
- ✓ Medioambiente
- ✓ Comunidad / social
- ✓ Legal
- ✓ Imagen
- ✓ Reputacional

Consecuencia: Eventos o cadena de eventos, resultado de una liberación de o exposición a un peligro. (7)

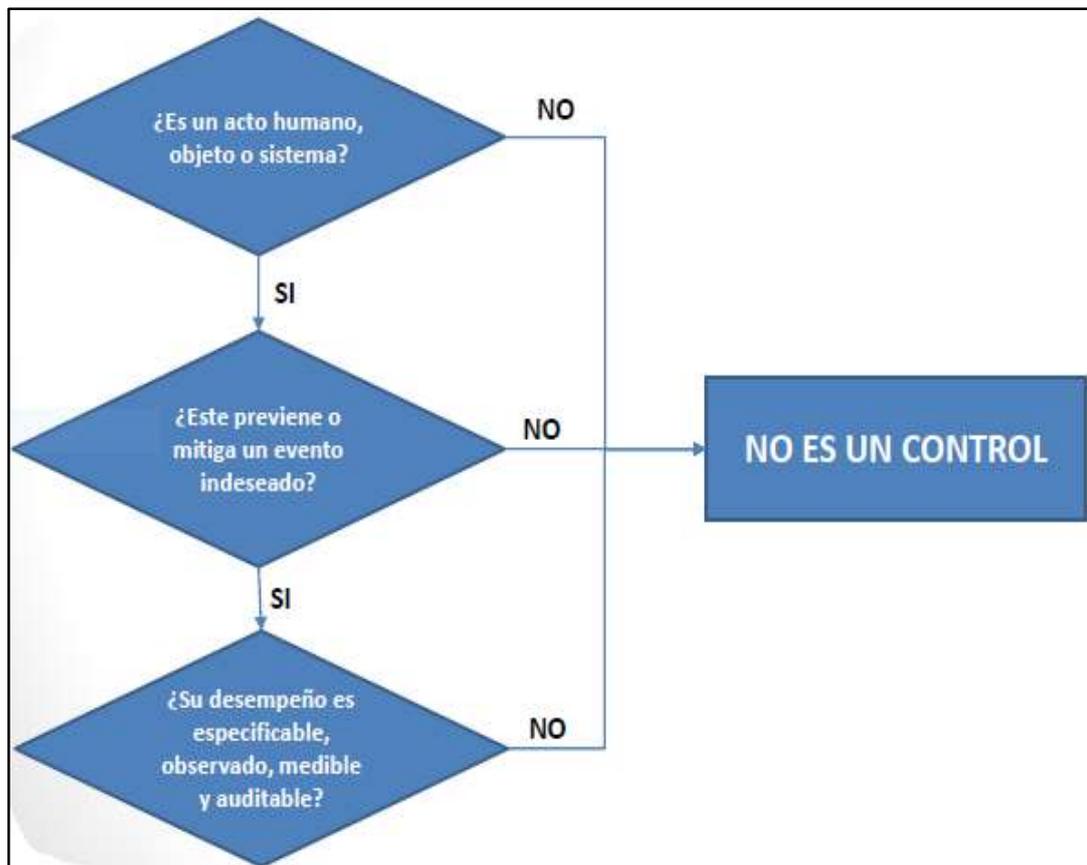


**Figura 6. Estructura de la metodología Bow Tie-Tercer paso**  
**Tomado de GCE Risk - [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com)**

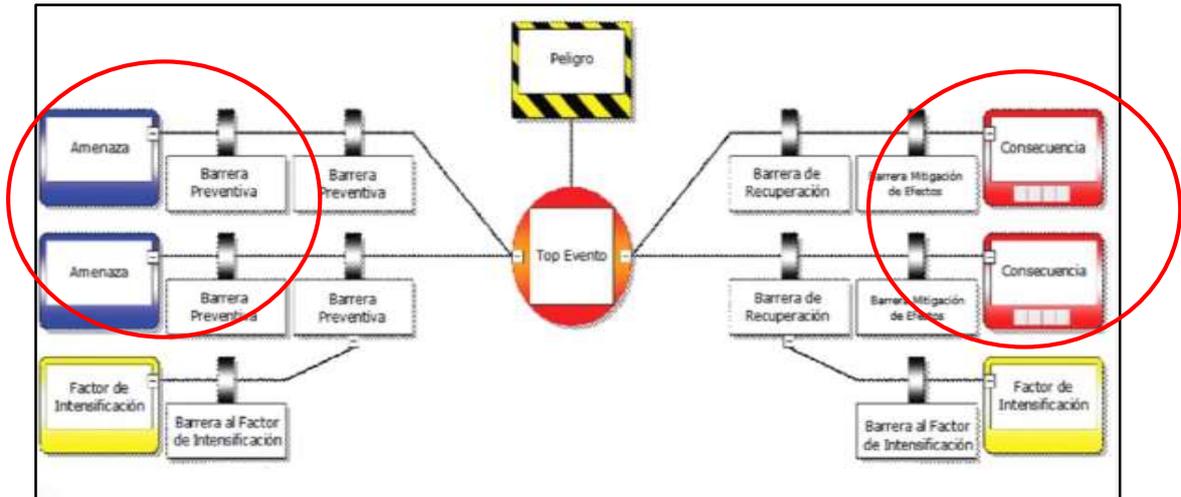
#### 4. Identificación de controles preventivos y mitigadores

Mecanismos que pueden liberar el peligro, como identificar un control: (7)

Si cumple los tres ítems entonces si es considerado como control.



**Figura 7. Identificación de controles preventivos y mitigadores**



**Figura 8. Estructura de la metodología Bow Tie-Cuarto paso**  
Tomado de GCE Risk - [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com)

- Previene la causa que determina un evento  
Controles preventivos
- ✓ Controles para, ya sea prevenir la causa en si misma, o prevenir la causa resultante del evento top (7).
- Previene / reduce frecuencia de la causa  
Controles de mitigación
- Controles que reducen o eliminan la consecuencia. Incluye los controles para recuperar tan rápido como sea posible luego de que una consecuencia ha ocurrido. (7)
- ✓ Ingeniería  
Hardware, estándares, límites de operación, etc.

Ejemplos:

- Protecciones en correa transportadora
- Alarma de alto nivel
- tranque de relaves

✓ Sistema

Procedimientos documentados, lista de verificación, estándares.

Ejemplos:

- Procedimiento para descarga de H2SO4

– Permiso de trabajo seguro

✓ Complementario/otros

Controles que pueden ser aplicables en ambas categorías.

Ejemplos:

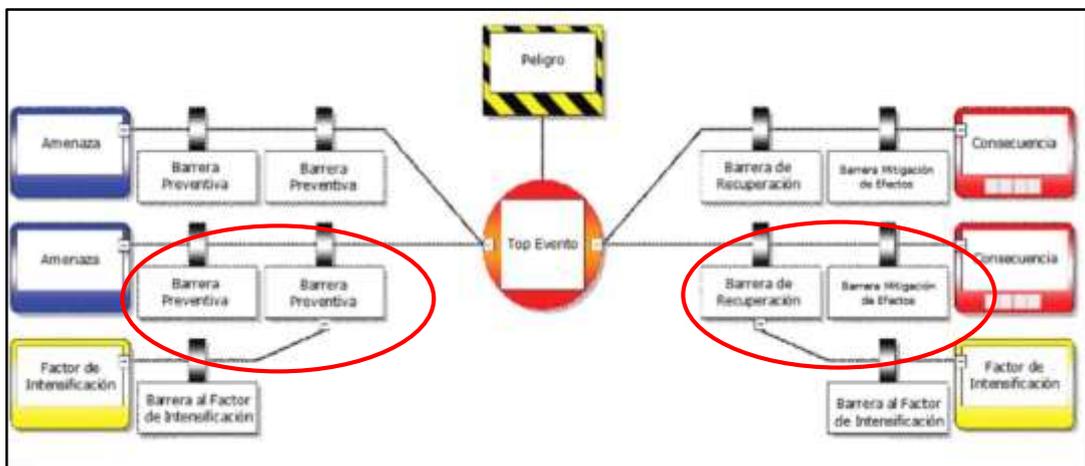
– Práctica - acompañante para nuevos operadores.

– Práctica - análisis preliminar de los riesgos.

#### 5. Identificación de controles críticos (para todas las causas e impactos)

Los controles críticos tienen una función fundamental en la administración de riesgos. Si se ven comprometidos pueden dar lugar o contribuir en forma sustancial al desarrollo del evento de riesgo.(7)

Por esto existe un alto grado de confianza en estos controles para administrar el riesgo. Los controles no son negociables.



**Figura 9. Estructura de la metodología Bow Tie-Quinto paso**  
Tomado de GCE Risk - [www.cgerisk.com](http://www.cgerisk.com)

- Basados en la ingeniería
- ✓ Se ejecutan automáticamente y no requieren intervención humana.
- ✓ Pueden incluir ya sea un hardware como también controles automáticos.
- ✓ Están diseñados para lograr un nivel de control repetitivo a un nivel establecido de disponibilidad.

- ✓ La confiabilidad de estos se logra a través de sistemas de administración que involucran revisiones permanentes y mejoramientos de desempeño.
  
- Basados en sistemas
  - ✓ Son ejecutados por individuos, con los límites de un sistema de gestión.
  - ✓ La ejecución se basa en procedimientos definidos, normas o protocolos.
  - ✓ La confiabilidad del control se logra a través de revisiones de gerencia y seguimiento.
  
- Indicadores de controles críticos:
  - ✓ Controles listados en múltiples causas / consecuencias
  - ✓ Alta probabilidad / alta frecuencia / causas dominantes.
  - ✓ Enfocado al mecanismo de liberación
  - ✓ Enfocado en una consecuencia de alta severidad (ej., muerte)
  - ✓ El único control para las causas / consecuencias
  - ✓ Típicamente posee un nivel alto en la jerarquía de controles y aquellos con calidad alta.
  - ✓ Se enfoca en el 20% de los controles que contribuyen al 80% de la gestión del riesgo.

Se hace relevante el principio de la jerarquía de controles, esto con el fin de que se tenga en cuenta los controles de ingeniería para ser seleccionados como controles críticos, esto debido a que son un tipo más eficaz de control. (8)



**Figura 10. Jerarquía de Controles de Riesgo.**

*Tomado de Fuentes Garrido, J. (2010). Investigación y aplicación de técnicas de Control de ruido al interior de cabinas de la Flota de camiones de compañía minera cerro Colorado. [Figura N.º 3]. Recuperado de [ingenieriaacustica.cl/blog/tesis-ruido-ocupacional-uach](http://ingenieriaacustica.cl/blog/tesis-ruido-ocupacional-uach). p. 5*

**OJO:** No es un control crítico: procedimientos, entrenamientos y capacitación. Tener presente siempre: la ausencia o falla de un “control crítico” es motivo suficiente para detener o no iniciar un trabajo hasta que no esté presente o correctamente implementado.

#### 6. Análisis de idoneidad del control crítico

Se debe asegurar que los controles críticos tengan un alto desempeño para evitar que ocurra el evento o que se disminuya su consecuencia / impacto.

Evaluación del control de los siguientes ítems.

- Diseño

Preguntas:

- ✓ ¿El diseño es apropiado? ¿Controla el riesgo?
- ✓ ¿Como se incluye a los trabajadores en la implementación de este control?
- ✓ ¿Se baso el diseño en estándares/reglamentos relevantes?

- Administración

Preguntas:

- ✓ ¿Qué tipo de responsabilidad existe para este control?
- ✓ ¿Cómo se aplica el sistema de gestión del contratista para este control?

- ✓ ¿Cómo se aplica el proceso de gestión del cambio a este control?
- ✓ ¿Qué tan bien documentado está este control?

- Operabilidad y mantenibilidad

Preguntas:

- ✓ ¿Este control funciona como debería en toda su gama de condiciones de operación normal?
- ✓ ¿Qué pasa cuando este control falla?
- ✓ ¿Cómo se mantiene este control? (en forma preventiva / reactiva)
- ✓ ¿Cómo se supervisa y revisa este control?
- ✓ ¿Es posible el mantenimiento de este control?

- Capacitación y competencia

Preguntas:

- ✓ ¿Qué sistema existe para capacitar al personal que utiliza este control?
- ✓ ¿Se evalúa al personal para determinar su competencia en la comprensión / uso de este control?
- ✓ ¿Hay recursos suficientes para la capacitación?
- ✓ Clasificar los criterios para cada control crítico / Registro de acciones para mejorar la idoneidad del control.

### **2.2.3. Prevención de accidentes**

Como actividad industrial, la minería a menudo es peligrosa, pero esto no significa que no se pueda llevar a cabo de manera segura. Además, los miembros del ICMM están trabajando en pro de una visión común de cero accidentes mortales. Si se cuenta con una gestión de riesgos eficaz, se pueden evitar los accidentes. (9)

La salud y la seguridad deben ser el eje central de todas las operaciones y procesos; se deben adoptar todas las medidas prácticas y razonables que sean necesarias para erradicar los accidentes mortales en el lugar de trabajo, las lesiones y las enfermedades de las actividades mineras y metalúrgicas. Entre los peligros clave de especial importancia para la minería se incluyen:

- ✓ Derrabes/hundimientos/actividad sísmica, especialmente en ambientes subterráneos
- ✓ Colisiones de vehículos con otros vehículos, con material fijo y con personal, ya sea por tierra, mar o aire
- ✓ Explosiones, especialmente debido a la acumulación de gases, algo que resulta especialmente peligroso (si bien no exclusivo) en la minería del carbón
- ✓ Un fallo catastrófico de las infraestructuras mineras (por ejemplo, un depósito de relaves o fallas en las paredes de la mina, “explosiones” y “avalanchas”)
- ✓ Incidentes de seguridad aérea.

La lista anterior no es exhaustiva, pero sirve para mostrar la amplia variedad de riesgos presentes en el lugar de trabajo que pueden dar como resultado accidentes mortales. El ICMM elabora cada año un informe de seguridad minera que abarca los datos de accidentes mortales y de lesiones de sus miembros. Su objetivo es fomentar la información y el intercambio de esta entre sus miembros, además de catalizar el aprendizaje en la industria respecto a dónde centrar los esfuerzos. Puede leer el último informe sobre datos de seguridad aquí. (9)

#### **2.2.4. Deslizamiento de talud**

En el caso de un deslizamiento de talud, ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. (10)

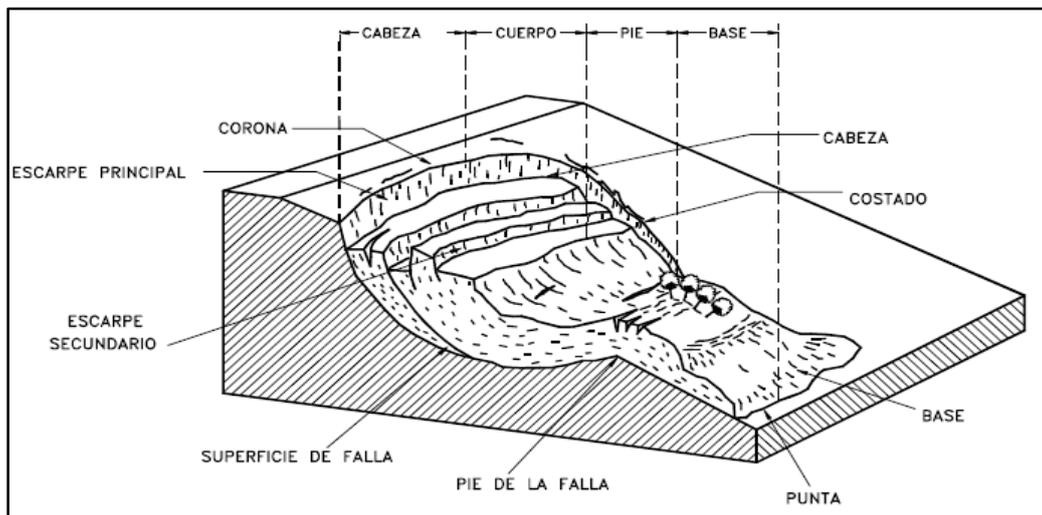
#### **2.2.5. Deslizamiento**

Es uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90 % de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

### 2.2.5.1. Nomenclatura de los procesos de movimiento

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo. (11)

En la figura 11 se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:



**Figura 11. Nomenclatura de un deslizamiento**  
**Tomado de Suarez, 2013**

- **Escarpe principal**

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla. (12)

- **Escarpe secundario**

Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

- **Cabeza**

Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

- **Cima**

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

- **Corona**

El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

- **Superficie de falla**

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

- **Pie de la superficie de falla**

La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

- **Base**

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

- **Punta o uña**

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

- **Costado o flanco**

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

- **Superficie original del terreno**

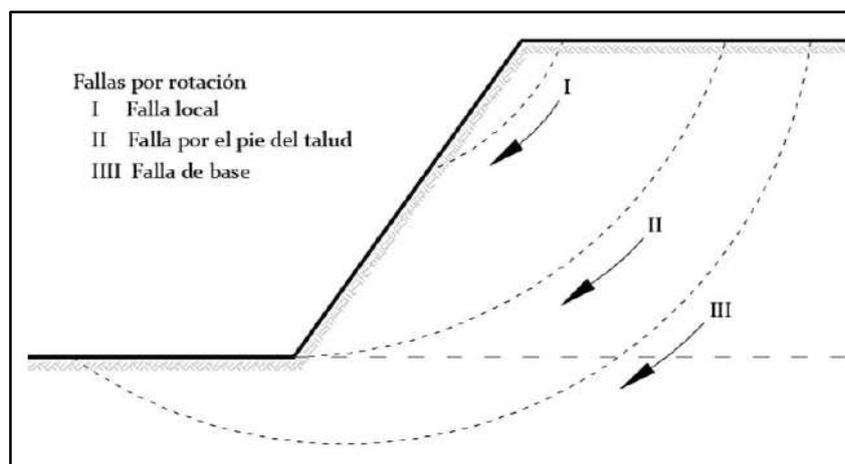
La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

### 2.2.5.2. Fallas de taludes en suelos

En la gran mayoría de los deslizamientos de taludes de suelos se ha identificado que la geometría de ruptura es la curva con forma diversa dependiendo de la morfología y estratigrafía del talud. La superficie de rotura generalmente es casi circular, pasando exactamente por el pie del talud (deslizamiento de pie). Por otro lado, podría ser circular cuando pasa por debajo del pie de talud (deslizamiento profundo). Asimismo, podría ocurrir una falla plana cuando existen recubrimientos de suelos sobre roca, esto generalmente ocurre en las laderas naturales o una falla poligonal cuando se tiene estratos blandos. (13)

El estudio realizado con perspicacia de estos modelos, por el ingeniero sueco Pettersson, determino que la falla de un suelo se produce a lo largo de una superficie de curvatura variable, que posteriormente asimiló a un arco de circunferencia dada su mayor simplicidad de cálculo.

Las fallas que actúan en rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud (falla de base), o delante del pie (falla por el pie del talud). Además, pueden presentarse las llamadas fallas locales, que ocurren en el cuerpo del talud, pero interesando zonas relativamente superficiales (14). Se presentan estos tipos de fallas más usuales en taludes ideales. (figura 12)



**Figura 12. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales**  
Tomado de Juárez, (1973)

**2.2.5.2.1.**

**Factor de seguridad**

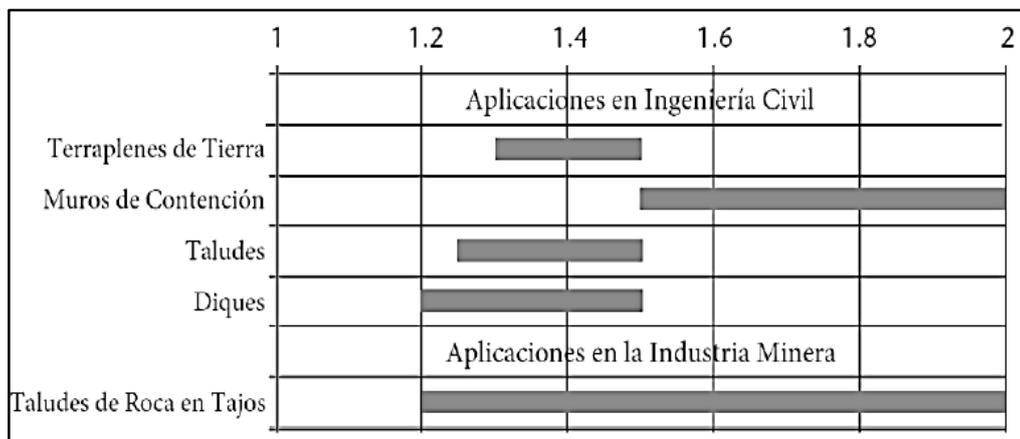
En la casi generalidad de los métodos de equilibrio limite la seguridad de un determinado talud se cuantifica por medio del factor o coeficiente de seguridad (F.S). El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. (15)

$$FS = \frac{\sum \text{Resistencia al corte}}{\sum \text{Esfuerzo al cortante}} \tag{3}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\sum \text{Momento resistente}}{\sum \text{Momento actuante}} \tag{4}$$

Pocos son los estudios e ingenieros que han desarrollado el tema sobre los niveles de aceptación para los Factores de Seguridad recomendados en los diseños de taludes. Los valores más comunes han sido fijados por observaciones y a las experiencias de prueba y error en el campo, Un ejemplo de los valores de los Factores de Seguridad aceptables establecidos con estos métodos esta dado en la Figura 15.



**Figura 13. Ejemplo de factores de seguridad aceptables Tomado de Read & Stacey, 2009, modificado de Priest & Brown, (1983)**

Por cuestiones prácticas los valores más usados en la ingeniería civil y de minas van desde los rangos de 1.2 para taludes no críticos a 1.5 para taludes críticos. En cuanto a los valores estáticos y pseudoestáticos típicos usados en la industria minera. (Tabla 2)

**Tabla 2. Criterios de aceptabilidad típicos para F.S estático y pseudoestático**

Escala del talud	Consecuencia de falla	Criterio de aceptabilidad FS (min)	
		Estático	Pseudoestático
Banco	Alta-Baja	1.1	NA
	Baja	1.15-1.2	1
Inter-rampa	Media	1.2	1
	Alta	1.2-1.3	1.1
	Baja	1.2-1.3	1
General	Media	1.3	1.05
	Alta	1.3-1.5	1.1

*Tomado de Read & Stacey, (2009)*

#### 2.2.5.2.2.

#### Métodos para

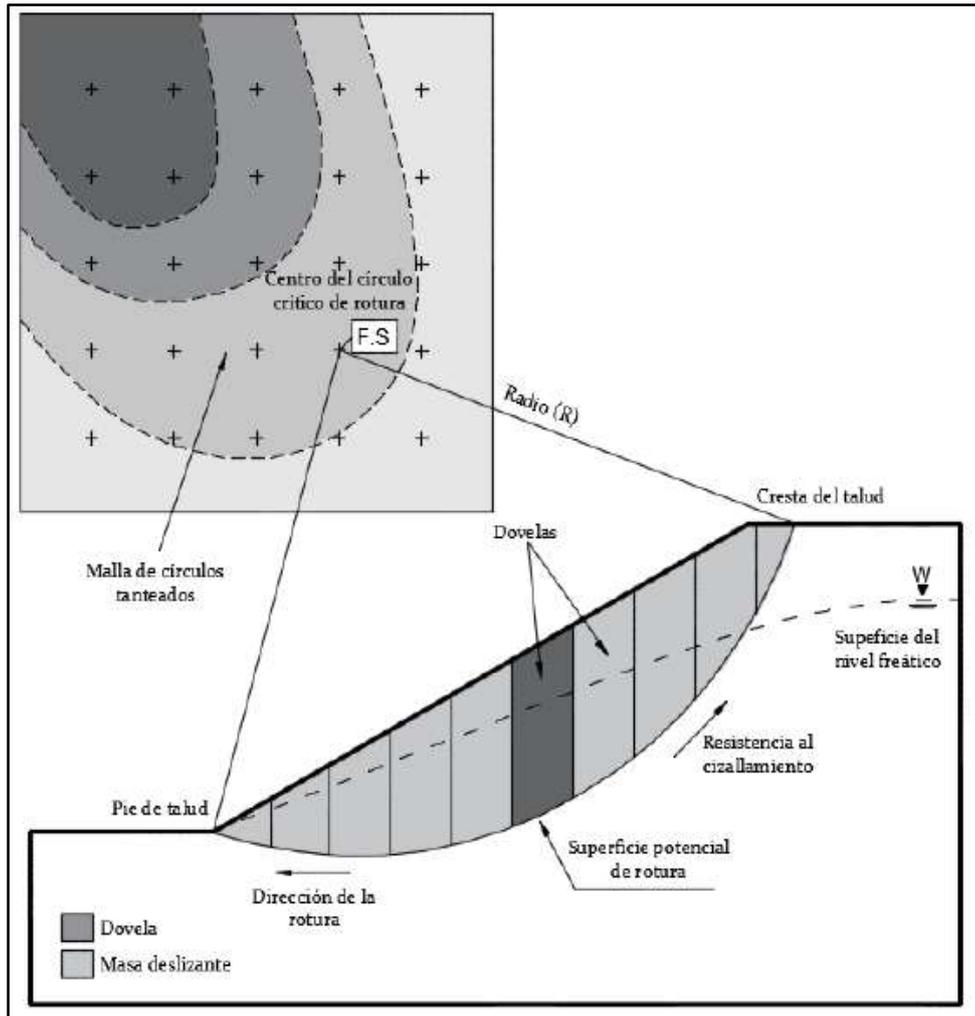
#### determinar el factor de seguridad

Los métodos conocidos para el análisis de fallas de taludes con geometría curva son el método de la masa total, hoy prácticamente en desuso y el método de las dovelas.

- **Método de las dovelas**

Los métodos de dovelas consideran el problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo y consiste en dividir la superficie de deslizamiento en varios segmentos (dovelas) de igual ancho y analizar las condiciones de equilibrio de cada uno (Gonzales de Vallejo et al.).

(11)



**Figura 14. Dovelas de la masa deslizante**  
Tomado y modificado de Llorente, (2015)

- **Método ordinario o de Fellenius (1927)**

Este método conocido también como método sueco, asume superficies de falla tipo circular y divide el área en rebanadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el Factor de Seguridad (11)

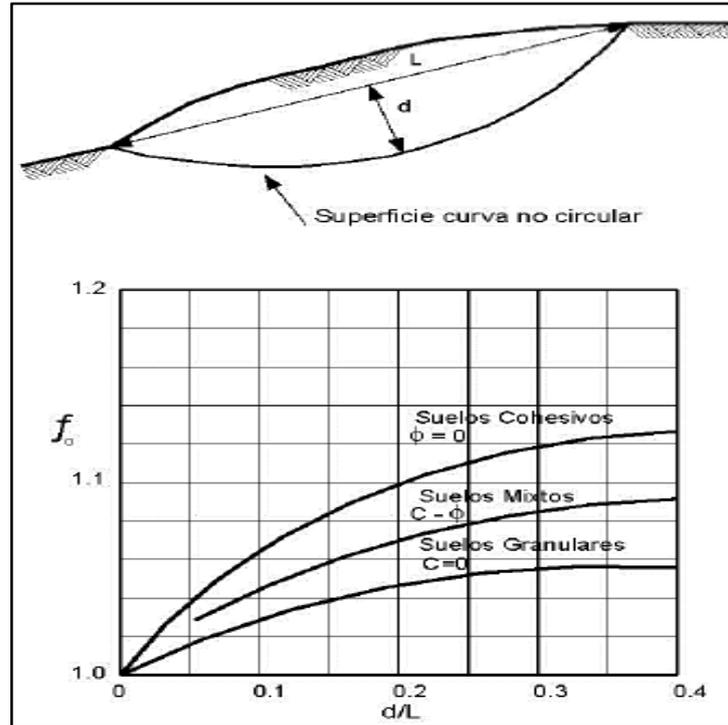
El método asume que las fuerzas verticales y horizontales de interacción entre dovelas no se consideran.

- **Método de Bishop (1955)**

Bishop asume que las fuerzas de interacción entre dovelas son horizontales, es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas verticales, el método se basa en satisfacer la ecuación del momento de equilibrio (11).

- **Método de Janbu (1968)**

El método de Janbu supone que la resultante de fuerzas entre rebanadas es horizontal, además, establece un factor de corrección. El factor  $f_0$  depende de la curvatura de la superficie de falla.

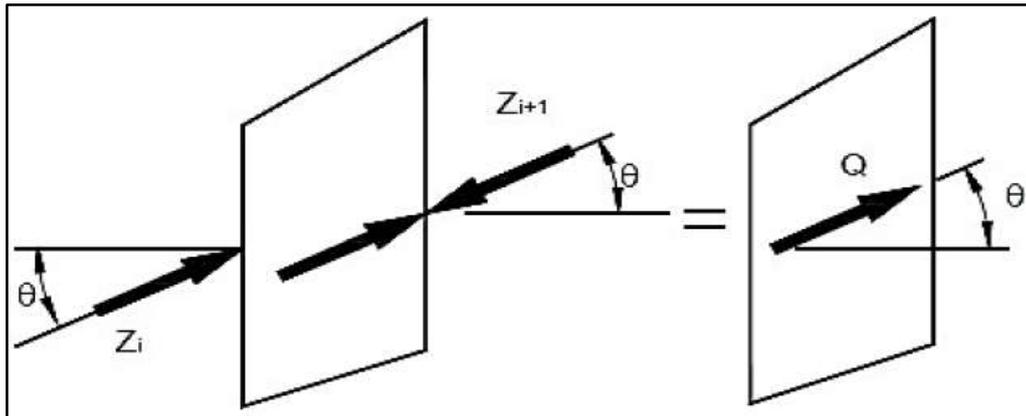


**Figura 15. Diagrama para determinar el factor de corrección**  
Tomado y modificado de Llorente, (2015)

En ciertos casos el factor de corrección puede surgir por motivos de inexactitudes mientras que en otros puede mejorar el análisis. Este método tan solo satisface el equilibrio de fuerzas y no el de momentos. (10)

- **Método de Spencer (1967)**

Este método supone que la interacción entre dovelas actúa como una componente de empuje con un ángulo de inclinación constante, por lo que, mediante iteraciones, se analiza tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas en función a ese ángulo ( $\theta$ ). El método de Spencer es aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo para el cálculo del factor de seguridad. (10)

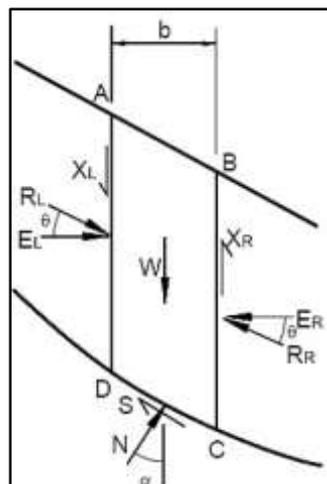


**Figura 16. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer**  
Tomado de Suarez, 2009

- **Método de Morgenstern-Price (1965)**

Similar al anterior, se basa en lograr el equilibrio de momentos como de fuerzas. La gran diferencia se debe a que la interacción entre las rebanadas viene dada por una función, la cual evalúa las interacciones a lo largo de la superficie de falla. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer.

El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo. (10)



**Figura 17. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer y Morgenstern-Price**  
Tomado de Suarez, 2009

#### **2.2.5.2.3.**

#### **Métodos numéricos**

El método consiste en dividir la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos, las cuales se interconectan en sus nodos y en bordes predefinidos. El método típicamente utilizado es el de la formulación de desplazamientos que presenta los resultados en forma de esfuerzos y desplazamientos a los puntos nodales. (10)

#### **2.2.5.2.4.**

#### **Definición de talud**

Se entiende como taludes a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal (16), los taludes se clasifican en taludes naturales, que se presentan en forma de laderas, y en taludes artificiales que pueden ser los cortes y terraplenes. (14)

La medida de la inclinación de un talud o ladera. Puede medirse en grados ( $^{\circ}$ ), en porcentaje (%) o en relación (H/1), en la cual H es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

#### **2.2.5.2.5.**

#### **Taludes en mina**

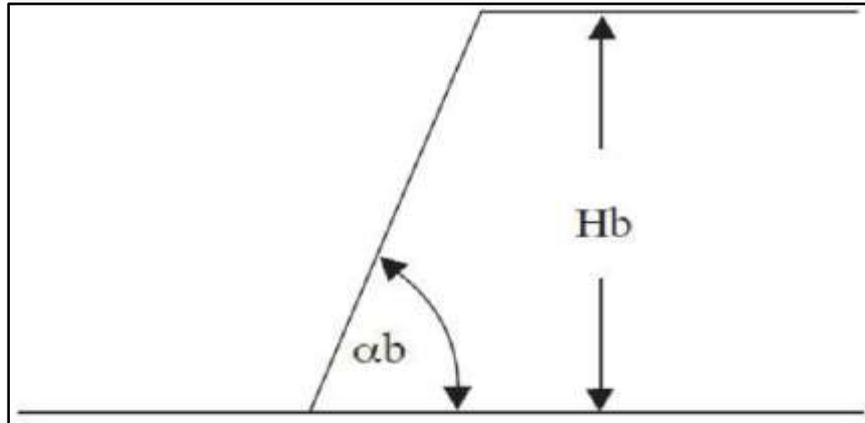
- **Altura de banco, H<sub>b</sub>**

Es la distancia vertical entre dos niveles o, lo que es lo mismo, entre el pie y la cabeza de un talud. (15)

Las alturas de los bancos, fundamentalmente se definen por criterios operativos (17) Ya que se busca aprovechar la eficiencia de los equipos de carguío y/o de excavación descritas en sus especificaciones técnicas. (Figura 18)

- **Ángulo de banco,  $\alpha_b$**

Es la medida de la inclinación de la cara de banco. En el ámbito minero se mide en grados ( $^{\circ}$ ). Generalmente este parámetro queda definido por las características geotécnicas del terreno a nivel de banco, pero también depende fuertemente de la acción sísmica que se desarrolla en la zona (18)(Figura 18)

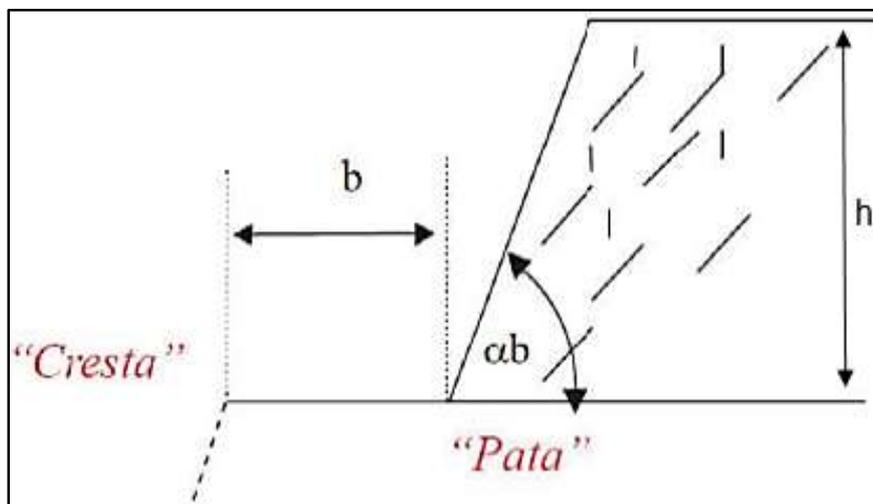


**Figura 18. Altura de banco y ángulo**  
Tomado de Mendoza, 2014

- **Ancho de berma, b**

El ancho de berma es la distancia entre el pie del banco y la cresta que pertenecen al mismo nivel. (17)

El ancho de berma se define de acuerdo al criterio original propuesto por Ritchie (1963) y modificado por Evans y Call en (1992). Esta distancia queda definida por el volúmen de los derrames producidos por las inestabilidades. (Figura 19)



**Figura 19. Ancho de berma**  
Tomado de Mendoza, 2014

$$B = 0.2h + 2.0 ; \text{ para } h < 9.0\text{m} \quad (1)$$

$$B = 0.2h + 4.5 ; \text{ para } h > 9.0\text{m} \quad (2)$$

Donde:

- ❖ B es ancho de la berma (m)
- ❖ h es la altura del banco (m)

- **Altura interrampa, Hr**

Corresponde a la altura máxima permisible entre rampas (18), este valor queda definido por el producto de la altura de banco y el número de bancos que se componen entre rampas. Esta altura está representada como la altura máxima o total entre rampas. Este valor es determinado de acuerdo a las características geotécnicas de los materiales.

- **Angulo interrampa,  $\alpha$**

Corresponde a la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une las patas de los bancos (18) este valor es utilizado en el plan minero. El ángulo se determina trigonométricamente a partir de la definición del ancho de berma, ángulo y altura del banco como se muestra en la Figura 10, la abreviación para el ángulo interrampa es IRA.

- **Ancho de rampas, Br**

Este parámetro se define de acuerdo a condiciones operacionales y de seguridad, según el tipo de equipo de transporte (19)

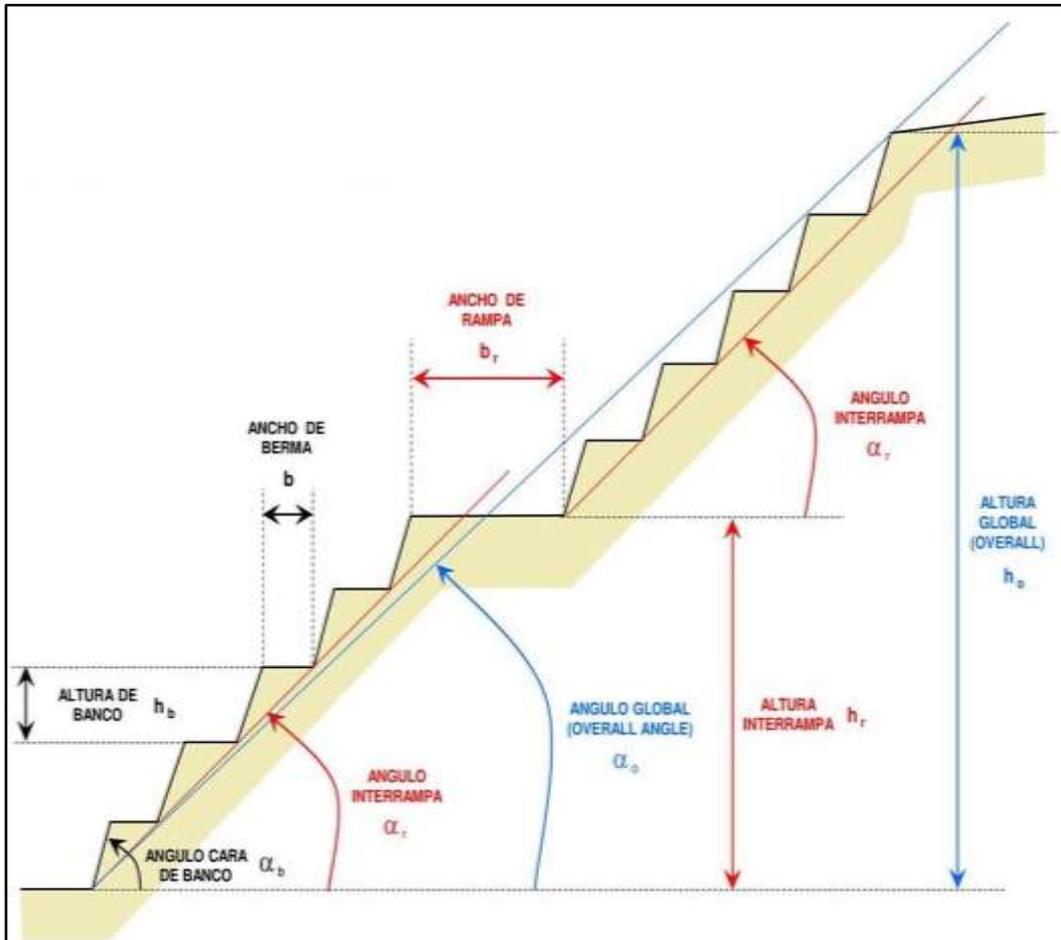
El artículo 262° del Decreto Supremo N° 024-2016-EM exige rampas o vías amplias de no menos tres (3) veces el ancho del vehículo más grande de la mina, en vías de doble sentido y no menos de dos (2) veces de ancho en vías de un solo sentido.

- **Ángulo global,  $\alpha_0$**

Es el ángulo que se encuentra conformado por la horizontal inferior y la línea imaginaria que une el pie de banco más inferior con la cresta del banco más superior (17) este valor se determina geométricamente de los parámetros ya definidos como la altura de banco, ángulo de banco, berma, ancho de rampa, número de bancos y número de rampas.

- **Altura total,  $H_o$**

Concierno a la altura total del tajo, medido desde el pie del banco más inferior hasta la cresta del banco más superior. (Figura 20) (13)



**Figura 20. Parámetros que definen un talud de mina**  
Tomado de Galdámez, Vásquez, & Fiebig, 2010

Las alturas de los bancos, básicamente, se definen por criterios operativos. Pues se busca aprovechar el mayor porcentaje de eficiencia de los equipos de excavación. Se establece que las alturas de bancos de 10 m permiten aprovechar distintas ventajas como: mayor control sobre fragmentación, rapidez en ejecución de rampas entre bancos, menores niveles de vibraciones y mejores condiciones para restauración y tratamiento de taludes finales. Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud. (14)

## **2.2.6. Mina de tajo abierto**

El aumento de los costos de minería, la disminución de las leyes promedio del mineral, las consideraciones ambientales y la mejora de la conciencia de salud y seguridad son algunos de los principales desafíos que enfrenta la industria minera en la actualidad (Caccetta y Hill 1999). Estos desafíos enfatizan la necesidad de optimización de la minería, especialmente cuando se trata de minería a gran escala asociada con operaciones a tajo abierto. Una mina a tajo abierto es un sistema cada vez más complejo e interdependiente que solo puede optimizarse mediante una cuidadosa coordinación, gestión y armonización de sus elementos individuales. (21)

### **2.2.6.1. Definición de minería a tajo abierto**

La minería a tajo abierto se puede definir como el proceso de excavación de cualquier depósito de mineral cercano a la superficie mediante una excavación o corte realizado en la superficie, usando uno o más bancos horizontales para extraer el mineral mientras se vierte la sobrecarga y los relaves en un sitio de disposición dedicado fuera del límite final del tajo. La minería a tajo abierto se utiliza para la extracción de minerales metálicos y no metálicos; La aplicación de este método minero en el carbón es menos común.

La minería a tajo abierto se considera diferente de la extracción en que extrae mineral de forma selectiva en lugar de un agregado o un producto de piedra dimensional. La principal diferencia entre la minería a tajo abierto, comúnmente utilizada en la extracción de depósitos poco profundos y en lecho, y la minería a tajo abierto radica en la eliminación de la sobrecarga. En la minería a tajo abierto, la sobrecarga se vierte directamente sobre paneles extraídos en lugar de fuera del límite final del tajo, como es típico de la minería a tajo abierto.

Los tonelajes de producción para tajos abiertos varían desde menos de 15,000 t (toneladas métricas) / año en pequeñas operaciones de mineral de hierro hasta más de 360 Mt / año en grandes operaciones de pórfido de cobre como Escondida en Chile. A partir de 2008, hay aproximadamente 2.500 minas de metal a tajo

abierto a escala industrial en el mundo, que es aproximadamente el 52 % de todas las operaciones mineras a escala industrial. El mineral de hierro (44 %), el cobre (38%) y el oro (15%) juntos representan el 97 % del volumen total de excavación a tajo abierto. (21)

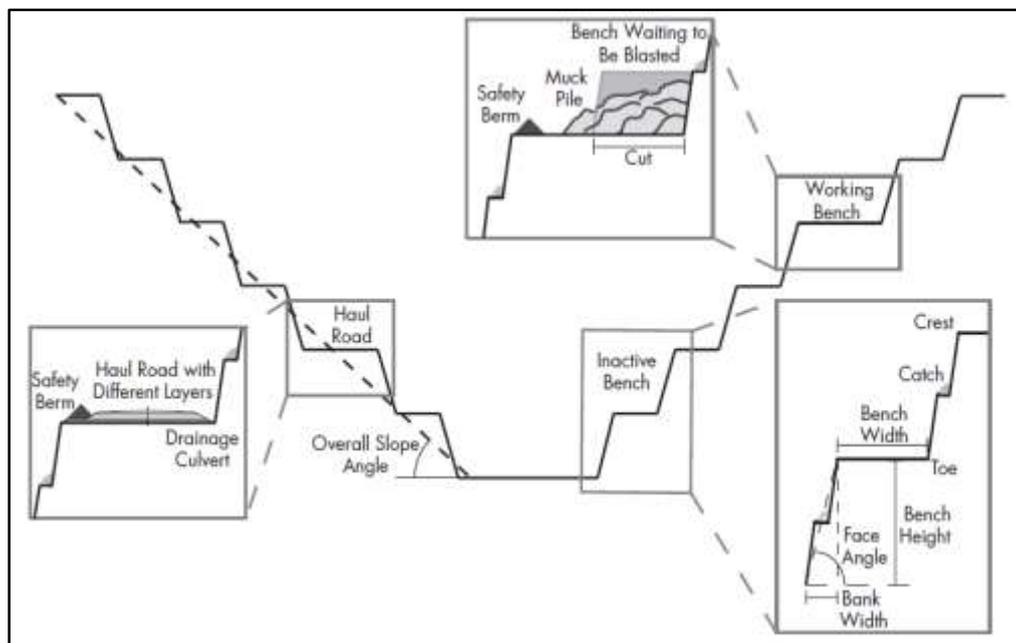
### **2.2.6.2. Geometría de la mina a tajo abierto**

La geometría, o diseño, de una operación a tajo abierto se discute en esta sección. Las consideraciones principales están en aquellas partes de la excavación que tienen que acomodar el equipo principal y sus operaciones, a saber, los bancos, las vías de acarreo y el sitio de eliminación de sobrecarga. Otros dos temas relacionados con la geometría de tajo abierto (expansión de tajos y transición a la minería subterránea) también se incluyen en la discusión (21).

#### **2.2.6.2.1. Bancos**

Los bancos son posiblemente la característica más distintiva de un tajo abierto. Los bancos se pueden dividir en bancos de trabajo y bancos inactivos. Los bancos de trabajo están en proceso de excavación, mientras que los bancos inactivos son los restos de bancos de trabajo que se dejan en su lugar para mantener la estabilidad de la pendiente del tajo. Entre los bancos principales, los bancos de captura se dejan en su lugar para evitar que el material en cascada comprometa la seguridad en las áreas activas de una operación. Las alturas de los bancos suelen ser de unos 15 m. El ancho del banco varía según el tamaño del equipo y el tipo de banco. Los bancos de trabajo deben ser al menos lo suficientemente anchos para acomodar el radio de giro del camión de acarreo más grande más el ancho de la berma de seguridad. Sin embargo, idealmente, el banco debería ser al menos lo suficientemente ancho como para permitir que los camiones de acarreo más grandes despejen la excavadora con aceleración total. Dependiendo de la geometría de empuje elegida y el tamaño del equipo, el ancho de un banco de trabajo puede ser de 30 m varios cientos de metros. El ancho de los bancos de captura es típicamente entre 3 y 5 m, pero puede variar con la altura total del banco. Por lo general, se incluye una pequeña berma de captura en el borde del banco de captura para mejorar su efectividad para contener las caídas

de rocas a escala de banco. Al constituir una de las áreas más concurridas de un tajo abierto, los bancos de trabajo tienen que acomodar grandes excavadoras y camiones de volteo, así como la pila de estiércol formada después de una explosión. Esto no es menos cierto para los bancos que para las vías de acarreo. La investigación de Ingle enfatiza la importancia de un buen mantenimiento del piso en los bancos, y muestra que hasta un 70% del daño de los neumáticos puede ocurrir en áreas activas de carga y descarga. Por razones de salud y seguridad, las bermas de seguridad se construyen a lo largo de las crestas de los bancos de manera similar a las que se encuentran al lado de las vías de acarreo (21).



**Figura 21. Geometría típica de una mina tajo abierto**  
Tomado de Darling, 2011

#### 2.2.6.2.2. Vía de acarreo

Las vías de acarreo constituyen un elemento clave de una mina a tajo abierto, ya que proporcionan la ruta principal de transporte de mineral y sobrecarga desde las áreas de excavación activas hasta el borde del tajo y más allá. La Figura 23 muestra el diseño de una vía de acarreo típico. A la luz de una tendencia hacia el aumento de la masa bruta del vehículo y la distancia de transporte, los efectos perjudiciales del diseño, la gestión y el mantenimiento inadecuados de la vía de acarreo se están volviendo cada vez más costosos. (22)

Los posibles efectos son:

- ✓ Disminución de la vida útil de los camiones y los neumáticos.
- ✓ Pérdida de productividad,
- ✓ Mala calidad de manejo, y
- ✓ Excesiva generación de polvo fugitivo.

Todos estos factores pueden dar como resultado un mantenimiento exacto del vehículo y la vía de acarreo y los costos operativos. Además, las estadísticas proporcionadas por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) muestran que, en los Estados Unidos, las vías de acarreo son responsables del 20 % de las lesiones con tiempo perdido y el 42% de las muertes en minas de superficie (Turín et al. 2001) Por último, las vías de acarreo pueden impactar significativamente los ángulos de foso y las relaciones de separación dependiendo del diseño y la geometría adoptados. Como tal, el diseño y la gestión de vías de acarreo sólidos pueden tener una influencia positiva significativa en el registro de seguridad, la rentabilidad y el impacto ambiental de una mina.

Thompson y Visser (22), sostienen que el rendimiento óptimo de una red de vías de acarreo solo se puede lograr a través de un enfoque integrado que congrega (1) geométrico, (2) estructural, y (3) diseño funcional así como (4) la adopción de una estrategia óptima de gestión y mantenimiento. El diseño geométrico cubre el diseño básico de las vías de acarreo en función de criterios de entrada como los tipos de camiones, la intensidad del tráfico, la vida útil de la vía de acarreo, los materiales de construcción disponibles y los costos. El siguiente paso, el diseño estructural, entra en más detalles, determinando factores como los materiales requeridos para el material de construcción de las vías de acarreo en función de la vida de diseño proyectada y la intensidad del tráfico. El objetivo aquí es garantizar que la vía de acarreo pueda acomodar las cargas impuestas sin costos excesivos de construcción o mantenimiento. El diseño funcional se ocupa principalmente de proporcionar un viaje seguro y amigable con el vehículo con el mejor rendimiento económico. La selección y el rendimiento del material del curso de uso son cruciales durante esta etapa, ya que es el factor de control para la resistencia a la rodadura,

la generación de polvo fugitivo, la calidad de conducción y las tasas de deterioro de la superficie. El último paso, la adopción de una estrategia óptima de gestión y mantenimiento, implica desarrollar el enfoque más rentable para mantener la funcionalidad de la vía de acarreo. Este tema se trata con más detalle más adelante en la subsección "Mantenimiento y administración". (21)

- **Diseño general y aspectos operativos de las vías de acarreo**

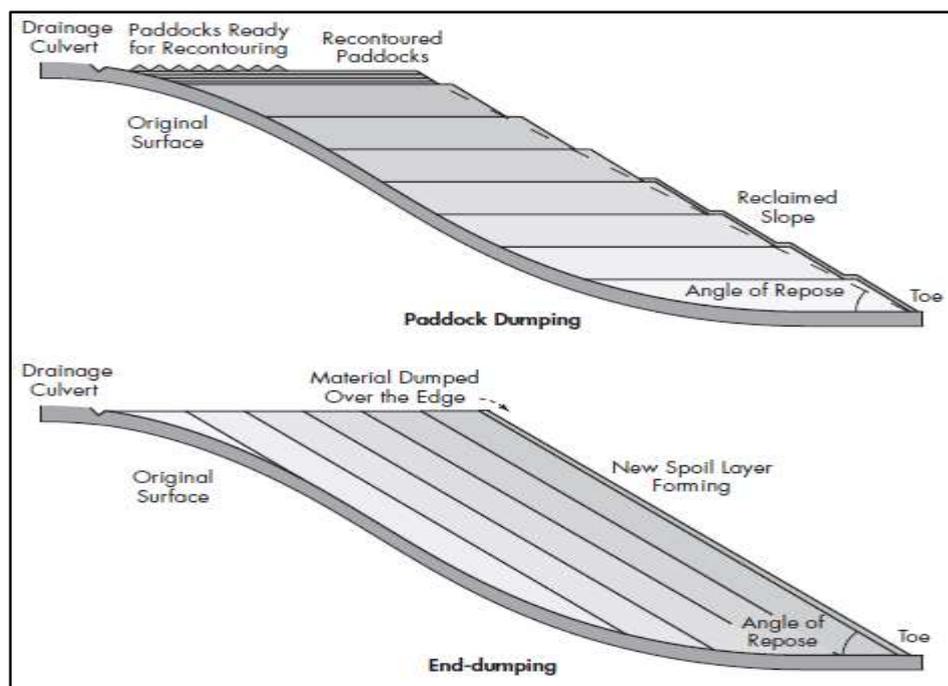
Dependiendo de la ubicación y el uso, las vías de acarreo son generalmente alrededor de 3–3.5 y 3.5–4 veces más anchas que el tamaño de camión más grande en rectas de dos vías y en curvas de dos vías, respectivamente. Efectivamente, esto coloca el ancho de la mayoría de las vías de acarreo de dos vías entre 20 y 35 m, y hasta 40 m en curvas. Para las vías de acarreo unidireccionales, generalmente es suficiente un ancho de 2 a 2.5 veces el del camión más grande. Las calificaciones recomendadas se encuentran entre 1 y 8 y 1 y 10 (10% –12.5%), pero las calificaciones más altas son posibles cuando se utiliza el transporte de asistencia por carro. Es importante mantener la pendiente lo más constante posible para que la operación del camión sea más fácil y eficiente. Cuando las velocidades superan los 15 km / h, las esquinas pueden estar peraltadas, aunque el peralte no debe superar 1 y 10 o 10 % (Caterpillar 2006). Para un mejor drenaje en las secciones planas, se debe considerar una pendiente transversal del 2% con camiones cargados en la parte superior. En pendientes, se requiere una pendiente transversal mínima. Por razones de seguridad, los ángulos entre las vías de acarreo en las intersecciones deben ser de 90 ° siempre que sea posible. Por último, en tramos de dos vías de acarreo se puede construir una berma central. Existe cierto debate sobre la efectividad de tales bermas; algunas minas las usan; otros los consideran obstáculos centrales sin ningún valor agregado que pueda causar la degradación de los neumáticos. (21)

- **Gestión y mantenimiento**

La resistencia a la rodadura es la resistencia al movimiento que experimenta un camión de arrastre debido a la fricción. Los principales contribuyentes son la carga de las ruedas y las condiciones del camino y, en menor medida, la flexión de los

neumáticos y la fricción interna. Las resistencias a la rodadura mínimas de 1.5% (conjuntos radiales y dobles) a 2 % (conjuntos de capas cruzadas o de una sola rueda) se cotizan para camiones de descarga trasera. Las estimaciones de la resistencia a la rodadura relacionadas con la penetración de los neumáticos indican un aumento en la resistencia a la rodadura del 0,6% / cm de penetración de los neumáticos en el camino de acarreo. (22)

Thompson y Visser también informan que pueden surgir resistencias similares de la desviación o flexión de la superficie de la vía de acarreo. Como el transporte es uno de los principales generadores de costos en una mina a tajo abierto; La reducción de la resistencia a la rodadura puede reducir considerablemente los costos de capital y operación. (21).



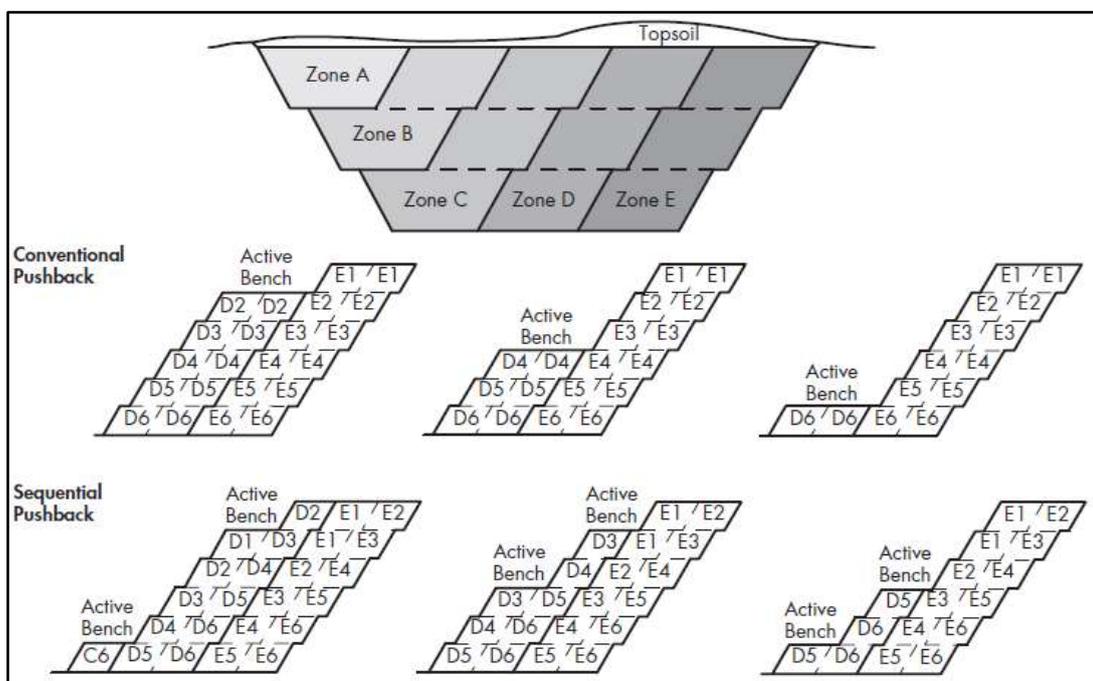
**Figura 22. Comparación entre el dumping paddock y el end-idumping**  
Tomado de Darling, 2011

- **Expansión del tajo**

La expansión de una mina a tajo abierto se realiza en una serie de fases, a menudo denominadas retrocesos o reducciones. Desde el punto de vista de la planificación, un retroceso debe estar dirigido a maximizar el rendimiento financiero de una mina. Cuando se planifica un retroceso, esto significa tener en cuenta no

solo la calidad de un material, sino también los costos de desarrollo, minería, procesamiento y comercialización. La geometría exacta de un retroceso es muy específica del sitio y depende de una variedad de factores que incluyen la geometría del cuerpo del mineral, los objetivos financieros, la consideración geotécnica, el equipo de minería, los objetivos de producción y la planificación a largo plazo.

El diseño general del tajo se muestra en la parte superior de la figura, dividido en diferentes zonas de retroceso. La parte inferior de la figura ilustra cómo ambos métodos extraerían el mismo retroceso de manera diferente. (21)



**Figura 23. Retrocesos convencionales y secuenciales**  
Tomado de Darling, 2011

### 2.2.6.3. Operaciones en la unidad operativa

En la minería, las operaciones unitarias se pueden definir como los pasos básicos necesarios para la producción de material pagadero de un depósito, y las operaciones auxiliares utilizadas para apoyar la producción (23)). Las operaciones de la unidad en un ciclo de producción a tajo abierto incluyen acceso, perforación y voladura, prácticas de excavación y métodos de transporte. Las operaciones auxiliares y otras actividades relacionadas con la producción incluyen la sobrecarga

y la eliminación de la capa superficial del suelo, las operaciones auxiliares y los servicios mineros, y el monitoreo y mantenimiento de equipos. (21)

#### **2.2.6.4.Perforación y voladura**

La perforación y la voladura comprenden las dos primeras de las cuatro etapas principales en el ciclo de producción de una mina a tajo abierto y el método más común para romper rocas. Otros métodos de ruptura de rocas, como la rotura mecánica y los mineros de superficie, generalmente no pueden competir en términos de tasa de producción o economía. (21)

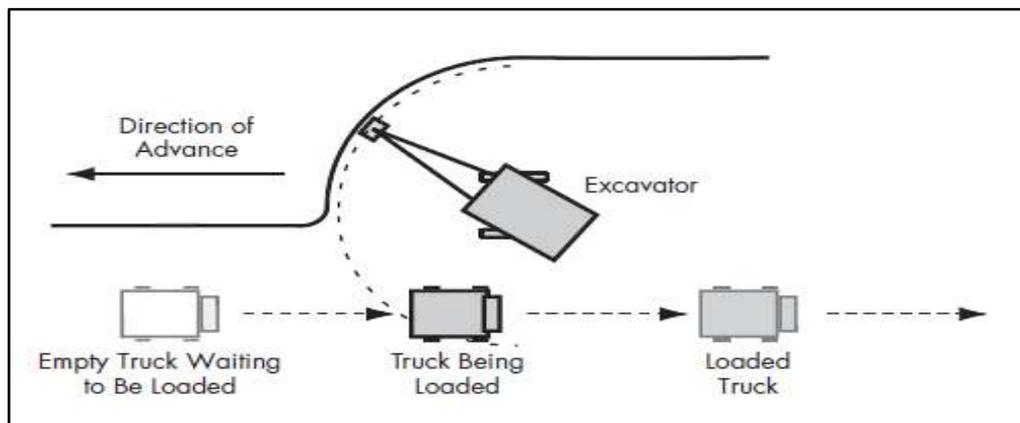
#### **2.2.6.5.Excavación**

La excavación es la tercera etapa principal en el ciclo de producción en una mina. Dependiendo del tamaño de la operación y del tipo de sistema de transporte, se utilizan palas de cable eléctrico, excavadoras hidráulicas o, en algunos casos, grandes cargadores frontales en operaciones de minería a tajo abierto. (21)

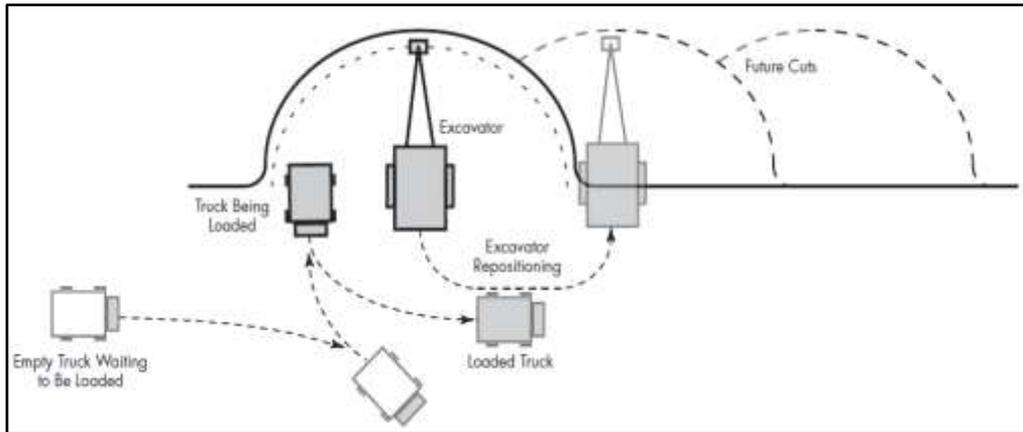
- **Control de grado, reconciliación y minería selectiva**

El objetivo final del control de ley y la minería selectiva es garantizar una alimentación constante del molino, así como minimizar la pérdida y dilución de mineral. Primero, el precio de los productos básicos controla las implicaciones de la pérdida de mineral, y la administración debe justificar los gastos adicionales relacionados con la extracción selectiva. Por último, el estilo de mineralización, a menudo específico del producto, dicta si el control de ley está más orientado hacia la discriminación de mineral / roca estéril o si se centra en el control de ley y de existencias. Los mejores resultados se obtienen al hacer zanjas en ángulo recto con respecto a la orientación prevista del cuerpo mineral. Sobre la base de los modelos producidos, se puede proporcionar una clara demarcación de mineral y roca estéril en áreas activas de operación, a menudo utilizando banderas o clavijas de colores. Colgar cintas de colores en la cara puede ayudar aún más a los operadores de excavadoras a discernir mineral y roca estéril. Se debe hacer una distinción entre el material de excavación libre y el material consolidado, porque la perforación y la voladura agravan las pérdidas potenciales de mineral y la

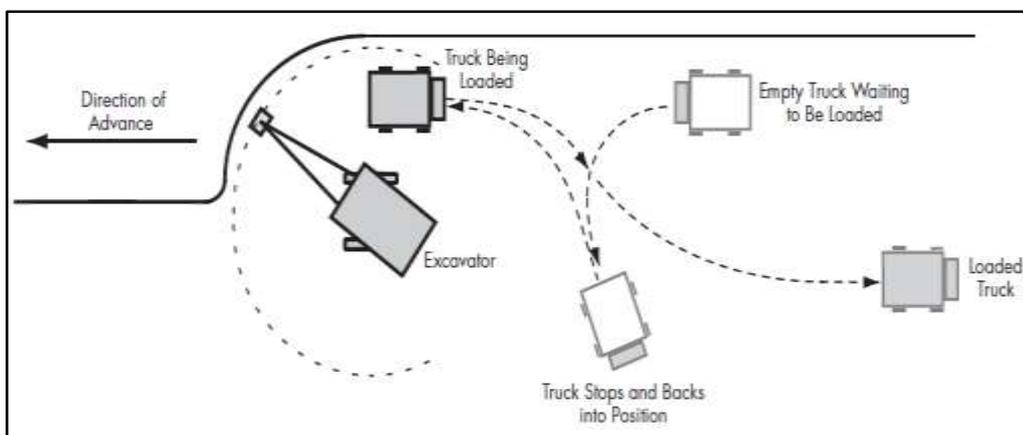
dilución. En el material de excavación libre, las excavadoras a menudo trabajan a través de la huelga del cuerpo mineral. Dependiendo de la geometría del cuerpo mineral y de la unidad de minería selectiva mínima de una excavadora, pueden ser tan pequeños como 1 m, aunque 2.5 m es un tamaño más común. Para minimizar el riesgo de dilución y pérdida de mineral en una operación de perforación y voladura, es importante que se inhiba la mezcla y el movimiento excesivos del material granallado. Cuando una explosión completa se encuentra en el mineral, el espacio y la carga se pueden reducir para aumentar la fragmentación y, posteriormente, reducir los costos de conminución. Si el mineral y la roca estéril se entremezclan en un nivel de sobreperforación, se arruinan antes de la demarcación de ambas zonas. Las excavadoras pueden usarse para separar el mineral y la roca estéril antes de excavar, aunque esto puede dar como resultado «manchas» del mineral o del margen de la roca estéril. En cualquier caso, supervisar las excavaciones de cerca es importante para garantizar el despacho correcto de los camiones y, posiblemente, para discernir visualmente los contactos de mineral / roca estéril durante la excavación. Después de cargar el mineral en un camión, debe ser enviado al vertedero o al arsenal correcto. Además de la discriminación de mineral / roca estéril y la asignación de grados metalúrgicos al material, el control de leyes también proporciona una base para la conciliación de las cifras de producción de la fábrica, los modelos geoestadísticos y los tonelajes y grados de producción en boxes. (21)



**Figura 24. Corte Frontal**  
**Tomado de Darling, 2011**



**Figura 25. Conducción operativa**  
Tomado de Darling, 2011



**Figura 26. Operación paralela de parada y reversa**  
Tomado de Darling, 2011

- **Consideraciones geotécnicas y monitoreo de taludes**

En el monitoreo de estabilidad de una mina a tajo abierto, los temas más resaltantes son la instrumentación geotécnica y estabilidad de taludes. Lo más importante es que los parámetros de la masa de roca determinan directamente la pendiente más pronunciada posible y el ángulo de la cara mientras mantienen un factor de seguridad aceptable, lo que tiene una gran influencia en la rentabilidad de una operación. En una excavación activa, el monitoreo continuo de la pendiente es crucial para predecir y prevenir fallas en la pendiente y, cuando la falla es inminente, mitigar los efectos de una falla en la pendiente. Un programa integral de monitoreo de estabilidad de taludes reduce el riesgo de grandes retrasos en la producción o incluso la esterilización de parte de una reserva de forma permanente como consecuencia de una falla en el talud. El diseño y monitoreo adecuados

pueden evitar en gran medida que ocurran estas situaciones. Otra situación en la que es importante el monitoreo de la pendiente del pozo es cuando hay trabajos subterráneos activos en las proximidades de una mina a tajo abierto. Las técnicas de monitoreo de estabilidad de taludes se pueden dividir en técnicas de monitoreo de superficie y subsuperficial. Las técnicas de monitoreo de superficie incluyen levantamiento visual, técnicas de medición directa, monitoreo de prismas, sistemas láser y sistemas de radar. Aunque el mapeo de discontinuidad y la fotogrametría pueden proporcionar información valiosa sobre los mecanismos de falla que no se pueden obtener utilizando otras técnicas, no proporcionan datos cuantitativos sobre la estabilidad de la pendiente y, por lo tanto, deben complementarse con al menos uno de los métodos discutidos en los siguientes párrafos. Las técnicas de medición directa incluyen medidores de ancho de grietas, medidores de inclinación y otros dispositivos similares. El monitoreo de prismas se basa en el uso de estaciones totales en posiciones de referencia permanentes y estables para determinar la distancia a los prismas montados en áreas de inestabilidad. Los sistemas láser se basan en un escáner láser para producir un modelo tridimensional de nubes de puntos de una pendiente. La mayor densidad de puntos en comparación con el monitoreo de prismas hace que el escaneo láser sea más completo que las técnicas de topografía convencionales. Las técnicas de monitoreo del subsuelo incluyen reflectometría en el dominio del tiempo, sondas de sondeo, extensómetros e inclinómetros. Estas técnicas se basan en la medición de los cambios de inclinación u otras características de un pozo que podrían indicar un deterioro de la estabilidad. Además, se utilizan técnicas de monitoreo sísmico. El enfoque más rentable para el monitoreo de estabilidad de taludes es generalmente una combinación de varias de estas técnicas donde se usan para complementarse entre sí. Por ejemplo, los sistemas láser o el monitoreo de prismas se pueden usar para determinar la estabilidad general de las pendientes del pozo e identificar posibles zonas de falla. Si se detecta la inestabilidad de una pendiente, se pueden utilizar extensómetros o sistemas de radar para una determinación más precisa de los movimientos en esta área. Una última consideración importante en la estabilidad de taludes es la presencia de agua subterránea. Los niveles freáticos en y alrededor de una mina son cruciales para mantener la estabilidad de la pared del

pozo, especialmente en áreas con material arcilloso o donde la roca se ve muy afectada por las discontinuidades estructurales. Si el clima tiene períodos de heladas prolongadas, los ciclos de congelación / descongelación pueden agravar aún más los efectos negativos del agua subterránea en la estabilidad de la pendiente. Además, las excavaciones en la superficie pueden tolerar un grado de falla en la pendiente que sería inaceptable en aplicaciones de ingeniería civil. Como resultado de esto, la disminución de la capa freática y la disminución del ángulo de la pendiente son a menudo las únicas opciones prácticas en la minería de superficie, aunque en algunos casos la aplicación de soluciones de ingeniería civil ha sido económicamente viable. (21)

- **Manejo de agua en el tajo**

Además, existen considerables ventajas geotécnicas, operativas y económicas para la gestión del agua en el tajo. Un enfoque sólido para la gestión del agua en el tajo requiere el desarrollo de estrategias de drenaje para las aguas superficiales y subterráneas y el monitoreo continuo del desempeño del plan de gestión del agua. Al decidir sobre los métodos de desagüe, es importante tener en cuenta no solo los factores mencionados anteriormente, sino también la logística relacionada con el desagüe de minas a tajo abierto. Esto incluye la interacción entre el método de desagüe elegido, la infraestructura relacionada con el desagüe y las operaciones de la unidad en una mina. Para maximizar las ventajas del desagüe, las secciones de una mina a tajo abierto deben desaguarse antes de que comience la extracción. Idealmente, los pozos, los pozos de drenaje, las líneas de bombeo y otras infraestructuras de desagüe se sitúan de tal manera que no requieran una nueva ruta a medida que avanza la minería. Además, el destino del agua extraída del pozo es una consideración importante. Hay varias ventajas para un programa de desagüe implementado correctamente. En primer lugar, las pendientes de los pozos de desagüe mejoran y mantienen la estabilidad de la pendiente. Por último, se reduce la afluencia de agua en los pozos de sondeo, lo que reduce la necesidad de desagüe de los pozos o el uso de explosivos resistentes al agua más caros. La lluvia puede constituir uno de los principales flujos de agua en un pozo abierto. La desviación de la corriente y los pozos de desagüe son las principales

actividades de gestión del agua fuera del perímetro de un pozo. Dentro del perímetro del pozo, se usan pozos de drenaje, sumideros, agujeros de drenaje horizontales y, en algunos casos, aditivos de drenaje o lechada para la gestión del agua. Dependiendo de la hidrogeología, los pozos de desagüe se pueden ubicar dentro de los límites del pozo o fuera de ellos. Donde la dirección del flujo es principalmente lateral, los pozos de drenaje fuera del perímetro del pozo son generalmente más efectivos. Una ventaja adicional de desaguar pozos fuera del perímetro del pozo es que pueden instalarse antes de que comience la minería. Sin embargo, son menos efectivos para prevenir la entrada vertical a través del piso del pozo. Para mitigar esto, los pozos de desagüe en pozo son más efectivos. Este tipo de pozo crea más extracción en el pozo que los pozos de drenaje fuera del perímetro del pozo, pero no se pueden instalar antes de la extracción, y generalmente también requiere una logística más complicada. Los agujeros de drenaje horizontales en el pozo se utilizan para despresurizar localmente las áreas seleccionadas. Los sumideros son cuencas de captación en la base de un pozo que tienen el propósito de recolectar agua dentro del pozo para que pueda bombearse nuevamente. Esta es una opción costosa que solo es efectiva si hay una característica geológica muy bien definida que produce la mayoría de la afluencia de agua en un pozo. (21)

### **2.2.7. Procesamiento de experiencia**

A continuación, se exponen algunos casos de deslizamiento de talud en la industria minera ocurridos en Perú desde 2016 al 2018 en Perú.

#### **2.2.7.1.**

#### **Casos**

##### **2.2.7.1.1.**

##### **Primer caso**

- ✓ Fecha y hora del accidente: 13 de mayo de 2016. Hora: 11:40 p.m.
- ✓ Lugar del accidente: tajo abierto Tentadora – zona oeste
- ✓ Unidad minera: Señor de los Milagros
- ✓ Ubicación de unidad minera:
  - Distrito: Mollepata.
  - Provincia: Santiago de chuco.

Región: La libertad

- ✓ Empresa contratista minera: Pool de Maquinarias Industriales Santa Patricia – Pomispa
- ✓ Titular minero: Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S. A.

- Descripción del accidente

Seis trabajadores (incluido el capataz) distribuidos de acuerdo a sus especialidades en diferentes tareas, tenían la orden de continuar con la extracción del material/mineral que consistía en el corte, perfilado del talud y carguío de mineral clasificado con la excavadora a los volquetes en el Nv-507 del tajo Tentadora. A las 11:40 p.m. el Jefe de Guardia de Operaciones Mina después de supervisar la zona de descarga de los volquetes en el Pad de lixiviación, retornaba al tajo Tentadora zona Oeste y se percata del deslizamiento de los taludes del Pad de lixiviación N° 16-19 y de los taludes de la parte alta (desde el Nv. 595 al 515) de dicho tajo que había sepultado totalmente a los equipos y a los trabajadores que venían laborando en el banco del Nv-507. Inmediatamente comunica a las autoridades internas de la unidad minera quienes coordinan y activan el plan de preparación y respuesta a emergencia e inician el rescate del personal en coordinación de las autoridades de la PNP y el Fiscal. (24)

- Causas del accidente

- a) Falla o falta de plan de gestión

- ✓ No contaba con el estudio geomecánico ni el diseño de taludes de la zona del accidente, ni con un ingeniero especialista en Geotecnia de manera permanente en la unidad minera.
- ✓ No contaba con estándares y PETS de perfilado de taludes de bancos de tajo Tentadora.
- ✓ Incumplimiento de las recomendaciones de los supervisores consignadas en la inspección realizada en el tajo Tentadora en mayo de 2016.

- b) Causas básicas

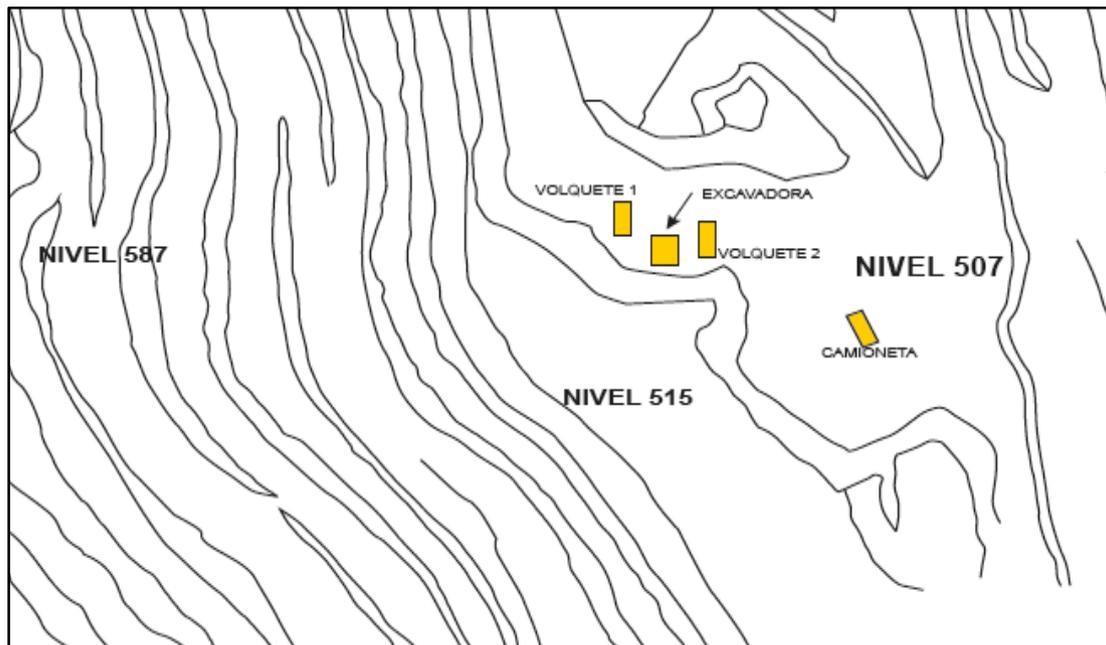
Factores de Trabajo

- ✓ No tomaron acciones con respecto a los peligros de inestabilidad de los taludes, rajaduras, bermas de seguridad reducidas y zona de carguío reducida en el tajo Tentadora, identificados por los trabajadores en el IPERC continuo.
- ✓ Supervisión geomecánica ausente y supervisión de seguridad deficiente por cuanto que no advirtieron la inestabilidad de los taludes de los bancos del tajo.

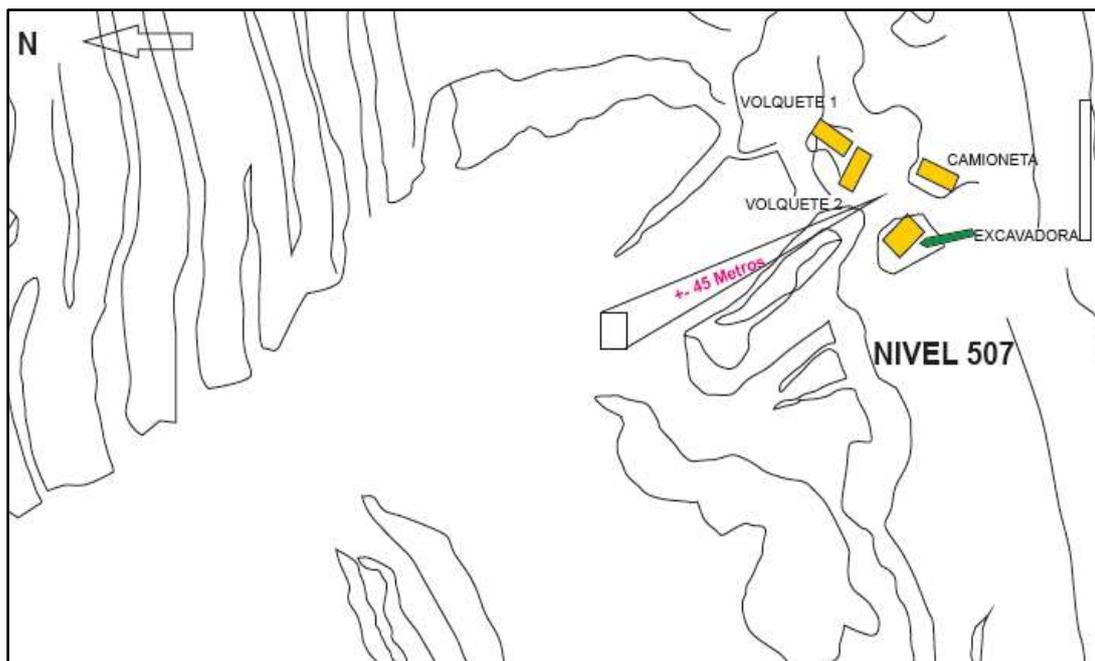
c) Causas inmediatas

Condiciones subestándares

- ✓ Taludes de los bancos del tajo inestables por socavamiento de la base de los mismos.
- ✓ Presencia de agua en la base de los Pads de lixiviación antiguo



**Figura 27. Caso 1 - Antes del accidente**  
**Tomado de OSINERGMIN, Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería 2016**



**Figura 28. Caso 1 - Después del accidente.**  
 Tomado de OSINERGMIN, Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería 2016

#### 2.2.7.1.2.

#### Segundo caso

- ✓ Fecha y hora del accidente: 15 de setiembre de 2016. Hora: 5:00 a.m.
- ✓ Lugar del accidente: Depósito de material estéril – Cienaga Norte.
- ✓ Unidad minera: Acumulación Tantahuatay.
- ✓ Ubicación de unidad minera:
  - Distrito. Chugur.
  - Provincia: Hualgayoc.
  - Región: Cajamarca.
- ✓ Empresa contratista minera: Geomyn & Asociados S.R.L
- ✓ Titular minero: Compañía Minera Coimolache S.A

- Descripción del accidente

En el turno de noche (de 7 p.m. a 7 a.m.) el operador de excavadora (accidentado) se encontraba en el depósito de material estéril – Cienaga Norte, realizando el carguío del material orgánico con la excavadora CAT modelo 320 DL al volquete Volvo de 15.0 m<sup>3</sup> de capacidad. Siendo la 1:15 a.m. aproximadamente, el supervisor de la empresa se encontraba supervisando la descarga del material orgánico en el depósito temporal del área del accidente, en esos instantes vio que

el muro de contención de material estéril del depósito temporal empezaba a colapsar con el consiguiente deslizamiento del material orgánico saturado. Frente a este hecho el supervisor de inmediato comunica mediante la radio a los operadores de los equipos y trabajadores que se encontraban en la zona baja a que se retiren hacia zona segura. El operador de la excavadora no logró salir del área de trabajo y fue arrastrado conjuntamente con el equipo unos 50 m. aproximadamente, quedando totalmente cubierto por el material orgánico deslizado. El cadáver fue recuperado de la cabina de la excavadora a las 5:00 a.m. del mismo día del accidente. (24)

- Causas del accidente

- a) Falla o falta de plan de gestión

- ✓ Incumplimiento del diseño aprobado del depósito de material estéril Ciénaga Norte, al construir con material estéril el muro del depósito temporal de material orgánico saturado.
- ✓ Supervisión deficiente al no haber hecho cumplir la realización de IPERC de la zona de trabajo.

- b) Causas básicas

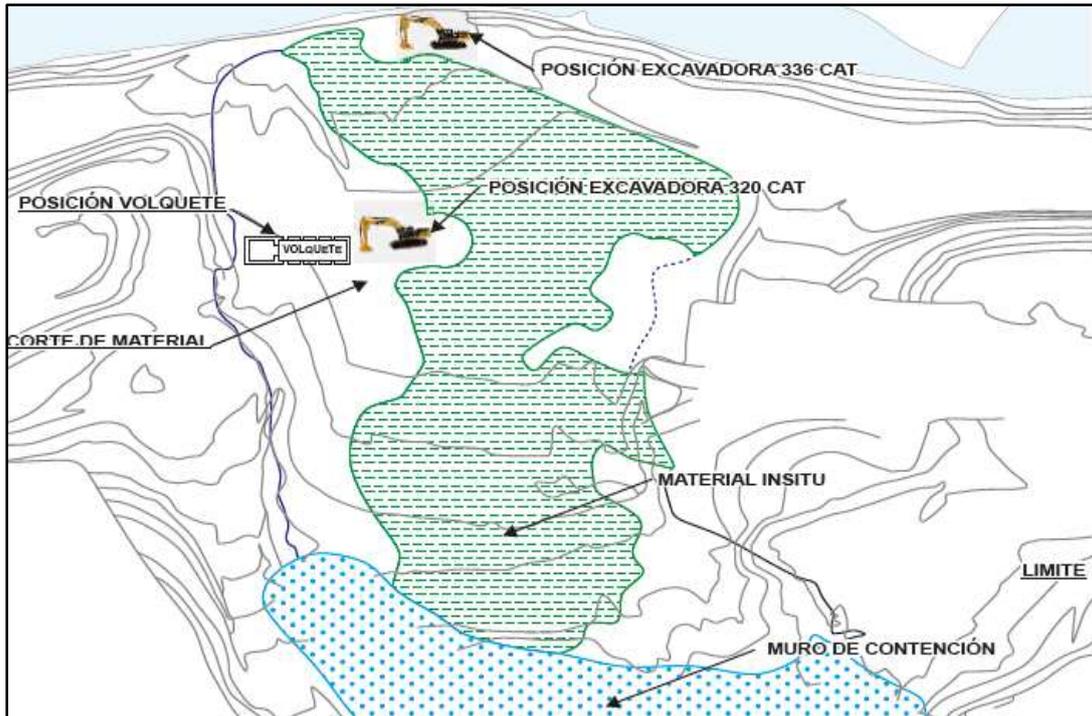
- Factores de trabajo

- ✓ No tomaron acciones con respecto a los peligros de inestabilidad de los taludes, rajaduras, bermas de seguridad reducidas y zona de carguío reducida en el tajo Tentadora, identificados por los trabajadores en el IPERC continuo.
- ✓ Deficiente supervisión al no exigir el cumplimiento del diseño aprobado del depósito de material y obviar la realización de IPERC del área de trabajo.

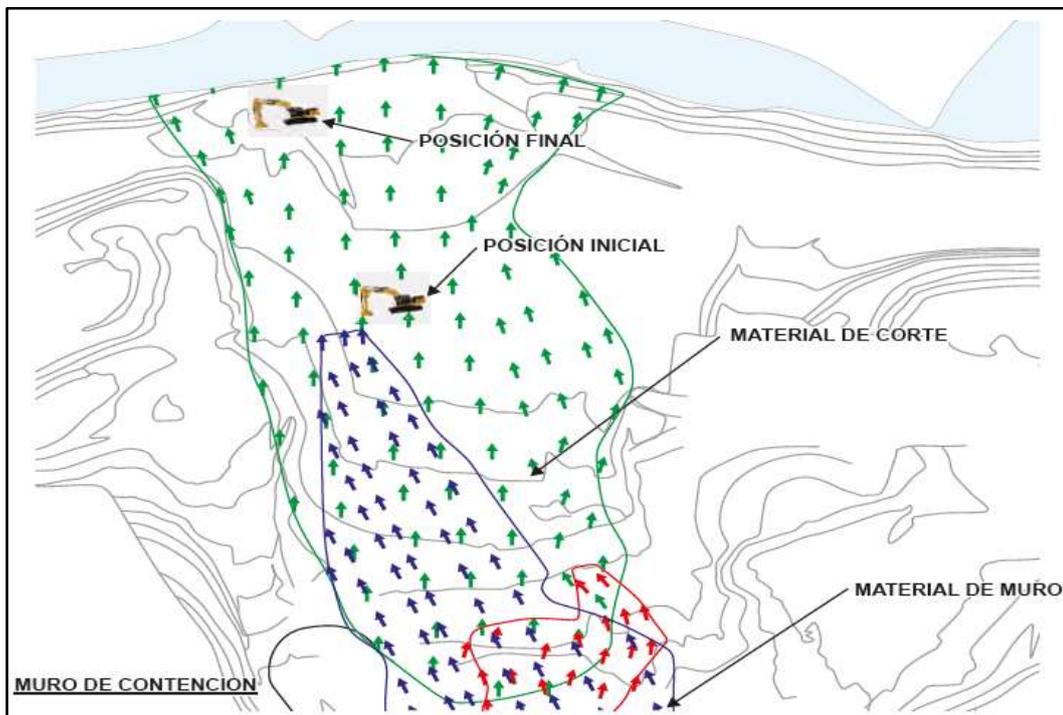
- c) Causas inmediatas

- Condiciones Subestándares

- ✓ Depósito temporal de material orgánico saturado (material inadecuado de desbroce) inestable por estar conformado de un muro de contención con material estéril sin parámetros de construcción y diseño, dentro del área que ocupa el depósito de material estéril de Ciénaga Norte.



**Figura 29. Caso 2 - Antes del accidente**  
 Tomado de OSINERGMIN, Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería 2016



**Figura 30. Caso 2 - Después del accidente.**  
 Tomado de OSINERGMIN, Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería 2016

### 2.2.7.1.3.

### Tercer caso

- ✓ Fecha y hora del accidente: 24 de febrero de 2017. Hora: 5:58 p.m.
- ✓ Lugar del accidente: Nivel 2273-2303 Tajo Cerro Verde Fase 4
- ✓ Unidad minera: Cerro Verde 1,2,3
- ✓ Ubicación de Unidad Minera:
  - Distrito: Uchumayo
  - Provincia: Arequipa
  - Región: Arequipa
- ✓ Empresa contratista minera: No Aplica.
- ✓ Titular minero: Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.

- Descripción del accidente

Mientras la pala 11 realizaba el perfilado de la cresta del talud del banco 2288 en el Tajo Cerro Verde Fase 4, se produjo un colapso de material del banco doble (de 30 m). La parte media superior del talud se desprendió con dirección a la cabina de la pala, y enterró parcialmente el equipo. Dentro de la cabina de la pala se encontraba el operador y el supervisor jefe de guardia, se rescató con vida al primero (operador), pero el segundo (Supervisor) falleció a causa del deslizamiento. (24)

- Causas del accidente

- a) Falla o falta de plan de gestión

- ✓ La falta de detección de la presencia de grietas paralelas a la cresta del banco doble en una longitud aproximada de 50.0 m.
- ✓ Falta de control oportuna en el riesgo de desprendimiento de rocas.

- b) Causas básicas

- Factores de Trabajo

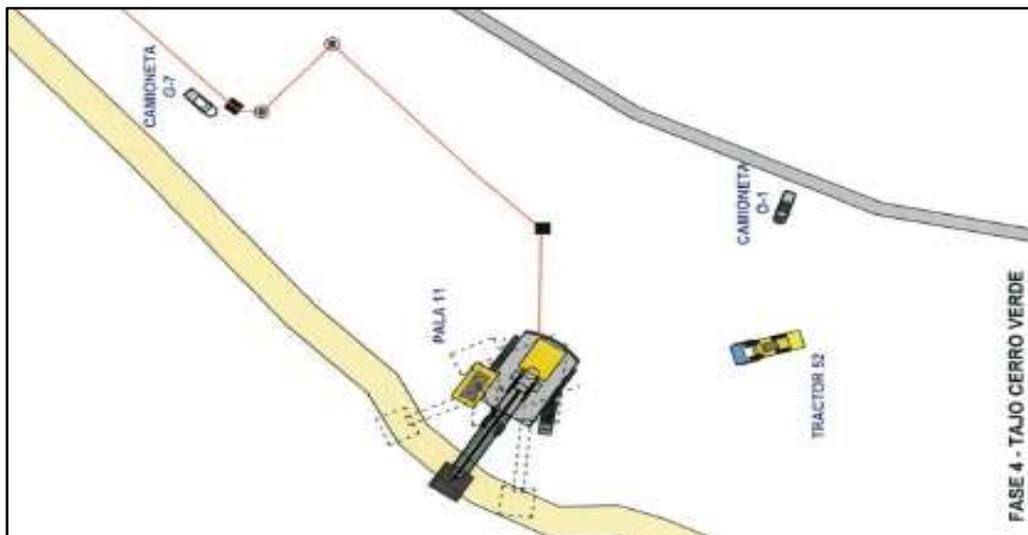
- ✓ Incumplimiento con el apartado "Minado de material" del PETS SCpr0300 Procedimiento Carguío de Material.
- ✓ Identificación y evaluación deficiente de exposición a pérdidas.

- ✓ Trabajo de perfilado del banco doble de 30 m, se realizaba con la pala P&H 2800XPC, que cuenta con un alcance vertical de brazo de 16 m.

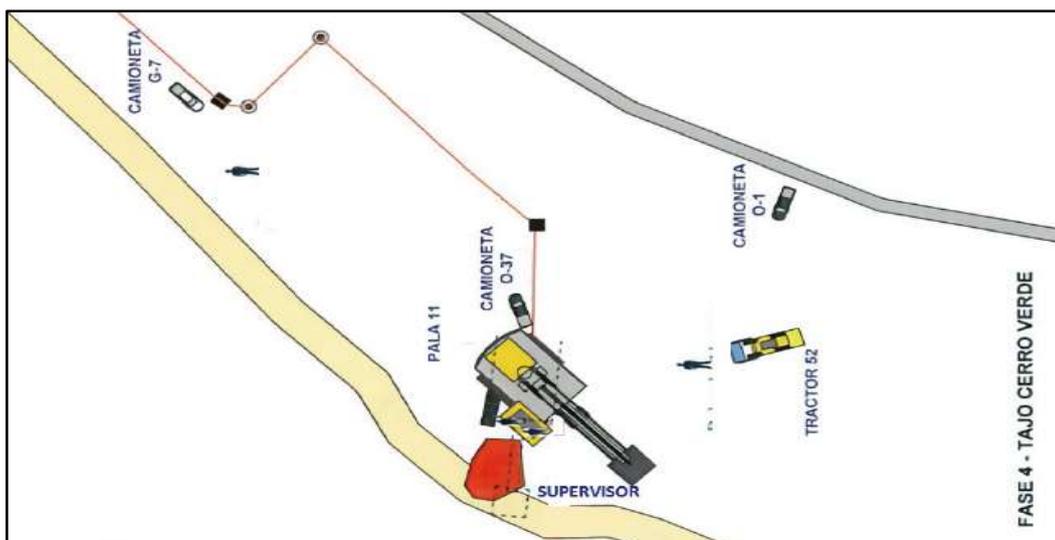
c) Causas inmediatas

Condiciones subestándares

- ✓ Grietas paralelas a la cresta del banco doble en una longitud aproximada de 50.0 m, siendo una labor de alto riesgo.



**Figura 31. Caso 3 - Antes del accidente**  
Tomado de OSINERGMIN, Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería 2016



**Figura 32. Caso 3 - Después del accidente**  
Tomado de OSINERGMIN, Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería 2016

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcances de la investigación**

#### **3.1.1. Método de la investigación**

##### **a) Método general o teórico de la investigación**

En la presente investigación se empleará el método científico como método general. En la actualidad según Cataldo menciona que el estudio del método científico es un objeto de estudio de la epistemología. (25)

A decir de Kerlinger, F., y otros “El método científico comprende un conjunto de normas que regulan el proceso de cualquier investigación que merezca ser calificada como científica”. Conjuntamente, esta acentúa que la aplicación del método científico al estudio de problemas pedagógicos da como resultado a la investigación científica. (26)

#### **3.1.2. Alcances de la investigación**

##### **a) Tipo de investigación**

El tipo de investigación de la presente tesis es aplicada porque según Oseda, persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Además, sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. (27)

## **b) Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es descriptivo simple, la cual determinara el grado de influencia de la variable independiente sobre la variable dependiente.

En nuestra investigación se ha de diseñar un flujograma de la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie con el propósito de reducir el nivel de riesgo relacionado con a la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes, siendo en este caso aceptado o tal vez rechazado.

#### **3.2.1. Tipo de diseño de investigación**

El tipo de investigación es descriptivo simple.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Según Oseda la población es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica, sea una ciudadanía común, la calidad de ser miembros de una asociación voluntaria o de una raza, la matricula en una misma universidad, o similares. (27)

La población es una mina con método explotación superficial por bancos

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra es una parte pequeña de la población o subconjunto de esta, que sin embargo posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra (poseer las principales características de la población) la que hace posible que el investigador, que trabaje con la muestra, generalice sus resultados a la población. (27)

En el caso de nuestro estudio es el deslizamiento de talud un banco.

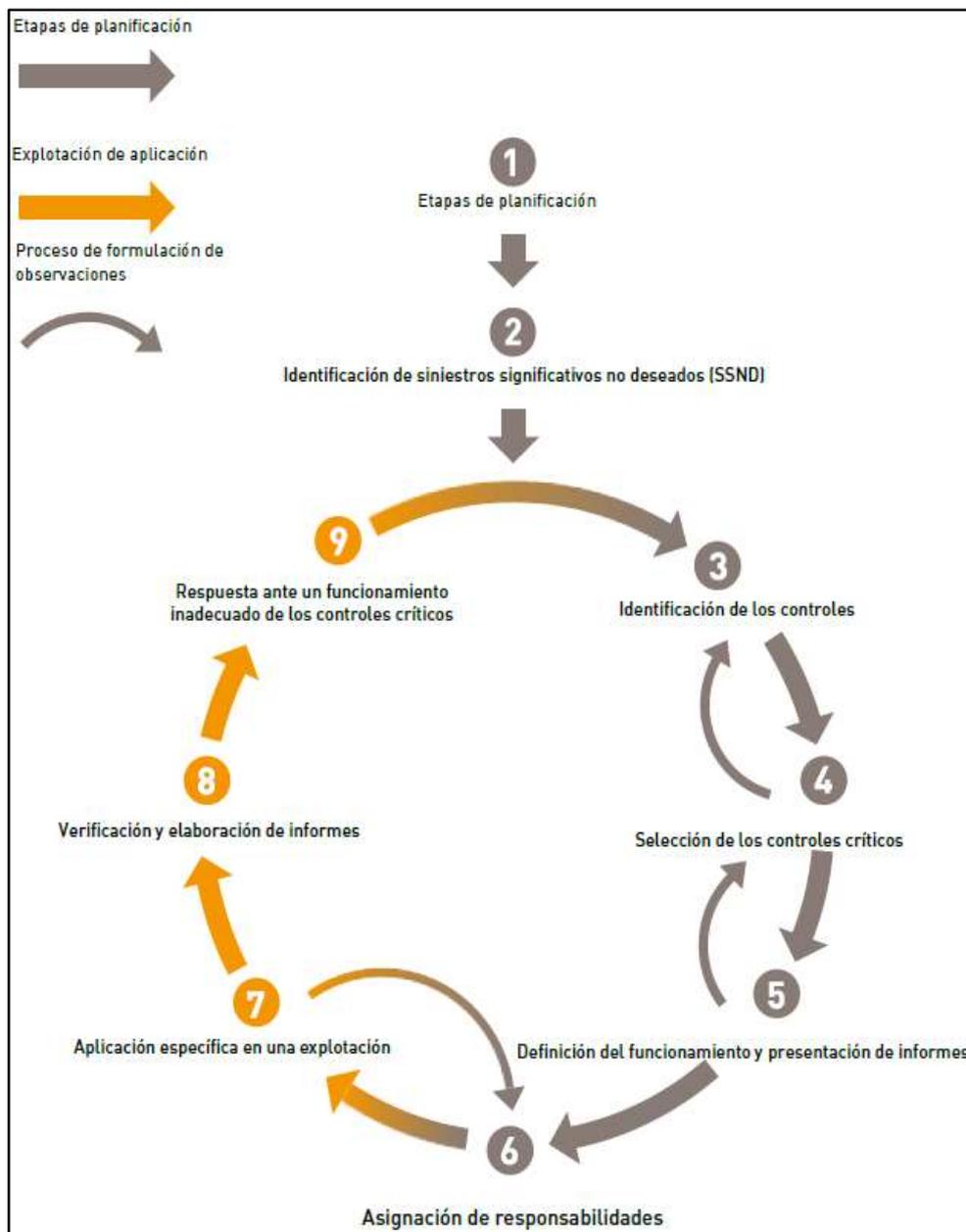
### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

##### 3.4.1.1. Método y procedimiento

##### 3.4.1.1.1. Método

El procedimiento a ejecutar en la investigación se ilustra mediante un gráfico reflejando los 9 pasos.



**Figura 33. Proceso de gestión de controles críticos.**  
Toamdo de ICMM, 2015

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Planificación del cambio**

Las lecciones extraídas a raíz de dichas experiencias mencionadas anteriormente, se reflejarán en la siguiente orientación sobre cómo aplicar la GCC. A continuación, se exponen las principales lecciones extraídas de otras empresas, en la industria minera.

- ✓ La mayoría de las empresas, ya cuentan con la información necesaria para aplicar un enfoque al estilo de la GCC en forma de identificación de peligros y evaluaciones de riesgos. Sin embargo, no habían sintetizado o resumido esa información en un formato que resultara sencillo de utilizar en la práctica.
- ✓ Por lo general, las empresas no pueden hacer las cosas bien a la primera; es necesario contar con experiencia. No obstante, esa experiencia resulta útil, ya que permite comprender mejor los SSND, los controles y los controles críticos.
- ✓ No existe una respuesta universalmente válida a la pregunta: ¿Cuáles son los controles críticos?. La respuesta dependerá de las circunstancias concretas que se encuentre el objeto de estudio de una explotación minera.
- ✓ La aplicación del enfoque de GCC requiere un método de gestión de proyectos y recursos humanos dedicados a ello.

- ✓ Siempre que sea posible, deberá aprovecharse la experiencia del personal interno de la empresa. En particular, será necesario contar con la participación de expertos en diferentes ámbitos técnicos. Sin embargo, también puede ser preciso recurrir a colaboradores externos, sobre todo en las fases iniciales de un proyecto de GCC.
- ✓ Se debe elaborar un plan realista para el proyecto, que no subestime el tiempo necesario para llevar a cabo un análisis exhaustivo de los SSND y desarrollar el material de la GCC.

Iniciaremos con la planificación del cambio es crucial para el éxito del proceso de GCC. Antes de adoptarlo, es necesario tomar algunas medidas. En esta sección se describen las acciones, los problemas y los temas clave que deben tenerse en cuenta antes de poner en marcha el proceso de GCC. Dichos temas clave son:

- ✓ las actividades de planificación.
- ✓ la definición del alcance del proyecto.
- ✓ la preparación de la organización.

#### **4.1.1. Actividades de planificación**

Antes de programar el proyecto de GCC, es necesario llevar a cabo una serie de actividades de planificación. De ese modo se garantiza que la organización cuente con la madurez y los conocimientos necesarios para delimitar correctamente esta tarea. A continuación, se describen estas actividades.

- ✓ Apoyo de la dirección superior

El compromiso de la alta dirección de cada empresa con el proceso ayudará a que este dé sus frutos. Es fundamental garantizar que la dirección superior comprenda el proceso de GCC y los beneficios que ofrece. Puede ser necesario recurrir a expertos externos.

✓ Un lenguaje común

Es esencial contar con una terminología común y acordada sobre el proceso de GCC para comunicar los conceptos clave. El personal tendrá diferentes niveles de experiencia con los SSND, así como de comprensión de los términos pertinentes (como los controles críticos, por ejemplo). El presente estudio poseerá una lista de definiciones y abreviaturas que puede resultar de utilidad; no obstante, cada organización deberá decidir la terminología más apropiada a su caso.

✓ Garantía del proceso

Es muy habitual que las organizaciones que se someten a un cambio experimenten una sensación de intranquilidad e incertidumbre. La adopción del proceso de GCC puede implicar un cuestionamiento de los procesos y procedimientos existentes, y alimentar ese tipo de sentimientos. Si existe la posibilidad de comunicar con claridad la garantía de los resultados del cambio, ello puede ayudar a aliviar la inquietud y la incertidumbre generadas.

#### **4.1.1.1. Definición del alcance del proyecto**

El alcance del estudio determinará las expectativas y los resultados del proceso de GCC. Es importante definir un alcance adecuado a su organización. Para ello, debemos tener en cuenta las preguntas siguientes.

✓ Tener claro el objetivo

Una correcta ejecución del proceso de GCC exige un cambio muy importante en la organización, así como recursos humanos, financieros y de capital significativos. Tenemos que examinar el último objetivo que persigue el proyecto y la organización en su conjunto. Podemos incluir, por ejemplo, marcos de apoyo como equipos investigadores, los sistemas existentes de gestión de la salud y la seguridad o los paquetes de formación. Una vez que tengamos una visión clara del “punto de llegada”, podrá identificar los resultados del estudio. Esto nos permitirá llevar a cabo un seguimiento de los avances y le ayudará a alentar y motivar al personal.

✓ Albergar expectativas realistas

Las organizaciones necesitan una expectativa realista con respecto al proceso de GCC. Una vez completado el proceso, no podrán tener una garantía total de que los riesgos de SSND están bajo control, pero contarán con sistemas para supervisar dichos siniestros. Se llevará a cabo una revisión constante y se introducirán mejoras para garantizar el máximo nivel de control de los SSND (tal como se expone en el paso 9).

✓ ¿Los plazos fijados son realistas?

La complejidad de la GCC suele ser mayor que la inicialmente prevista. Es habitual que un estudio de aplicación de la GCC requiera como mínimo un año. Las organizaciones deben estudiar cuál puede ser un plazo realista para su ejecución y, si es posible, pedir consejo a una organización similar que ya haya acometido este proceso.

✓ Tener un plan para los equipos de investigación del proyecto

Una estructura de equipo de investigación robusta es crucial para cualquier estudio de gran envergadura. Esto no debe confundirse con el equipo de la supervisión de los controles, que forma parte del proceso de GCC. Es posible que en la organización ya existan estructuras de equipos de supervisión. En caso contrario, una estructura sólida debe incluir:

- ❖ Estructuras y mecanismos internos de presentación de informe: esto incluye una identificación clara de las funciones y responsabilidades del personal, y debe definir mecanismos para informar sobre los avances logrados en el seno de la estructura de equipo de supervisión (que pueden estar integrados en los sistemas existentes).
- ❖ Una metodología o enfoque de gestión del cambio
- ❖ Un organismo encargado del estudio, como un comité de dirección o de gestión; este grupo garantiza una adecuada supervisión a lo largo de toda la vida del proyecto

✓ ¿Cuánta formación necesita su personal?

El responsable del estudio, el equipo encargado de su ejecución y la dirección superior de la organización deben comprender correctamente el enfoque de GCC, lo que incluye la teoría, la terminología, los desafíos y las ventajas de dicho enfoque.

✓ Tener en cuenta la experiencia y los conocimientos especializados ya disponibles en su organización

Toda organización debe aprovechar ante todo su propia experiencia en la gestión de SSND. A modo de ejemplo:

- ❖ Las organizaciones deben identificar los conocimientos especializados que ya posean a nivel interno, por ejemplo, el personal que haya participado en la gestión de riesgos de SSND o en acciones de formación sobre control de riesgos.
- ❖ Algunas organizaciones disponen de evaluaciones de riesgos y diagramas bow-tie que se pueden utilizar en el proceso de GCC.
- ❖ Aprender de los incidentes que se hayan producido en la empresa y en el conjunto de la industria minera.

#### 4.1.1.2.

#### **Preparación de la organización**

El presente estudio proporciona un modelo de transición a la GCC y una herramienta de identificación cuya finalidad es ayudar a una empresa, unidad explotación a conocer el nivel de madurez de su GCC en un momento dado. De ese modo la organización podrá evaluar su grado de preparación antes de adoptar el enfoque de GCC. Una madurez mayor sugiere una mayor capacidad para aplicar dicho enfoque.

Además de la herramienta, las organizaciones deberían analizar las cuatro preguntas siguientes para evaluar el grado de preparación:

- ❖ ¿Cuentan los responsables propuestos para el estudio con una comprensión, una educación y una formación adecuada?
- ❖ ¿Dispone su organización de una terminología coherente y acordada?
- ❖ ¿Cuenta con el apoyo de la dirección superior de la empresa?

❖ ¿Se han fijado plazos y resultados realistas para el proyecto?

Si la respuesta a las preguntas anteriores es “sí”, la organización cuenta con un nivel de preparación básico para adoptar el enfoque de GCC.

#### **4.1.2. Estudio del caso**

##### **4.1.2.1.Deslizamiento de talud en minería de tajo abierto**

Una empresa “x” dedicada a la extracción de cobre que desarrolla sus operaciones a tajo abierto con ubicación en la provincia de Yauli, en la región Junín – Perú, sus operaciones constituyen una combinación de actividades mineras. La empresa “x” cuenta con un total de 2.500 empleados en su operación aproximadamente. Cuenta con una planta concentradora que procesará 117,200 toneladas diarias de mineral, durante los 36 años de vida de la operación aproximadamente, un promedio de 1838 toneladas diarias de concentrado de cobre. Mediante las exploraciones geológicas se determinó que contiene una reserva de 1526 millones de toneladas de mineral con una ley promedio de cobre de 0.48%. Anteriormente dichas reservas fueron explotadas de manera subterránea. La empresa “x” desea aplicar una nueva estrategia con el fin de controlar mejor los riesgos operativos.

La dirección superior de la compañía es consciente de los riesgos pocos frecuentes pero catastróficos, reconoció una serie de sucesos leves, incluidos algunos incidentes de menor importancia, que podrían haber llegado a ser desastrosos, lo que sugería que la empresa seguía siendo vulnerable a un siniestro grave. Dado que recientemente se ha dado alertas de subsidencia, presencia de vacíos, deslizamientos de talud y caída de rocas, para lo cual la dirección superior de la compañía preguntó qué se podía hacer para mejorar el control de los riesgos graves a los que se enfrentaba esta.

##### **4.1.2.2.Procedimiento 1: Planificación del proceso – aplicación específica en una explotación**

En primer lugar, el equipo debe estar formado por personal adecuado con distintas funciones, diversos conocimientos especializados y diferentes niveles de

experiencia. La primera tarea es definir los objetivos del proyecto. El grupo tiene que reflexionar sobre la visión y los valores de la compañía, con el fin de armonizar los objetivos del proyecto con la estrategia de la empresa en materia de seguridad minera. Se establecen metas cuantificables para medir el logro de esos objetivos. Se articularán los beneficios del proyecto.

Optamos por ejecutar el proceso de GCC en la empresa “x” para un SSND el cual es “daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes” y como peligro sería “deslizamiento de talud”.

- **Contexto organizacional**

La visión de la empresa “x” es ser una empresa líder en la industria de la minería y la extracción de metales. Los valores de la empresa incluyen la protección del bienestar de sus empleados y la minimización de su impacto ambiental.

- **Objetivo del proyecto**

El objetivo del proyecto es implantar la GCC en la compañía.

- **Responsabilidades**

A nivel corporativo, el Director General y el equipo directivo supervisarán el proyecto; el responsable de seguridad, salud y medio ambiente, por su parte, se encargará de aplicar las orientaciones. A nivel de explotación, el responsable de esta se encargará de supervisar la ejecución, mientras que el responsable de seguridad minera se responsabilizará de la aplicación de los controles y los procesos conexos.

- **Unidades de negocio involucradas**

A nivel corporativo, las unidades de negocio involucradas incluirán al Director General de la compañía, a su equipo directivo y a la división de Seguridad minera. A nivel de explotación, el responsable de esta se encargará de aplicar el marco de GCC, mientras que el responsable de seguridad minera de la explotación se responsabilizará de la aplicación de los controles y las actividades de apoyo.

- **Cronograma**

El programa piloto se implantará con un único marco de controles críticos en un plazo de 12 meses.

#### **4.1.2.3.Procedimiento 2: Identificación de siniestros significativos No deseados**

- **Definición de riesgo de deslizamiento de talud**

- **Contexto**

Es un riesgo prevalente en cualquier operación a tajo abierto. Estos deslizamientos suelen producirse cuando se ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. Cuando esta se produce la masa rocosa es acelerada por efecto gravitacional. Existen varios tipos de falla las principales en una mina de tajo abierto son las fallas que actúan en rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud (falla de base). Además, las llamadas fallas locales, que ocurren en el cuerpo del talud, pueden afectar zonas relativamente superficiales, ver en la figura 12. Además, un colaborador o varios pueden fallecer a causa del deslizamiento dependiendo el área afectada. Entre otras consecuencias de este tipo de siniestros cabe citar las pérdidas económicas por los daños materiales sufridos, las acciones legales emprendidas contra la empresa o la interrupción de los procesos de trabajo.

- **Alcance**

Este peligro donde recientemente se ha dado alertas de subsidencia, presencia de vacíos, deslizamientos de talud y caída de rocas; en particular, en operaciones mineras superficiales en las que se extrae minerales metálicos y no metálicos. También puede existir en la minería de explotación subterránea, dependiendo de las características geológicas y de los métodos empleados.

- **Límites**

Actividades superficiales, actividades conexas (como el mantenimiento de talud) geometría de la mina, diseño del banco o rampa, mantenimiento de las vías de acarreo, control del polvo, sistemas de apoyo como la ejecución de cunetas para desfogue del agua y la expansión de la mina etc.).

- **Posibles consecuencias**

Daños inmediatos, lesiones o incluso la muerte como consecuencia del siniestro. Las consecuencias secundarias, como el cubrimiento por masas rocosas en el interior de la mina, las consecuencias a más largo plazo pueden incluir la pérdida de producción, retrasos en la actividad de transformación o el cierre de la mina.

#### 4.1.2.4. Procedimiento 3: Identificación de controles - selección de los controles críticos

1. Identificación del riesgo (evento principal, evento top, etc.)

Recopilación del listado de riesgos de seguridad:

- ✓ Inventario de riesgos
- ✓ Registro de incidentes
- ✓ Fuentes externas (sucesos, casos, incidentes, etc.)
- ✓ Lluvia de ideas de los talleres
- ✓ Revisión de todo el contenido del sistema gestión de seguridad

**Tabla 3. Definición de unidades geotécnicas y media de RMR**

Número	Litología	Alteración	RMR
1	Diorita	Sericítica	54
		Resto	47
2	Granodiorita y pórfidos (Feldespático, cuarífero, Dacítico y Yantac)	Silicificación, Endoskarn y Tremolita	40
		Resto	50
3	Hornfels y Basalto Montero	Todo	42
4	Skarn	Tremolita Actinolita	38
		Serpentina	40
		Resto	43
5	Skarn Magnetita	Todo	43
6	Sedimento Calcáreo, Lutita, Volcánico	Todo	39
	Catalina y Arenisca		

7	Anhidrita y Yeso	Todo	40
8	Intersección de fallas mayores < 60m		41

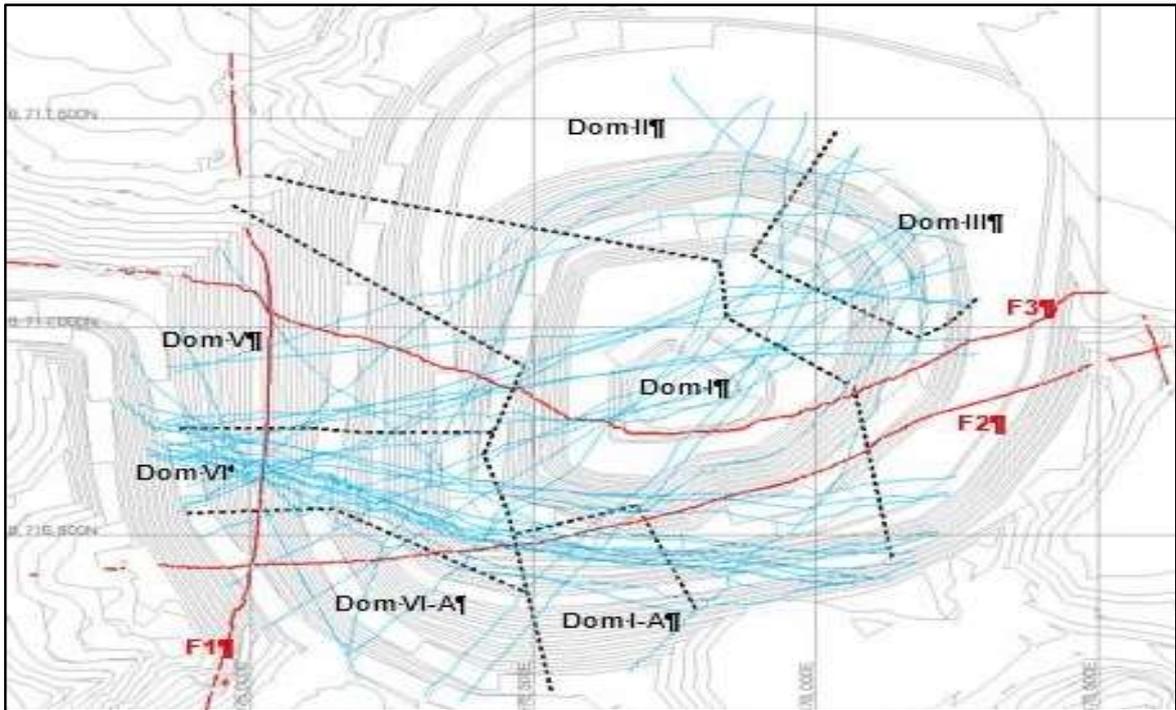
***Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”***

Los estudios para modelo estructural del tajo identificaron 7 estructuras mayores en el área de estudio (3 que interceptarían el tajo durante el quinquenio), las que están constituidas por fallas regionales, contactos geológicos y el anticlinal de Morococha:

- ❖ Las fallas regionales identificadas y mapeadas en el área de estudio forman dos sistemas principales, el primero con dirección NO-SE, y el segundo, SO-NE, ambos de carácter extensional.
  
- ❖ Los contactos geológicos por otro lado corresponden a contactos litológicos del basamento rocoso regional, que se caracterizan por presentarse bien diferenciados, y a contactos de las zonas de alteración hidrotermal, donde se presentan difusa y asociadas a zonas de brecha, evidenciando zonas de inestabilidad en los diferentes frentes del Tajo.
  
- ❖ El anticlinal de Morococha, llamado así en forma local, es un anticlinal con dirección de azimut NO-SE cuyo eje tiene una inclinación 15° NE, y forma la parte norte de una estructura regional mayor, llamada Domo de Yauli.

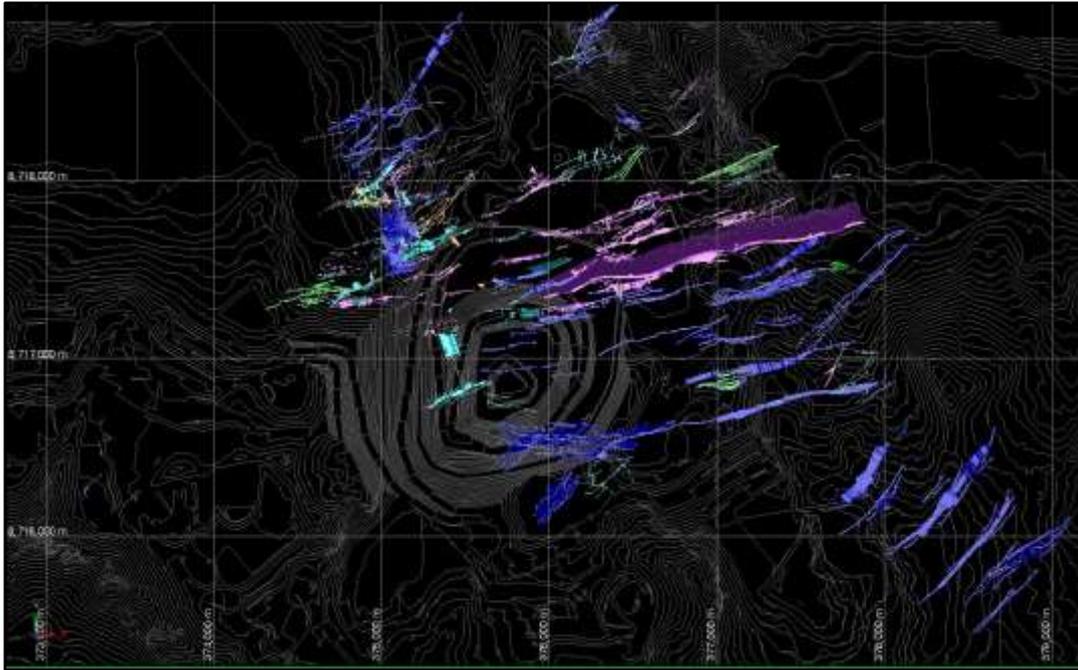
El análisis de contactos, realizado como parte del modelo geotécnico del tajo, indica que existen zonas de debilidad en las cercanías de la intersección de algunas fallas. Sin embargo, la distancia a las fallas no es concluyente, es decir, no existe suficiente evidencia para utilizar esta variable en el proceso de estimación. Se consideró de todas formas en el proceso de análisis (ver Tabla 2).

Adicionalmente, se identificaron y modelaron un total de 30 fallas locales en las paredes del tajo, y fueron propuestos siete dominios estructurales. La Figura 34 presenta para la topografía del año 2023 del Tajo, la definición de los 7 dominios estructurales y las trazas proyectadas en superficie de fallas mayores y fallas locales.



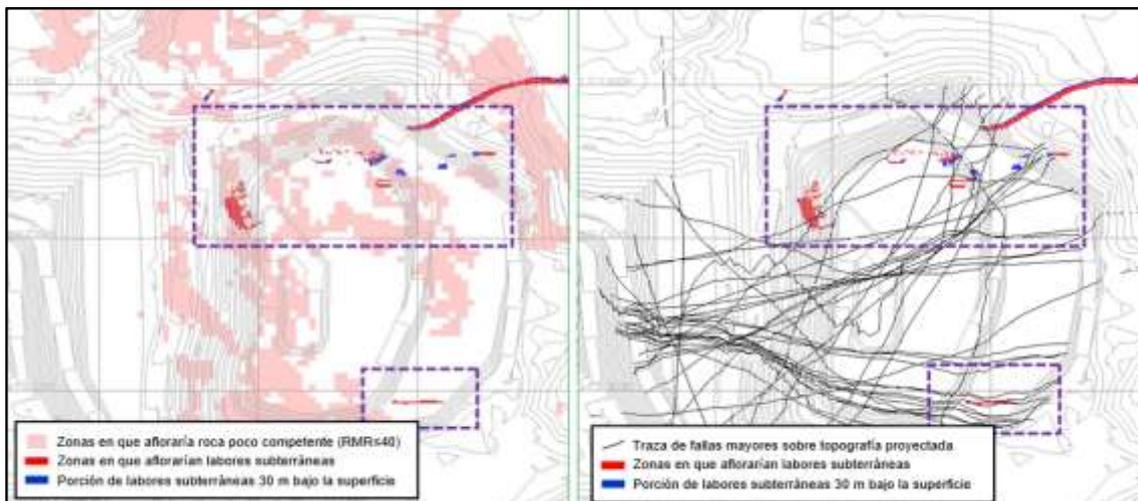
**Figura 34. Topografía al año 2023 del Tajo, definición de dominios estructurales y trazas proyectadas en superficie de fallas mayores y fallas locales  
Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”**

Como se mencionó, la explotación de mineral en el yacimiento de la mina tiene aproximadamente un siglo de historia, existiendo múltiples labores subterráneas parcialmente reconocidas, algunas de ellos explotados en forma artesanal, y otros mediante corte y relleno. Dada la importancia de contar con un levantamiento confiable de las labores antiguas, se ha llevado a cabo un control de calidad en la digitalización de estas a partir de los planos históricos. Del total de labores digitalizadas, se consideraron para revisión 191 modelos 3D de labores subterráneas, ya que no se dispone del plano original utilizado en la digitalización de los otros 66 modelos. La Figura 34 presenta una vista en plana de los 191 modelos que se han considerado para la revisión de la digitalización, junto con la topografía del tajo proyectada para finales del año 2023.

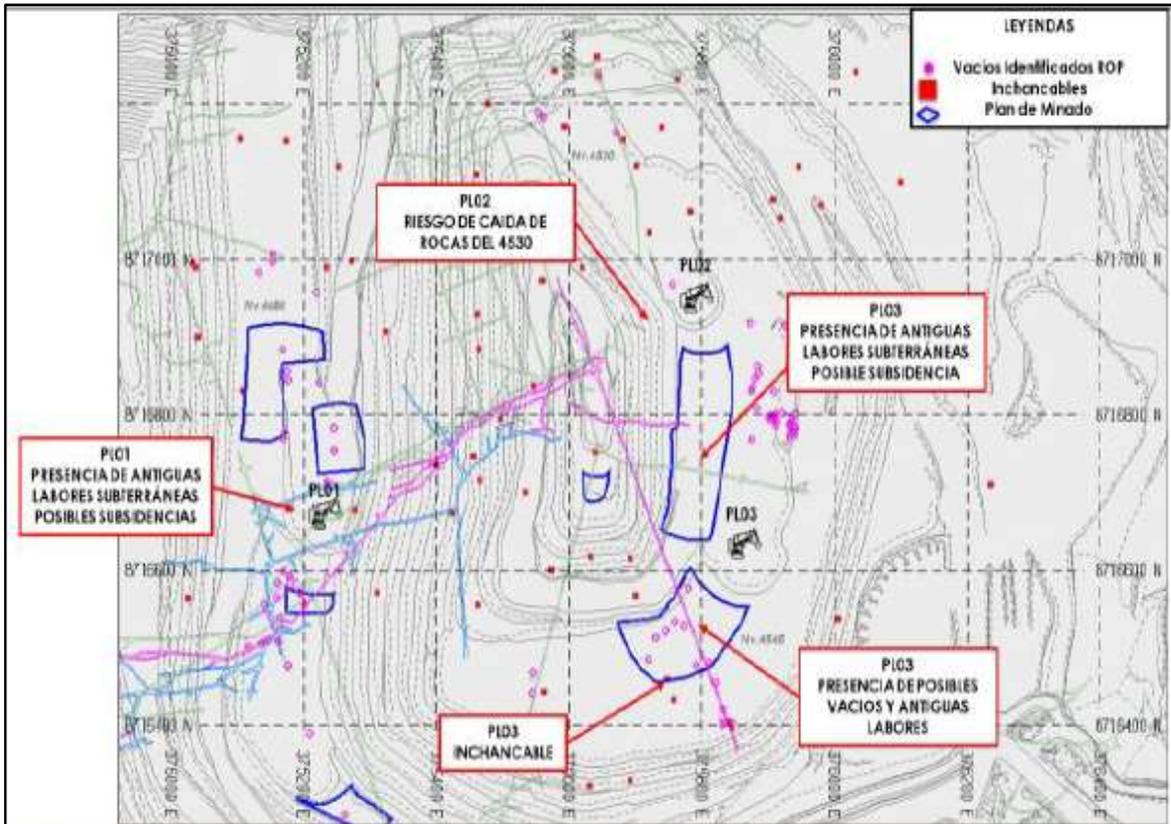


**Figura 35. Ubicación en planta de las labores antiguas digitalizadas  
Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”**

Finalmente, la Figura 36 presenta para la topografía proyectada del tajo para el año 2019, las zonas en que aflorarían (en rojo) y/o existiría una porción de labores subterráneas a una distancia menor a 30 m bajo la superficie (en azul), junto con la identificación de las zonas en las que se presentarían las unidades menos competentes (RMR menor a 40) y las trazas de las fallas mayores, mientras que la Figura 37 muestra un detalle en las áreas en que se localizarían las zonas en que se podría ver afectada la estabilidad de taludes, rampas o plataformas.

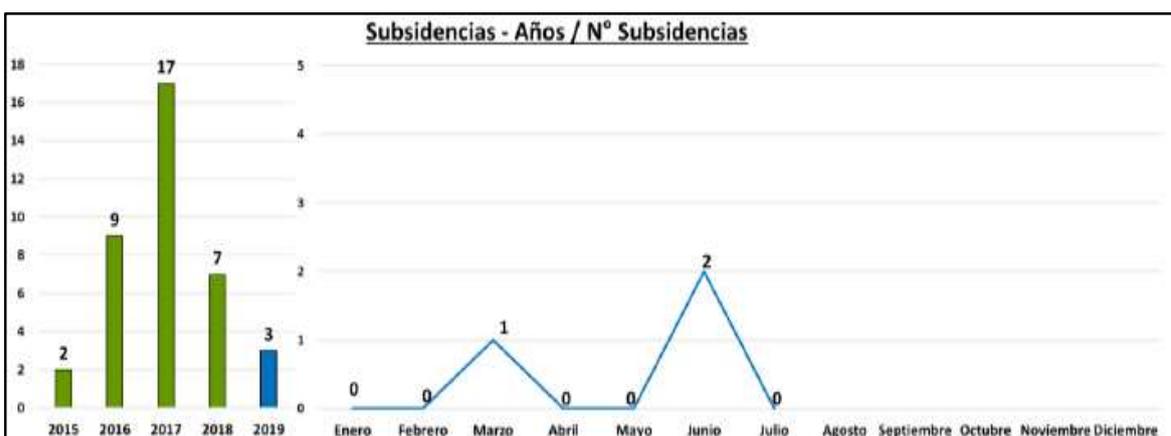


**Figura 36. Ubicación en planta de las labores antiguas digitalizadas – ZONAS  
Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”**



**Figura 37. Plano de Riesgos Geotécnicos del tajo - Julio 2019**  
**Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”**

Durante el 2016 se registró en operaciones mina 09 fenómenos de subsidencia, en el 2017 tenemos registrado 17 fenómenos de subsidencias (VACIOS), tal y como muestra el grafico. En el 2018 se han presentado 07 fenómenos de subsidencia. Durante el 2019 se ha tenido 03 fenómenos de subsidencia a la fecha.



**Figura 38. Cuadro comparativo de subsidencias 2015 Al 2019**  
**Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”**



**Figura 39. Deslizamiento de Talud**  
**Tomado de Geotécnia mina – Empresa “x”**

Procedemos a identificar el Top Evento



**Figura 40. Identificación de Top Evento**

## 2. Identificación de causas

COD	FACTORES CAUSALES - CAUSAS
CA1	Diseño inadecuado en el sistema de banco-berma.
CA2	Falta información.
CA3	Desviación en el diseño / Ejecución inadecuada / Diseño minero no cumple con los parámetros geotécnicos recomendados.
CA4	Rocas sueltas en pared o talud / Saneamiento inadecuado
CA5	Pérdida de la estabilidad del talud / Estabilidad por saturación de agua
CA6	Voladura deficiente o inadecuada
CA7	Falta de competencias
CA8	Malas prácticas operacionales / Reconocimiento inadecuado de desviaciones.
CA9	Construcción deficiente / Disciplina operacional (bermas saturadas / corte de banco deficiente)
CA10	Trabajo en vertical y simultaneidad
CA11	Evaluación inadecuada de las condiciones geotécnicas y estructuras del macizo.
CA12	Fallas en los controles o controles inadecuados (sistema de monitoreo, estándares inadecuados, comunicaciones, sistemas de contención, inspección geotécnica).
CA13	Ingresar a sectores en condición de riesgo geotécnico / Mala segregación / Mala señalización.
CA14	Comunicación inadecuada de los controles.
CA15	Inexistencia de elementos de monitoreo.
CA16	Falta de protocolo de entrega de banco e inspección geotécnica post voladura, botaderos, trabajos cercanos a talud.
CA17	Falta de plano de riesgo geotécnico.
CA18	Cambio de las condiciones geotécnicas del macizo / Condiciones naturales desfavorable.

**Figura 41. Identificación de causas**

### 3. Identificación de impactos

COD	DIMENSION	IMPACTOS
IM1	Salud	Efectos físicos inmediatos (lesiones graves)
IM2	Legal	Sanciones administrativas y penal
IM3	Imagen	Pérdida de credibilidad de la empresa (imagen corporativa)
IM4	Económico	Paralización de las operaciones daños a equipos e instalaciones
IM6	Seguridad	Uno o más fatalidades.
IM7	Social	Conflicto con las comunidades aledañas
IM8	Ambiental	Daño ecológico de mediano o largo plazo (habitabilidad del proyecto)

**Figura 42. Identificación de impactos**

#### 4. Identificación de controles preventivos y mitigadores

**Tabla 4. Requerimientos del personal**

CÓD	REQUERIMIENTOS DEL PERSONAL	CAUSAS
A1	Competencias del personal (C.C)	CA7-CA10-CA11-CA13
A2	Capacitación y entrenamiento	CA7-CA10-CA11-CA14
A3	Auditoría de comportamiento Seguro	CA7-CA10-CA11-CA15
A4	Acompañamiento y OPT sobre su actividad	CA7-CA10-CA11-CA16

**Tabla 5. Requerimientos de equipos**

CÓD	REQUERIMIENTO DE EQUIPOS	CAUSAS
B1	Segregación y control de acceso (C.C)	CA2-CA4-CA10-CA13
B2	Monitoreo geotécnico en zonas críticas	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA18
B3	Puntos de Convergencia, Sismógrafos (Geófonos)	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA18
B4	Estación robótica - radar slope (C.C)	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA18

**Tabla 6. Requerimientos de la organización**

CÓD	REQUERIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN	CAUSAS
C1	Control del diseño y disciplina operacional (C.C)	CA1-CA3-CA5-CA6-CA8-CA9-CA14-CA16
C2	Procedimiento de saneamiento y fortificación.	CA4-CA13
C3	Mapa o plano de riesgos (C.C)	CA2-CA4-CA13-CA17-CA18
C4	Procedimiento de operaciones para el riesgo de caída de rocas / Falla de terreno.	CA4-CA10
C5	Gestión del cambio.	CA3-CA18
C6	Plan de respuesta de emergencia (C.C)	CA1 al CA18
C7	Organismo médico en la operación	CA1 al CA18
C8	Póliza de seguros	CA1 al CA18

#### 5. Identificación de controles críticos (para todas las causas e impactos)

**Tabla 7. Identificación de controles críticos**

CÓD	C.C - PREVENTIVOS	CAUSAS	CONSECUENCIA
A1	Competencias del personal	CA7-CA10-CA11-CA13	IM2
B1	Segregación y control de acceso	CA2-CA4-CA10-CA13	IM1-IM2-IM3
B4	Estación robótica - radar slope	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA20	IM1-IM4-IM6-IM8
COD	C.C - MITIGADORES	CAUSAS	CONSECUENCIA
C1	Control del diseño y disciplina operacional	CA1-CA3-CA5-CA6-CA8-CA9-CA14-CA16	IM1-IM2-IM4-IM6
C3	Mapa o plano de riesgos	CA2-CA4-CA13-CA17-CA18	IM2-IM4-IM8
C6	Plan de respuesta de emergencia	CA1 al CA18	IM1-IM6-IM8

# Aplicación de Bow Tie

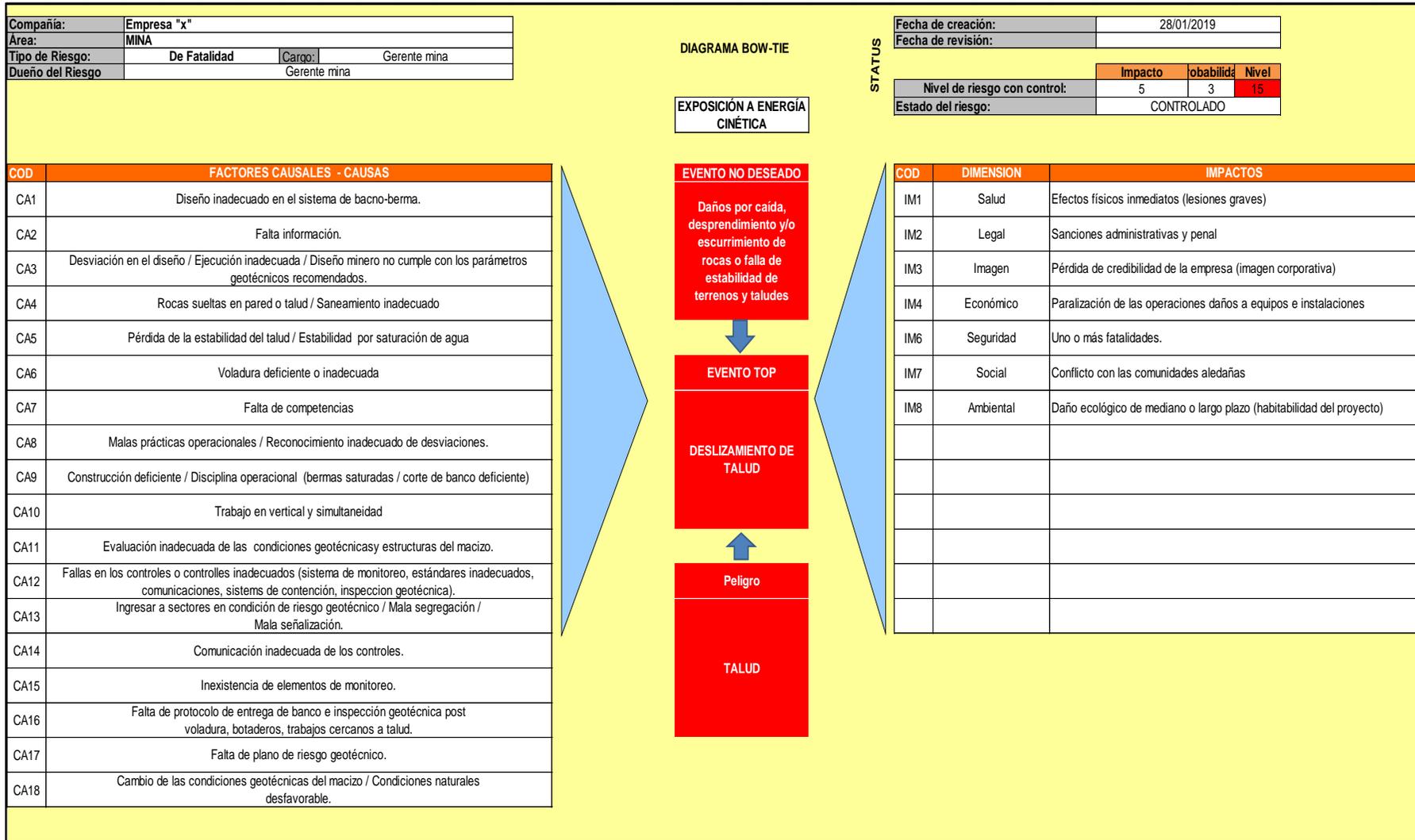


Figura 43. Diagrama de Bow Tie - Primera parte

COD	REQUERIMIENTOS DEL PERSONAL	CAUSAS	COD	REQUERIMIENTO DE EQUIPOS	CAUSAS	COD	REQUERIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN	CAUSAS
A1	Competencias del personal (C.C)	CA7-CA10-CA11-CA13	B1	Segregación y control de acceso (C.C)	CA2-CA4-CA10-CA13	C1	Control del diseño y disciplina operacional (C.C)	CA1-CA3-CA5-CA6-CA8-CA9-CA14-CA16
A2	Capacitación y entrenamiento	CA7-CA10-CA11-CA14	B2	Monitoreo geotécnico en zonas críticas	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA18	C2	Procedimiento de saneamiento, acuífadora y/o fortificación.	CA4-CA13
A3	Auditoría de comportamiento Seguro	CA7-CA10-CA11-CA15	B3	Puntos de Convergencia, Sismografos (Geófonos)	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA19	C3	Mapa o plano de riesgos (C.C)	CA2-CA4-CA13-CA17-CA18
A4	Acompañamiento y OPT sobre su actividad	CA7-CA10-CA11-CA16	B4	Estación robótica - radar slope (C.C)	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA20	C4	Procedimiento de operaciones para el riesgo de caída de rocas / Falla de terreno.	CA4-CA10
						C5	Gestión del cambio.	CA3-CA18
						C6	Plan de respuesta de emergencia (C.C)	CA1 al CA18
						C7	Organismo médico en la operación	CA1 al CA18
						C8	Póliza de seguros	CA1 al CA18

COD	CONTROLES CRITICOS - PREVENTIVOS	CAUSAS	CONSECUENCIA	DUEÑO
A1	Competencias del personal (C.C.)	CA7-CA10-CA11-CA13	IM2	
B1	Segregación y control de acceso (C.C)	CA2-CA4-CA10-CA13	IM1-IM2-IM3	
B4	Estación robótica - radar slope (C.C)	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA20	IM1-IM4-IM6-IM8	

COD	CONTROLES CRITICOS - MITIGADORES	CAUSAS	CONSECUENCIA	DUEÑO
C1	Control del diseño y disciplina operacional (C.C)	CA1-CA3-CA5-CA6-CA8-CA9-CA14-CA16	IM1-IM2-IM4-IM6	
C3	Mapa o plano de riesgos (C.C)	CA2-CA4-CA13-CA17-CA18	IM2-IM4-IM8	
C6	Plan de respuesta de emergencia (C.C)	CA1 al CA18	IM1-IM6-IM8	

COD	CONTROLES PREVENTIVOS	Causas	Dueño
A2	Capacitación y entrenamiento	CA7-CA10-CA11-CA14	
A3	Auditoría de comportamiento Seguro	CA7-CA10-CA11-CA14	
A4	Acompañamiento y OPT sobre su actividad	CA7-CA10-CA11-CA14	
B2	Monitoreo geotécnico en zonas críticas	CA2-CA4-CA10-CA13	
B3	Puntos de Convergencia, Sismografos (Geófonos)	CA2-CA5-CA9-CA12-CA15-CA17-CA18	
C2	Procedimiento de saneamiento, acuífadora y/o fortificación.	CA4-CA13	
C4	Procedimiento de operaciones para el riesgo de caída de rocas / Falla de terreno.	CA4-CA10	
C5	Gestión del cambio.	CA3-CA18	

COD	CONTROLES MITIGADORES	Consecuencia	Dueño
C7	Organismo médico en la operación	MI1	
C8	Póliza de seguros	MI1 AL IM8	

Figura 44. Diagrama de Bow Tie - Segunda parte

#### 4.1.2.5. Procedimiento 4: Definición del funcionamiento y la presentación de informes - asignación de responsabilidades

Tabla 8. *Función y responsabilidades*

Nivel	Función en la GCC	Denominación	Responsabilidades
A nivel corporativo		Consejo de administración	Recibe informes del equipo de dirección dos veces al año
		Equipo de Dirección de la empresa	Debate trimestralmente sobre los SSND y el estado de los controles críticos
		Director de Operaciones	Recibe y recopila los informes sobre los SSND y los controles críticos que envían todas las explotaciones de la compañía, y elabora informes corporativos
A nivel de operaciones	Responsable del SSND	Director de explotación/mina	Supervisa y examina mensualmente los informes sobre los SSND y el estado de los controles críticos, e informa al respecto al equipo de dirección de la empresa
	Responsable de controles críticos	Encargado	Informa semanalmente al responsable de SSND sobre el estado de los controles críticos
	Responsable de actividades de verificación	Supervisor	Lleva a cabo o supervisa las actividades de verificación, y proporcionar informes de actividad periódicos al responsable de controles críticos

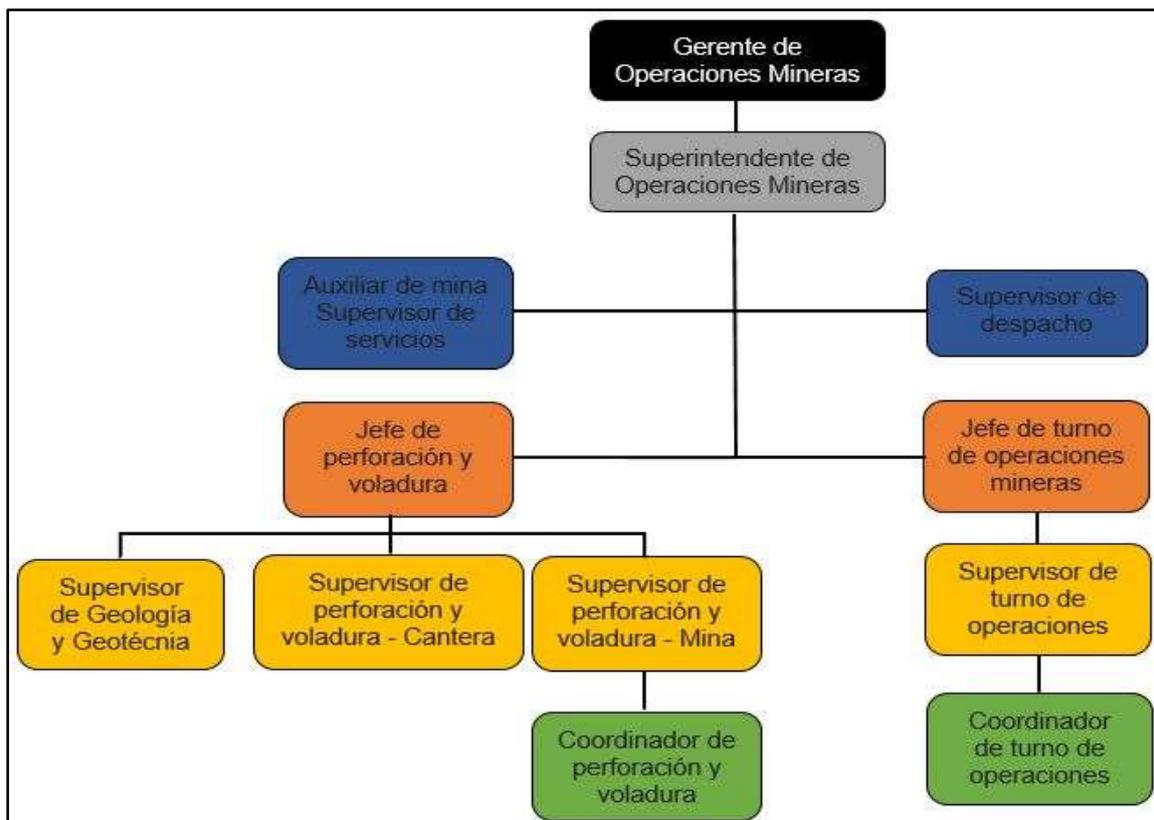
Tomado de ICMM, 2015

- **Cargos en el área de Seguridad Minera y Recursos Humanos**

- ✓ Gerente de Seguridad Minera
- ✓ Superintendente de Seguridad minera
- ✓ Ingeniero de Seguridad Senior
- ✓ Ingeniero de Seguridad
- ✓ Inspector de Seguridad
- ✓ Gerente de Recursos Humanos
- ✓ Jefe de Recursos Humanos
- ✓ Supervisor de Recursos Humanos
- ✓ Supervisor de Reclutamiento
- ✓ Supervisor de Talento Competitivo

Cada uno de los mencionados anteriormente cumplen la función de soporte en todo el ámbito de Seguridad en mina para cada orden jerárquico según corresponda.

Cada explotación aplica su estrategia de control de SSND específica, debemos de certificar de que se produzca una comunicación periódica entre el responsable de GCC de la compañía y el responsable del proyecto en la explotación. A medida que las explotaciones apliquen estas estrategias, pueden precisar de asistencia, por ejemplo, para diseñar e impartir la formación. A nivel corporativo, las empresas deben evaluar su capacidad interna para apoyar a las explotaciones y adoptar una decisión sobre el enfoque corporativo con respecto a la contratación de expertos externos. Por ejemplo, si una organización carece de la capacidad requerida para impartir la formación, deberá contratar un socio externo que lo haga en todas las explotaciones con el fin de garantizar la coherencia.



**Figura 45. Flujograma Organizacional Operaciones Mina**

#### 4.2. Árbol de decisión sobre controles críticos

El árbol de decisión sobre los controles críticos es una herramienta que puede ayudarle a determinar si un control es crítico

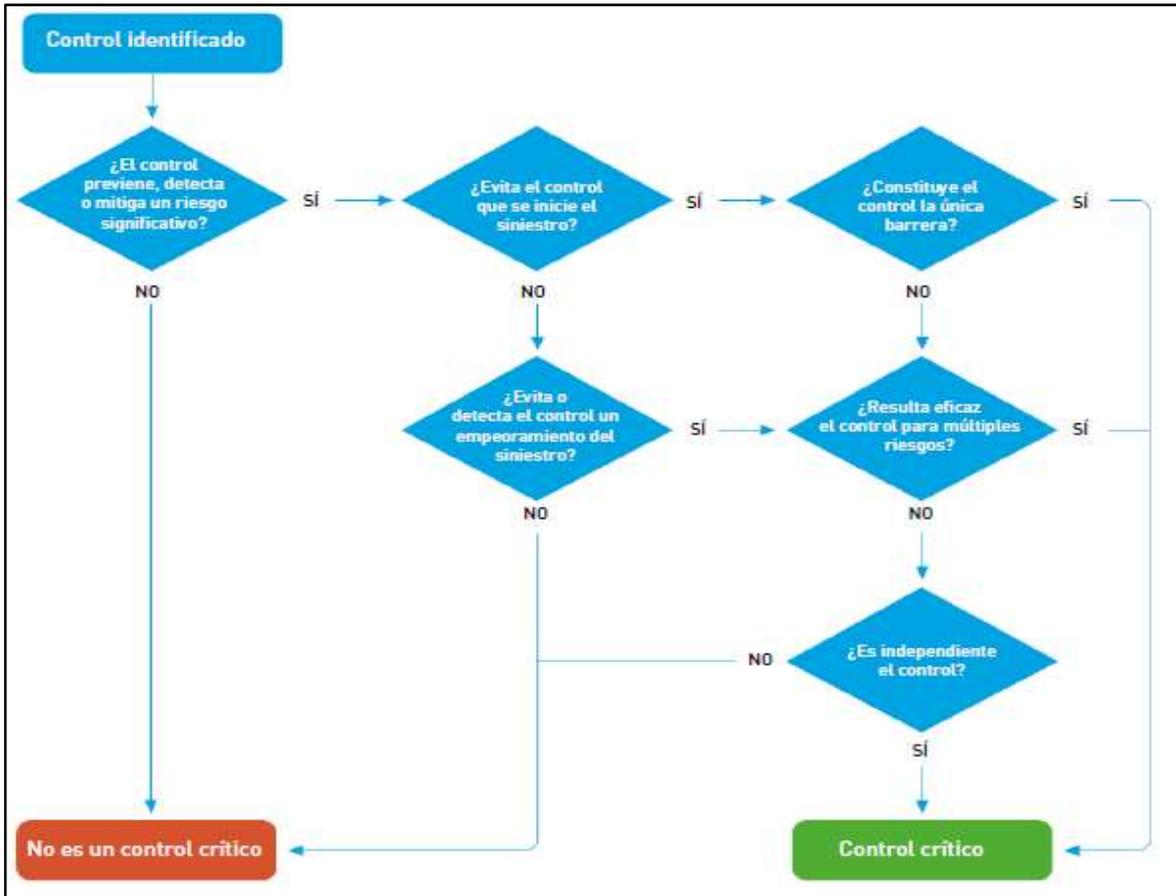


Figura 46. Árbol de decisión de controles críticos  
Tomado delCMM, 2015

### 4.3. Procedimiento 5: Verificación y elaboración de informes - respuesta ante un funcionamiento inadecuado de los controles críticos

Procederemos a examinar cada control crítico efectuado en nuestro análisis de Bow Tie

#### 4.3.1. Informe de control crítico: A1 – Auditoría de las competencias del personal

**Tabla 9. Informe de control crítico: A1 – Auditoría de las competencias del personal**

Informe de control crítico: A1 – Auditoría de las competencias del personal			Propietario asignado
SSND: Daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes			Gerente de Mina
1 ¿Cuál es la denominación del control crítico?			Jefe de Recursos Humanos
Auditoría de las competencias del personal			
2 ¿Cuáles son los objetivos específicos en relación con el SSND?			
Reducir el nivel de riesgo asociado a eventos con daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes, respecto al personal que desarrolla actividades con exposición al riesgo de caída de rocas y falla de terreno debe tener la experiencia y preparación académica, respecto de la identificación de este peligro, métodos de control y conocer las zonas críticas con potenciales caídas de roca y falla de terreno.			
3 ¿Qué requisitos de desempeño deben satisfacer los controles críticos para cumplir los objetivos?	4 ¿Qué actividades respaldan o activan el control crítico?	5 ¿Qué actividades deben verificarse con objeto de comprobar el desempeño del control crítico?	Propietario asignado
Personal Calificado con la experiencia y conocimientos para realizar el filtro de competencias de los colaboradores que se sumaran al desarrollo de las operaciones.	Se ha establecido estos 5 componentes básicos para la gestión del talento humano los cuáles son: ❖ Conocimiento  ❖ Habilidad  ❖ Valor  ❖ Actitud  ❖ Competencia	Realizar las auditorías tomando como referencia la matriz de competencias de cada puesto de trabajo que realice operaciones en mina, sin omisión alguna.	Supervisor de Recursos Humanos  Ingeniero de Seguridad Senior
	También se destacan el desempeño y las competencias laborales que constituyen un nivel más profundo que la simple técnica. Mientras que esta última serían los conocimientos para ejecutar una tarea.	Revisión y ar seguimiento semanal de las competencias de los colaboradores que se estén adecuando a más funciones, también a personal que se está integrando a las operaciones.	Supervisor de reclutamiento  Ingeniero de Seguridad
	Es muy importante el análisis de estas dos competencias.  • <b>Competencias personales:</b> aquellas adquiridas por la educación obligatoria, como sumar, restar o leer.	Realizar los test y programa de reinducción de operaciones, personal que se está integrando por vacaciones, personal nuevo, personal que se está adecuando a nuevas funciones.	Supervisor de Talento Competitivo

- **Competencias sociales:** integradas en la socialización. Saber ciertas normas de conducta básicas o de estándares sociales.

**6 ¿Cuál es el objetivo de desempeño fijado para el control crítico?**

El objetivo principal es asegurar que las personas asignadas a las distintas actividades sean las más idóneas para una función determinada. A su vez, permite integrar en torno al concepto de competencias todos los subsistemas que conforman la GCC.

**7 ¿Qué factor del desempeño del control crítico desencadena el cierre, la revisión del control crítico o una investigación?**

El 100% de las auditorías indican que las competencias superan el umbral definido para el desempeño de los colaboradores en operaciones mina.

**4.3.2. Informe de control crítico: B1 – Segregación y control de acceso**

**Tabla 10. Informe de control crítico: B1 – Segregación y control de acceso**

<b>Informe de control crítico: B1 – Segregación y control de acceso</b>			Propietario asignado
SSND: Daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes			Gerente de Mina
<b>1 ¿Cuál es la denominación del control crítico?</b>	Segregación y control de acceso		Jefe de Operaciones Mineras
<b>2 ¿Cuáles son los objetivos específicos en relación con el SSND?</b>	Reducir el nivel de riesgo asociado a eventos con daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes, respecto a la cantidad de personal que desarrolla actividades en operaciones minan incluidas conexas. Previa identificación de colaboradores al ingreso, que desempeñen sus labores en operaciones mina, así como el tránsito de vehículos autorizados.		
<b>3 ¿Qué requisitos de desempeño deben satisfacer los controles críticos para cumplir los objetivos?</b>	<b>4 ¿Qué actividades respaldan o activan el control crítico?</b>	<b>5 ¿Qué actividades deben verificarse con objeto de comprobar el desempeño del control crítico?</b>	Propietario asignado
Todo el personal que ingrese a mina deberá portar el fotocheck de identificación, en el cual indica la autorización de ingreso y tránsito en operaciones mina.	Se ha instituido puestos de vigilancia, en la zona norte una garita de control, el cual es punto de ingreso a mina Se efectúa un programa de ingreso para personal nuevo que ingresara a operaciones mina, el cual conlleva a las actividades directas y conexas que se realizan.	Supervisión y verificación del personal que cual brindara el servicio de control de ingreso a operaciones mina  Aseveración de todo el personal que tenga la obligación de ingresar, previamente debe estar instruido en todas las actividades que se realicen en operaciones mina sean directos o conexas.	Supervisor de Operaciones  Ingeniero de Seguridad Senior  Supervisor de operaciones  Ingeniero de Seguridad

En la segregación se instalarán letreros para la identificación del área se debe considerar la instalación y el retiro con respecto a los trabajos. En toda segregación se debe contar con un letrero en el punto de acceso.

Esto debe identificar al supervisor a cargo e indicar la frecuencia radial y/o número telefónico. Se aplicará gestión de consecuencias. La violación a una segregación de área o control de acceso en torno a zonas de riesgo geotécnico, se considera falta grave.

Supervisor de operaciones  
Ingeniero de Seguridad  
Inspector de Seguridad.

**6 ¿Cuál es el objetivo de desempeño fijado para el control crítico?**

El objetivo principal es monitoreo de ingreso y salida del personal, respetando el horario de trabajo, teniendo en cuenta la presencia y/o ausencia del colaborador.

**7 ¿Qué factor del desempeño del control crítico desencadena el cierre, la revisión del control crítico o una investigación?**

El 1% de colaboradores que no cuenten con la autorización de ingreso a operaciones mina, indica la ineficiencia por parte de garita de control.

**4.3.3. Informe de control crítico: B4 – Estación robótica - radar Slope**

**Tabla 11. Informe de control crítico: B4 – Estación robótica - radar Slope**

Informe de control crítico: B4 – Estación robótica - radar Slope			Propietario Asignado
SSND: Daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes			Gerente de Mina
<b>1 ¿Cuál es la denominación del control crítico?</b>			Superintendente de Operaciones Mineras
<i>Estación robótica - Radar slope</i>			
<b>2 ¿Cuáles son los objetivos específicos en relación con el SSND?</b>			
<i>Reducir el nivel de riesgo asociado a eventos con daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes, respecto a los movimientos que ejercen los taludes en mina en las 4 direcciones cardinales, en sus diferentes niveles según se van desarrollando en el tajo.</i>			
<b>3 ¿Qué requisitos de desempeño deben satisfacer los controles críticos para cumplir los objetivos?</b>	<b>4 ¿Qué actividades respaldan o activan el control crítico?</b>	<b>5 ¿Qué actividades deben verificarse con objeto de comprobar el desempeño del control crítico?</b>	Propietario Asignado
El equipo debe estar dentro de los parámetros establecidos según MSHA (por sus siglas en inglés, agencia de seguridad en minas y administración de la salud) y otras organizaciones, como el	Inspeccionar cada parte del Radar antes de cada turno para detectar cualquier posible daño, y realizar las tareas de mantenimiento que puedan ser necesarias.	Supervisión de las actividades del personal que realiza mantenimiento del radar.	Supervisor de Operaciones Ingeniero de Seguridad Senior

**4.3.4. Informe de control crítico: C1 – Control del diseño y disciplina**

Radar para Monitoreo de Taludes (SSR).	Calibración del sensor de movimiento de tierras y conexión con la estación robótica para garantizar que detecte movimientos en el talud.	Programa de calibración y mantenimiento del radar. Verificación de conectividad de radar a estación robótica para el monitoreo de taludes	Supervisor de operaciones Supervisor de Geología y Geotécnia
--	--	---	---

**6 ¿Cuál es el objetivo de desempeño fijado para el control crítico?**

El objetivo principal es monitoreo de movimientos de tierra que efectué los taludes en todos los puntos cardinales, así poder anticipar ante un posible deslizamiento.

**7 ¿Qué factor del desempeño del control crítico desencadena el cierre, la revisión del control crítico o una investigación?**

La pérdida del 1% de conexión de radar con la estación robótica generaría un fallo en el monitoreo de movimientos de tierra, lo cual afectaría a la continuidad de las operaciones.

**operacional**

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 12. Informe De Control Crítico: C1 – Control del diseño y disciplina operacional**

<b>Informe De Control Crítico: C1 – Control del diseño y disciplina operacional</b>			Propietario asignado
SSND: Daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes			Gerente de Mina
<b>1 ¿Cuál es la denominación del control crítico?</b>			Superintendente de Operaciones Mineras
<i>Control del diseño y disciplina operacional</i>			
<b>2 ¿Cuáles son los objetivos específicos en relación con el SSND?</b>			
<i>Reducir el nivel de riesgo asociado a eventos con daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes, respecto al diseño de la construcción de taludes es un plano de importancia de primer orden puesto que es importante conocer y reforzar la estabilidad de nuestro talud ya que estas dependen de las propiedades mecánicas del suelo donde se encuentra y determinar qué tipo de refuerzo se va a utilizar. Se constituyen con su modelo geotécnico, diseño controlado por estructuras, diseño controlado por resistencia de macizo rocoso, dominios geotécnicos de diseño y configuración de bancos ángulo inter-rampa y ángulo global. Estas consideraciones son importantes para un desarrollo eficiente de las operaciones.</i>			
<b>3 ¿Qué requisitos de desempeño deben satisfacer los controles críticos para cumplir los objetivos?</b>	<b>4 ¿Qué actividades respaldan o activan el control crítico?</b>	<b>5 ¿Qué actividades deben verificarse con objeto de comprobar el desempeño del control crítico?</b>	Propietario asignado
El equipo debe estar dentro de los parámetros establecidos según MSHA (por sus siglas en inglés, agencia de seguridad en minas y	Inspección por el área de geotecnia en el modelo, diseño y estructuras de configuración del tajo.	Auditoría interna y externa sobre la inspección del área de geotecnia en el modelo, diseño y estructuras de configuración del tajo.	Supervisor de Operaciones Ingeniero de Seguridad Senior

**4.3.5. Informe de control crítico: C3 – Mapa o plano de riesgos**

<p>administración de la salud). Según normativa y leyes peruanas. Decreto supremo N° 024 – 2016 – EM y su modificatoria por D.S N° 023 – 2017 – EM. Estándar por parte de la compañía. Artículo 263.- Corresponde al titular de actividad minera realizar estudios sobre la geomecánica y mecánica de rocas y suelos, a fin de mantener seguras y operativas las labores mineras y las instalaciones auxiliares como subestaciones eléctricas, talleres, taludes altos, botaderos y otros”</p>	<p>Seguimiento en el control del geotécnico con respecto al modelo, diseño y estructuras del tajo.</p> <p>Se establecen parámetros de medidas de rampas, inter rampas, ángulos inicial y final, fases de explotación, identificando áreas críticas.</p> <p>Se sensibiliza y concientiza la dedicación y el compromiso responsable, por parte de todos los miembros de la organización, de realizar cada tarea de la manera correcta, todas las veces, desde la primera vez.</p>	<p>Revisión de los registros de seguimiento de las medidas de control preventivas asignadas por el área de geotecnia con respecto al modelo, diseño y estructuras del tajo.</p> <p>Se establece un programa de reconocimiento y verificación de áreas o zonas críticas de manera periódica.</p>	<p>Supervisor de operaciones</p> <p>Supervisor de Geología y Geotecnia</p>
--	---	---	--

**6 ¿Cuál es el objetivo de desempeño fijado para el control crítico?**

El objetivo principal es establecer parámetros mediante el análisis de zonas críticas por el área de geotecnia con respecto al modelo, diseño y estructuras de configuración del tajo según se van desarrollando el minado conjuntamente con el área de planeamiento.

**7 ¿Qué factor del desempeño del control crítico desencadena el cierre, la revisión del control crítico o una investigación?**

No cumplir con los estándares establecidos, principalmente con el modelo, diseño y estructuras del tajo. También otras características relacionadas con el macizo rocoso que influyan en semblantes con respecto al desarrollo del tajo.

**Tabla 13. Informe De Control Crítico: C3 – Mapa o plano de riesgos**

<p><b>Informe de control crítico: C3 – Mapa o plano de riesgos</b></p>	<p>Propietario asignado</p>
<p>SSND: Daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes</p>	<p>Gerente de Mina</p>
<p><b>1 ¿Cuál es la denominación del control crítico?</b> Mapa o plano de riesgos</p>	<p>Superintendente de Operaciones Mineras</p>

**2 ¿Cuáles son los objetivos específicos en relación con el SSND?**

Identificar y orientar en la ubicación de zonas críticas mediante la aplicación de análisis geotécnico con potencial de sucesos por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes, respecto al diseño de la construcción de taludes.

<p><b>3 ¿Qué requisitos de desempeño deben satisfacer los controles críticos para cumplir los objetivos?</b></p>	<p><b>4 ¿Qué actividades respaldan o activan el control crítico?</b></p>	<p><b>5 ¿Qué actividades deben verificarse con objeto de comprobar el desempeño del control crítico?</b></p>	<p>Propietario Asignado</p>
--	--	--	-----------------------------

<p>El equipo debe estar dentro de los parámetros establecidos según MSHA (por sus siglas en inglés, agencia de seguridad en minas y administración de la salud) y otras organizaciones, Según normativa y leyes peruanas. Decreto supremo N° 024 – 2016 – EM y su modificatoria por D.S N° 023 – 2017 – EM. Política y estándar por parte de la compañía.</p>	<p>Inducción a personal nuevo en operaciones mina por el área de seguridad mina sobre la identificación y orientación de zonas críticas en el desarrollo tajo. Publicación del plano de riesgos en todas las áreas involucradas y de igual manera a socios estratégicos que realicen actividades en operaciones mina.</p>	<p>Auditoría interna y externa sobre la actualización del mapa de riesgo por parte del del área de geotecnia en el modelo, diseño y estructuras de configuración del tajo.</p> <p>Revisión de los registros de seguimiento de las medidas de control preventivas asignadas por el área de geotecnia verificación en la ejecución del programa de actualización de inspecciones de zonas críticas.</p>	<p>Supervisor de Operaciones</p> <p>Ingeniero de Seguridad Senior</p> <p>Supervisor de operaciones</p> <p>Supervisor de Geología y Geotecnia</p>
	<p>Se establecen una capacitación única sobre la <i>identificación y orientación de las ubicaciones de las zonas críticas.</i></p>	<p>Se establece un programa de reconocimiento y verificación de áreas o zonas críticas de manera periódica.</p>	

**6 ¿Cuál es el objetivo de desempeño fijado para el control crítico?**

El objetivo principal es establecer información actualizada y verídica con respecto a la identificación y orientación de las zonas críticas mediante la capacitación única de introducción a operaciones mina y actualización de zonas críticas según el desarrollo del tajo, con el acompañamiento, asesoría y análisis por parte del área de geotecnia.

**7 ¿Qué factor del desempeño del control crítico desencadena el cierre, la revisión del control crítico o una investigación?**

No cumplir con los estándares establecidos, principalmente con el modelo, diseño y estructuras del tajo. También otras características relacionadas con el macizo rocoso que influyan en semblantes con respecto al desarrollo del tajo.

**4.3.6. Informe de control Crítico: C6 – Plan de respuesta de emergencia**

**Tabla 14. Informe De Control Crítico: C6 – Plan de respuesta de emergencia**

<p>Informe De Control Crítico: C6 – Plan de respuesta de emergencia</p>	<p>Propietario Asignado</p>
---	---------------------------------

SSND: Daños por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes	Gerente de Mina
1 ¿Cuál es la denominación del control crítico? <i>Plan de respuesta de emergencia</i>	Superintendente de Operaciones Mineras
2 ¿Cuáles son los objetivos específicos en relación con el SSND? Identificar y establecer los lineamientos en la gestión de respuestas a emergencias <i>con potencial de sucesos</i> por caída, desprendimiento y/o escurrimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes, respecto al diseño de la construcción de taludes.	

3 ¿Qué requisitos de desempeño deben satisfacer los controles críticos para cumplir los objetivos?	4 ¿Qué actividades respaldan o activan el control crítico?	5 ¿Qué actividades deben verificarse con objeto de comprobar el desempeño del control crítico?	Propietario Asignado
NFPA 1: Código de Prevención de Incendios. NFPA 11: Norma para Espumas de Baja, Media y Alta Expansión. NFPA 13: Estándar para Instalación de Sistemas de Rociadores. NFPA 14: Instalación de Sistemas de Tubería Vertical y de Mangueras. NFPA 15: Norma para Sistemas Fijos de Aspersores de Agua. NFPA 22: Norma para Tanques de Agua Contra Incendio. NFPA 24: Redes Contra Incendios. NFPA 25: Norma para la Prueba y Mantenimiento de Sistemas Contra Incendios a Base de Agua. NFPA 1561: Norma sobre sistema de administración de incidentes para servicios de emergencia NFPA 10: Norma para Extintores Portátiles Contra Incendios NFPA 20: Norma para la instalación de Bombas Estacionarias de Protección contra incendios NFPA 472: Norma para competencias del	Inducción y capacitación sobre el PLA-SSO-001 Preparación y Respuesta a Emergencias  Publicación y difusión del PLA-SSO-001 Preparación y Respuesta a Emergencias para todas las áreas involucradas y de igual manera a socios estratégicos que realicen actividades en operaciones mina.  Programación de actividades de simulacro que han sido contemplados en el PLA-SSO-001 Preparación y Respuesta a Emergencias	Verificación de documentos sobre el certificado de operatividad de toso los equipos que están contemplados en PLA-SSO-001 Preparación y Respuesta a Emergencias Revisión de los registros de seguimiento que dan cumplimiento a todo lo establecido en el PLA-SSO-001 Preparación y Respuesta a Emergencias	Supervisor de Operaciones Ingeniero de Seguridad Senior Supervisor de operaciones Supervisor de Geología y Geotécnia

personal de respuesta a incidentes con materiales peligrosos/armas de destrucción masiva  
Según normativa y leyes peruanas. Decreto supremo N° 024 – 2016 – EM y su modificatoria por D.S N° 023 – 2017 – EM.  
Política y estándar por parte de la compañía.

**6 ¿Cuál es el objetivo de desempeño fijado para el control crítico?**

El objetivo principal es establecer los lineamientos en la gestión de respuestas a emergencias a fin de minimizar los impactos generados por los diferentes tipos de emergencias, ya sean de origen antrópico y/o natural, que pudieran afectar a los trabajadores, al medio ambiente y a las instalaciones de la Compañía, explícitamente en el desarrollo del tajo

**7 ¿Qué factor del desempeño del control crítico desencadena el cierre, la revisión del control crítico o una investigación?**

No cumplir con los lineamientos establecidos en PLA-SSO-001 Preparación y Respuesta a Emergencias, algún tipo de alteración en la ejecución del plan.

## CONCLUSIONES

Después de la aplicación del proceso de GCC, las actividades que lo sustentan, descritas en los pasos 1 a 9, siendo estas integradas en los procesos y lineamientos, lo que incluye la transferencia de las competencias de supervisión del proceso de GCC del equipo encargado de su implantación al responsable de las operaciones. Las acciones que se consideraran al concluir el proceso incluyen:

- La implantación de un proceso dirigido a revisar los SSND existentes y a detectar otros nuevos o emergentes que puedan surgir durante las operaciones normales de la empresa
- El establecimiento de mecanismos de garantía y revisión de los informes elaborados
- La actualización de la formación en materia de GCC según las necesidades
- El reconocimiento del momento en el que los cambios introducidos en la empresa pueden requerir una revisión del enfoque de GCC (por ejemplo, si una compañía adquiere nuevos activos o modifica sus sistemas, su tecnología, su ritmo de producción)
- La revisión de los beneficios que conlleva la implantación del proceso de GCC en su organización

Siendo los principales objetivos cumplidos:

- Establecemos el desarrollo de la gestión de controles críticos aplicando la metodología Bow Tie que tiene como objetivo la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto que está constituido por 9 pasos conforme han sido descritos en la presente investigación.
- Comprobamos la reducción del nivel de riesgo e impacto asociado a eventos con el potencial de generar accidentes causados por deslizamiento de taludes en minería de tajo abierto empleando la gestión de controles críticos con la metodología Bow Tie. Debido a la aplicación en primera instancia a 3 controles críticos preventivos y posterior a estos 3 controles críticos mitigadores.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar realizando este tipo de ensayos y posterior análisis para mejorar los procesos de GCC.
2. El proceso de toma de datos debe ser realizado por personal capacitado y experimentado cumpliendo con los estándares y procedimientos, para así poder reunir información confiable a fin de tomar las decisiones correctas.
3. Cumplir un correcto uso de los equipos e instrumentación cuando se lleven a cabo en la recopilación de datos. Adicionalmente se debe realizar la capacitación al grupo de colaboradores líderes que conformen la GCC, de acuerdo a los cronogramas establecidos a través de empresas especializadas en el rubro.
4. Mencionar también que los líderes y directivos pueden fomentar con su propio comportamiento una cultura eficaz en materia de gestión de riesgos dentro de una organización.
5. Con el fin de constituir comportamientos del personal directivo que los empleados pueden adoptar para promover una cultura eficaz en este terreno. La adopción de dichas conductas ayudará a implantar el proceso de GCC y respaldará una gestión eficaz de este en el futuro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. KARAM, K & HE, MANCHAO & SOUSA, L. Slope stability risk management in open pit mines. *Gestión del riesgo de estabilidad de taludes en minas a cielo abierto*. Researchgate.[en línea]. 2015[fecha de consulta: 10 de mayo de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/283716636\\_Slope\\_stability\\_risk\\_management\\_in\\_open\\_pit\\_mines](https://www.researchgate.net/publication/283716636_Slope_stability_risk_management_in_open_pit_mines)
2. TEGUH, S. & SETIAWAN, B. Analysis of slope stability risks Open mine with PT probability method. Timah (Persero) TBK Batubesi Area, Damar, East Belitung. *Análisis de riesgos de estabilidad de taludes Mina abierta con método de probabilidad PT. Timah (Persero) TBK Batubesi Area, Damar, East Belitung*. Journal of Physics: Conference Series. [en línea]. 2019 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2021]. doi:10.1088/1742-6596/1363/1/012046. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1363/1/012046/pdf>
3. INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING & METALS. Guía para la ejecución de la gestión de los controles críticos . Reino Unido - Londres : 35/38 Portman Square, 2015.
4. CGE.Risk.Management.Solutions. Incident XP. 2020. [fecha de consulta: 21 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.cgerisk.com/products/incidentxp/>
5. Colaboradores Wikipedia. Modelo del queso suizo [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2021 [fecha de consulta: 3 de marzo del 2021]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_del\\_queso\\_suizo](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_del_queso_suizo)
6. Colaboradores Wikipedia. Análisis del árbol de fallas [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2021 [fecha de consulta: 21 de marzo del 2021]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis\\_del\\_%C3%A1rbol\\_de\\_fallas](https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_del_%C3%A1rbol_de_fallas)

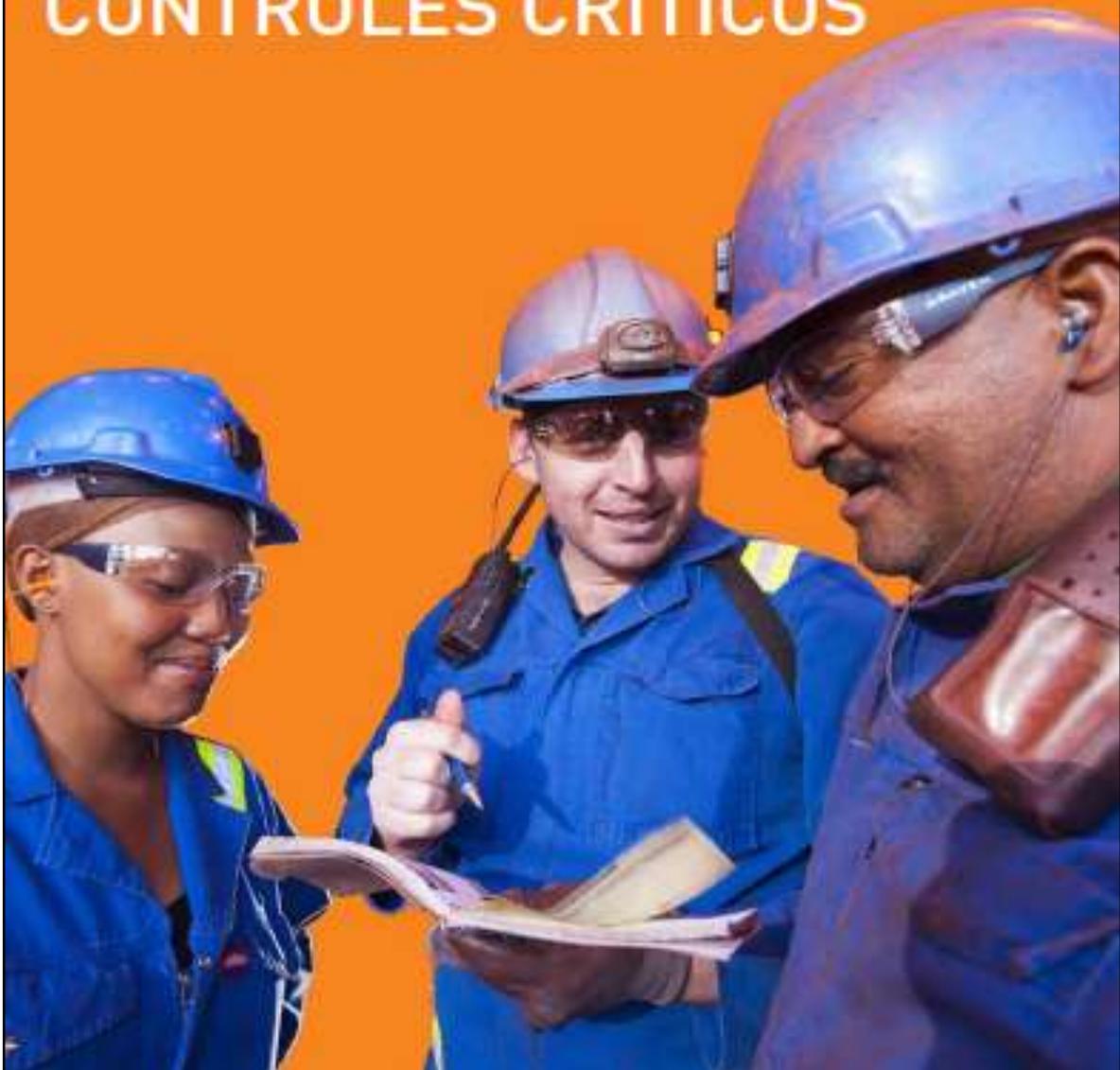
7. CGE.Risk.Management.Solutions. BowTieXP. 2020. [fecha de consulta: 20 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.cgerisk.com/products/bowtiexp/>
8. FUENTES, Juan. Investigación y aplicación de técnicas de control de ruido al interior de cabinas de la flota de camiones de compañía minera Cerro Colorado. Tesis (Ingeniero Civil Acústico). Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, 2010, 144 pp.
9. CONSEJO INTERNACIONAL DE MINERÍA Y METALES-ICMM. Guía para la ejecución de la gestión de los controles críticos. [En línea] 2015. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2021]. Disponible: <https://www.icmm.com/es/salud-y-seguridad/gestion-de-controles-criticos>.
10. EROSION.COM.CO. Geotécnica sísmica de taludes. [En línea] 16 de octubre de 2013. [Fecha de consulta: 10 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.erosion.com.co/geotecnia-sismica-de-taludes/>
11. SUAREZ, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. [en línea]. Bucaramanga, Colombia : Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil. 2017 [fecha de consulta: 11 de abril de 2021]. Disponible en: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
12. DS-N°024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. [En línea] Diario oficial de El Peruano, Lima, Perú, 28 de 06 de 2016. [Fecha de consulta: 30 enero 01 de 2021.] Disponible en: <https://minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/PRESENTACIONES/2016/PPT%20DS%20024-2016-EM%2023%20ago%202016.pdf>
13. GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis, FERRER, Mercedes, ORTUÑO, Luis & OTEO, Carlos. Ingeniería Geológica (págs. 430-486). Madrid: Pearson, 2002. ISBN: 84-205-3104-9

14. JUÁREZ, Eulalio y RICO, Alonso. Mecánica de Suelos. Tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. . México :(pp. 177-183)., 1973. [en línea]. México: Editorial Limusa, 1973 [fecha de consulta: 11 de abril de 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/30257252/Mec%C3%A1nica\\_de\\_suelos\\_Tomo\\_II\\_-\\_Ju%C3%A1rez\\_Badillo](https://www.academia.edu/30257252/Mec%C3%A1nica_de_suelos_Tomo_II_-_Ju%C3%A1rez_Badillo)
15. HERRERA, Juan. (2007). Diseño de explotación de cantera. Madrid:España : Universidad Politécnica de Madrid-Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas, 2017.
16. GERSCOVICH, Denise. Estabilidad de taludes. [en línea]. Sao Paulo: Oficina de textos. 2016 [fecha de consulta: 14 de abril de 2021]. Disponible en: [http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Estabilidade-de-taludes-2ed\\_DEG.pdf](http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Estabilidade-de-taludes-2ed_DEG.pdf)
17. MENDOZA, Joel. Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Tesis (Ingeniero Civil). Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017, 78 pp.
18. MORALES, Mario. Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke. Tesis (Ingeniero Civil de Minas). Chile: Universidad de Chile, 2009, 108 pp.
19. SALAS, Diego. Análisis de estabilidad del diseño del rajo del Proyecto Angostura, Santander. Memoria (Geólogo). Chile: Universidad de Chile, 2011, 80 pp.
20. RECALDE, Eduardo. Metodología de planificación minera a corto plazo y diseño minero a mediano plazo en la cantera Pifo. Tesis (Ingeniero de Minas).Guayaquil – Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007.

21. DARLING, Peter. SME Mining Engineering Handbook. Third Edition. 2011. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc. ISBN-13: 978-0873352642
22. THOMPSON, R. y VISSER, A. Caracterización de la emisión y exposición de polvo fugitivo de caminos de acarreo de minas. Researchgate : Researchgate, 2013. ISSN 1743-3525.
23. BRABB, E.E., GUZZETTI F., MARK R., SIMPSON R.W. The extent of landsliding in Northern new Mexico and similar semi-arid regions. In Landslides in a semi-Arid Environment ( P.M. Sadler and D.M. Morton, eds),. Irlanda : Inland Geological Society, University, 1989.
24. OSINERGMIN. Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería. [En línea] 2013 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2021] Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Analisis-Estadistico-Seguridad.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Analisis-Estadistico-Seguridad.pdf)
25. ACO CATALDO, Raúl. El estudio del método científico es un objeto de estudio de la epistemología. Lima- Universo S.A. 1992.
26. KERLINGER, FRED N. El método científico comprende un conjunto de normas que regulan el proceso de cualquier investigación que merezca ser calificada como científica. Barcelona - España : Ed. Mc Graw Hill, 2002.
27. OSEDA, Dulio. El tipo de estudio de la presente investigación. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.

## **ANEXOS**

# GUÍA PARA LA EJECUCIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS CONTROLES CRÍTICOS



*Figura 47. Guía para la ejecución de la Gestión de los controles críticos.  
Tomado de ICMM, 2015*

# GESTIÓN DE CONTROLES CRÍTICOS PARA LA SALUD Y LA SEGURIDAD

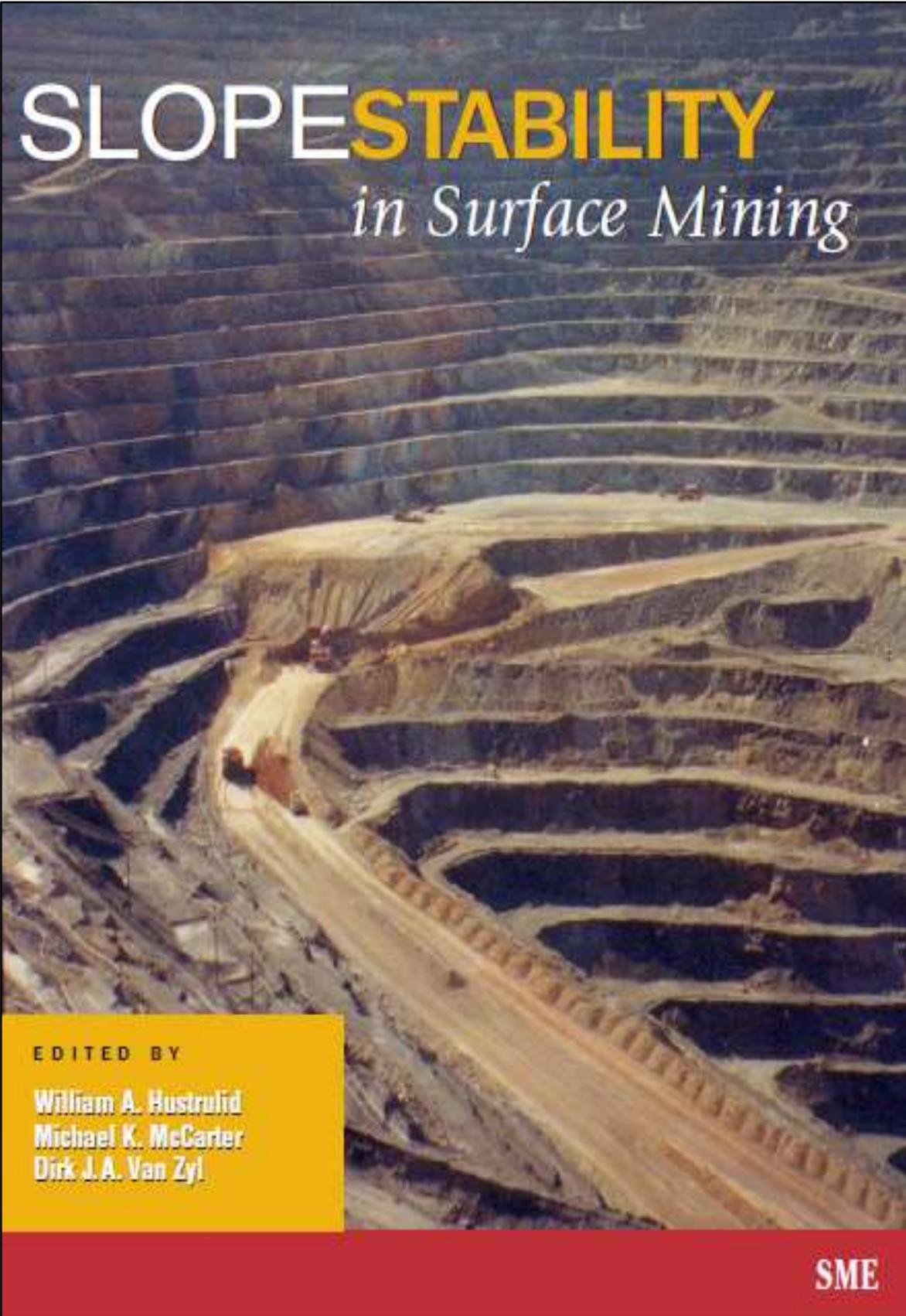
## GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS



*Figura 48. Guía de buenas prácticas para Gestión de controles críticos para la salud y la seguridad  
Tomado de ICMM, 2015*



**Figura 49. Informe mensual de riesgos críticos de mina  
Tomado de Compañía "X", 2019**



# SLOPE **STABILITY**

*in Surface Mining*

EDITED BY

William A. Hustrulid  
Michael K. McCarter  
Dirk J.A. Van Zyl

SME

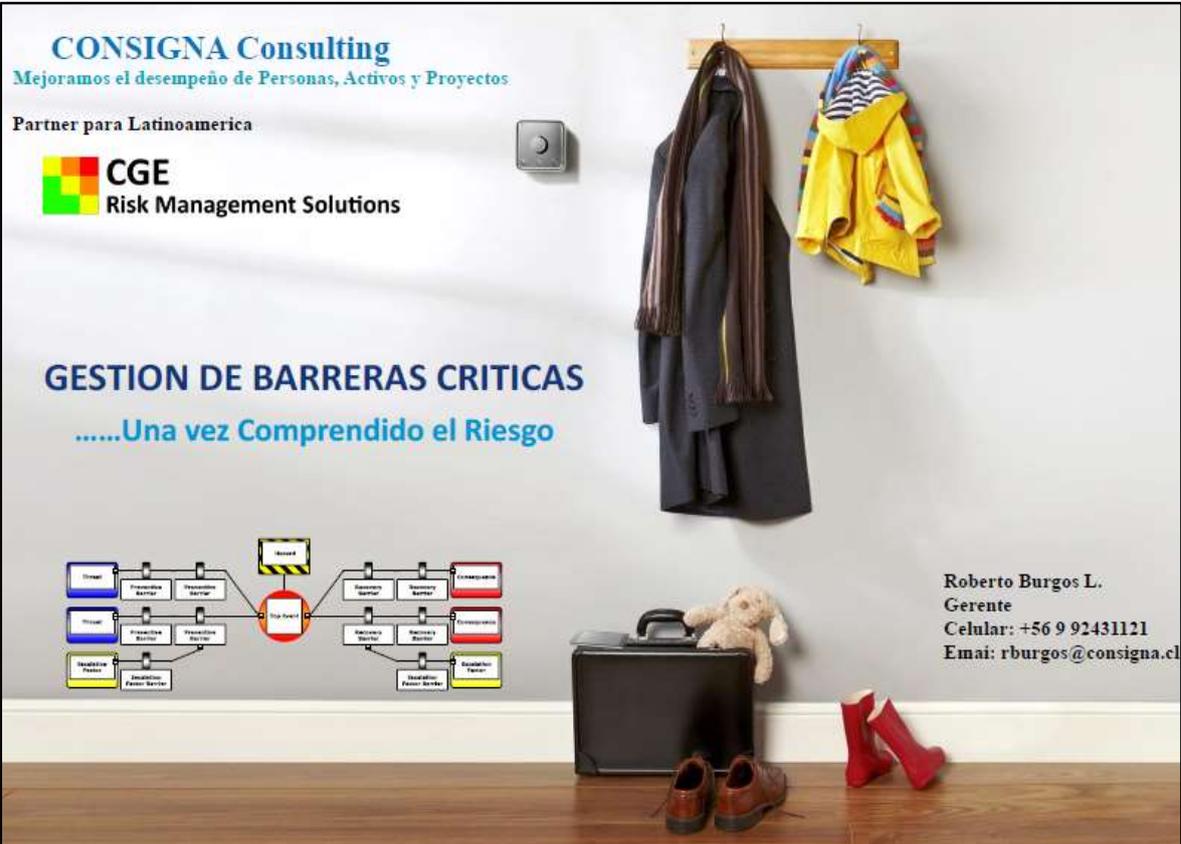
*Figura 50. Slope Stability in Surface mining - Book  
Tomado de SME, 2001*



**“ANÁLISIS CINEMÁTICO DE TALUDES”**  
**-Aplicación del Software DIPS-**

Presentado por: Ing. Guillermo Rodríguez C.  
 Especialista en Geomecánica y Geotecnia

Figura 51. Capacitación sobre análisis cinemático de taludes.  
 Fuente: (CGI, 2020)



**CONSIGNA Consulting**  
 Mejoramos el desempeño de Personas, Activos y Proyectos

Partner para Latinoamérica

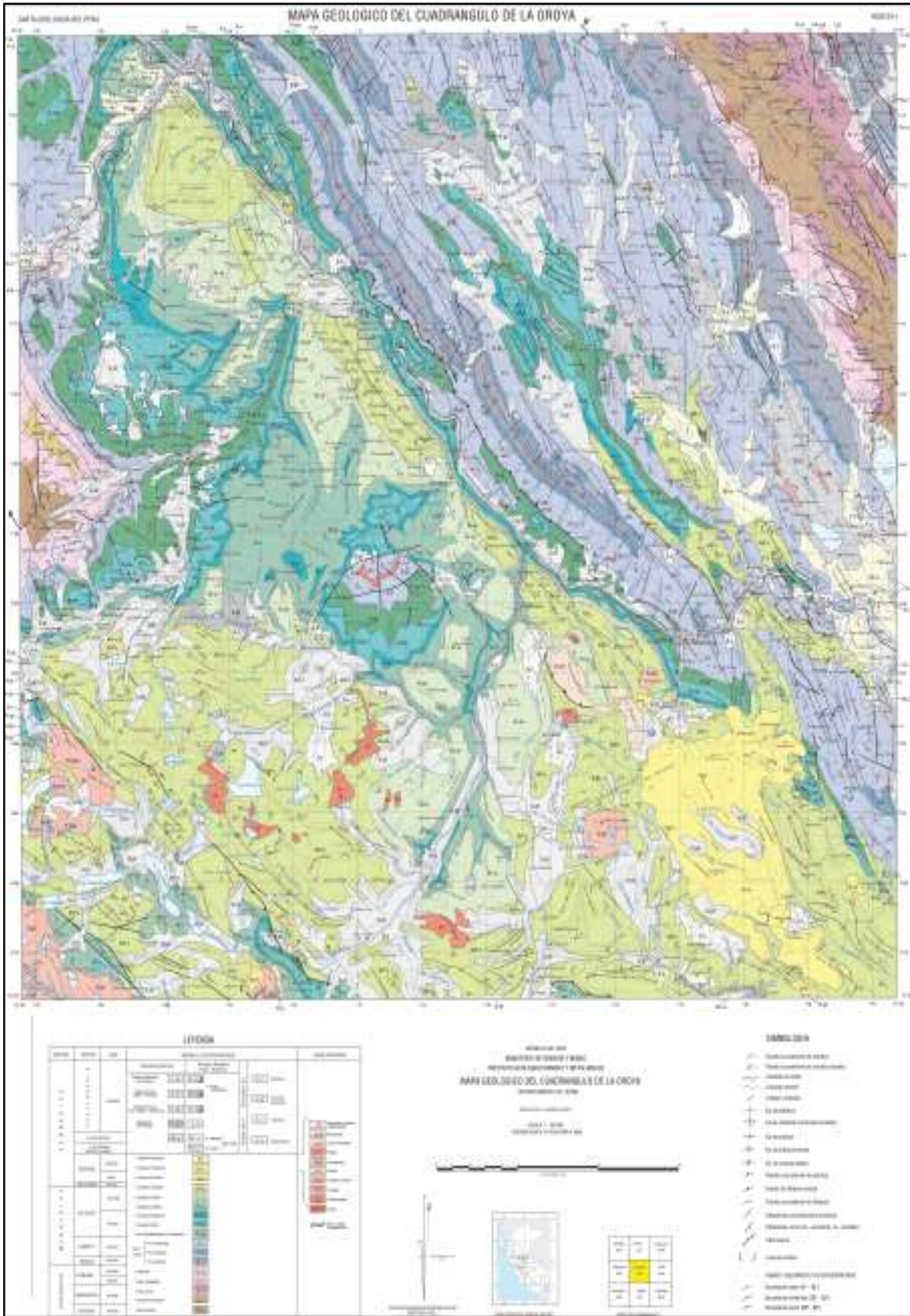
**CGE**  
 Risk Management Solutions

**GESTION DE BARRERAS CRITICAS**  
 .....Una vez Comprendido el Riesgo

Roberto Burgos L.  
 Gerente  
 Celular: +56 9 92431121  
 Email: rburgos@consigna.cl

Figura 52. Slope Capacitación de Gestion de barreras críticas  
 Tomado de CGE, 2019





**Figura 55. Mapa geológico del cuadrángulo de la Oroya.  
Toamdo de INGEMMET, 1996**

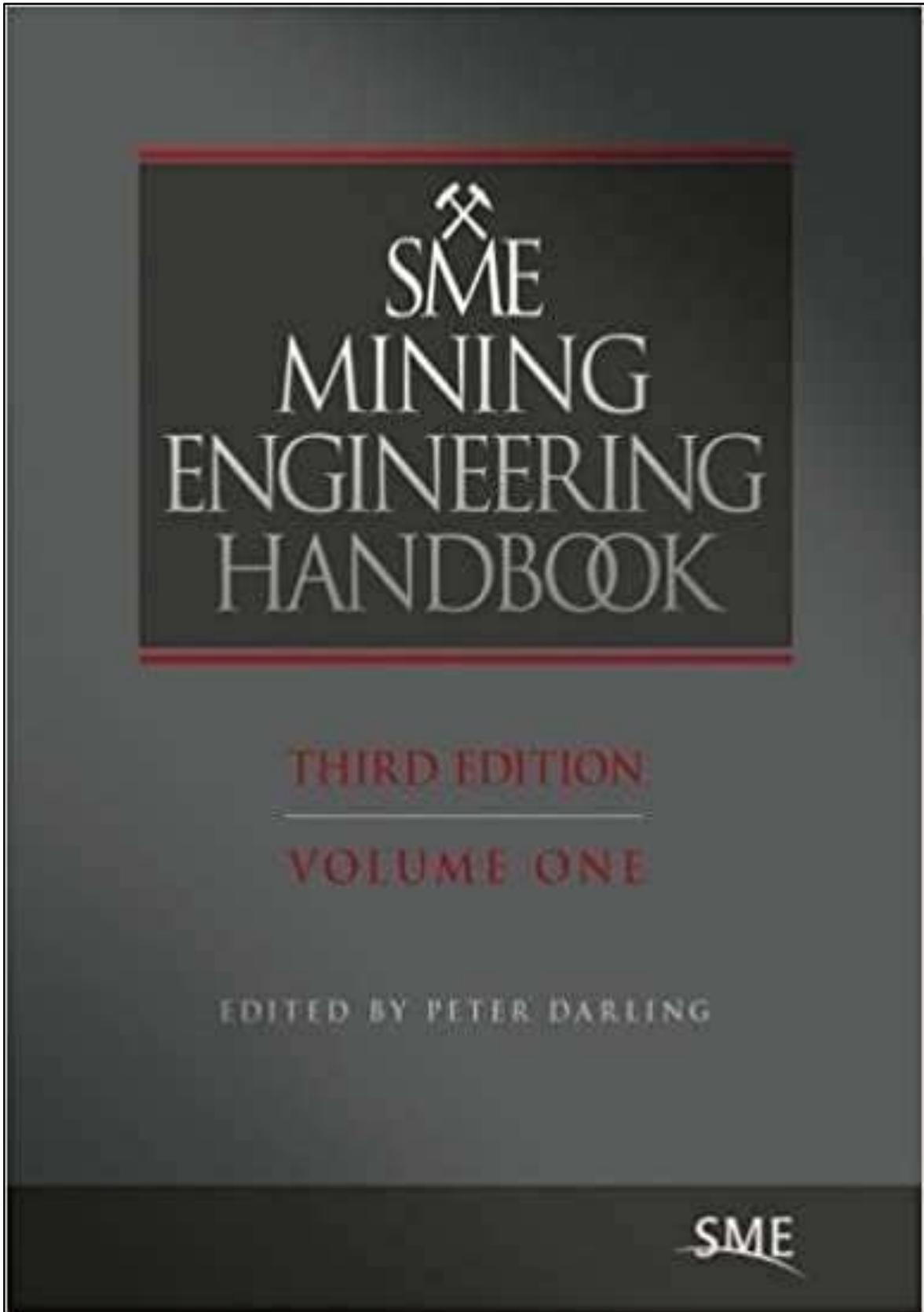
Boletín Informativo de la  
**Gerencia de Supervisión Minera**

Enero - marzo 2019



 **Osinergmin**  
Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

**Figura 56. Slope Boletín informativo de la Gerencia de Supervisión minera  
Tomado de OSINERGMIN, 2019**



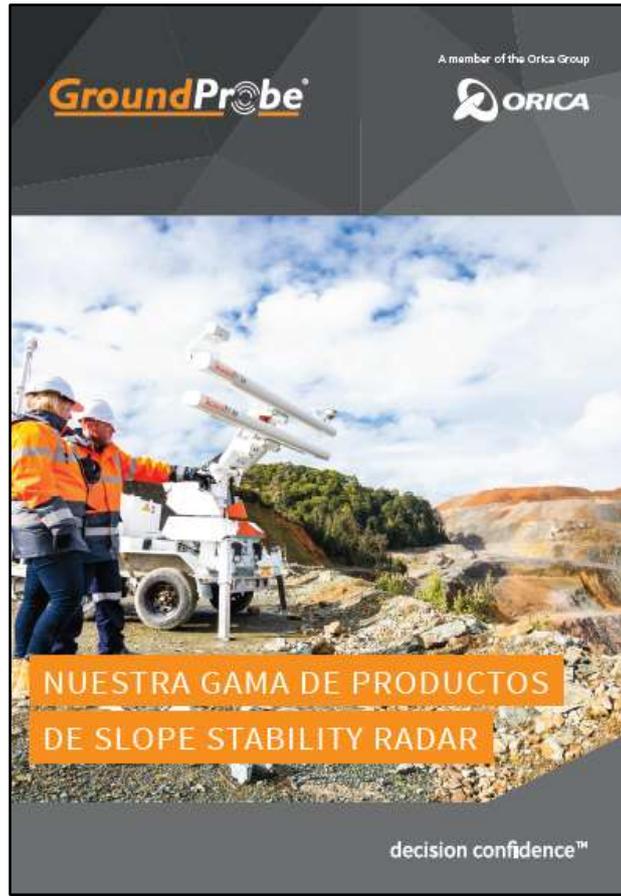
*Figura 57. SME Mining Engineering Handbook – Third Edition Volumen One  
Tomado de SME, 2011*

	
<b>POLÍTICA</b>	
<b>GESTIÓN DE RESPUESTAS A EMERGENCIAS</b>	Código : POL-SSO-011 Versión : 0 Página : 3 de 12

### TABLA DE CONTENIDOS

1. OBJETIVO .....	4
2. ALCANCE .....	4
3. RESPONSABILIDADES .....	4
4. DEFINICIONES Y ABREVIATURA .....	6
5. DOCUMENTOS A CONSULTAR .....	6
6. DESARROLLO .....	7
6.1 NIVELES DE EMERGENCIA .....	7
6.2 FUNCIONES PARA LA ACTIVACIÓN DE UNA RESPUESTA A EMERGENCIAS .....	7
6.3 ANÁLISIS DE REACCIÓN A EMERGENCIAS .....	8
6.4 PLAN DE PREPARACIÓN Y RESPUESTA A EMERGENCIAS .....	9
6.5 EMERGENCIAS EXTERNAS .....	10
6.6 SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y RESCATE .....	10
6.7 PERSONAL DE EMERGENCIA .....	10
6.8 AYUDA MUTUA Y ASISTENCIA EXTERNA ORGANIZADA .....	11
6.9 PLANEAMIENTO DESPUÉS DE LA EMERGENCIA .....	11
6.10 COMUNICACIÓN DE CASO DE EMERGENCIA .....	11
6.11 COMUNICADOS A ENTIDADES EXTERNAS .....	11
7. FORMATOS .....	11

**Figura 58. Política de Gestión de Respuesta de Emergencias  
Tomado de Compañía "X", Actualizado - 2019**



**ESTRATÉGICO,  
ESPECIFICO**

**SSR-XT**

Cuando se manejan áreas de alto riesgo o zonas de peligro conocidas, una estrategia de monitoreo específica es requerida. El SSR-XT monitorea de forma crítica movimientos conocidos que representan de forma potencial o inmediata una amenaza a la seguridad o productividad de las operaciones mineras.



**RÁPIDO,  
ÁREA EXTENSA**

**SSR-FX**

Al detectar nuevos riesgos y peligros en áreas extendidas, se requiere un monitoreo de áreas extensas. El SSR-FX monitorea amplias áreas durante largos periodos de tiempo, con el fin de detectar puntos de movimiento y proveer un respaldo geotécnico.



**Figura 59. GroundProbe – Equipos de radar utilizados en el tajo Tomado de Compañía “X”, Actualizado - 2019**