

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGOS-
BOW TIE- EN LAS OPERACIONES UNITARIAS DEL CICLO DE MINADO-
UNIDAD MINERA SAN CRISTOBAL-VOLCAN CIA. MINERA-JUNIN**

PRESENTADO POR:

BACH. ASUNCION HUILLCAYA LLANCCAYA

PARA OPTAR AL TITULO

PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

MGT. ODILÓN CONTRERAS ARANA

CUSCO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del trabajo de investigación titulado: **“IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGOS-BOW TIE- EN LAS OPERACIONES UNITARIAS DEL CICLO DE MINADO-UNIDAD MINERA SAN CRISTOBAL-VOLCAN CIA. MINERA-JUNIN”**

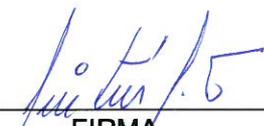
Presentado por **ASUNCION HUILLCAYA LLANCCAYA**, con DNI **48323501** y código universitario Nro. **114044** para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 (dos) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **10 % (diez por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 15 de mayo de 2025.


FIRMA

POST FIRMA: Mgt. Ing. Odilon Contreras Arana
DNI Nro.: 23823356

ORCID ID: 0000-0002-9164-1705

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:459603872?locale=es-MX>

ASUNCION HUILLCAYA LLANCCAYA

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGOS-BOW TIE- EN LAS OPERACIONES UNITARIAS DEL CI

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:459603872

Fecha de entrega

15 may 2025, 8:04 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 may 2025, 8:35 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGOS-BOW TIE- EN LAS OPERACIO....docx

Tamaño de archivo

10.5 MB

164 Páginas

29.047 Palabras

159.984 Caracteres

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)
- ▶ Submitted works

Exclusions

- ▶ 12 Excluded Sources

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 2%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
43 suspect characters on 5 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

A Dios por sus bendiciones, a mi hijo, Anthony Gabriel Anampa Huillcaya, por ser mi motor y motivo en mi vida.

A mi pareja, Raul Anampa Huamani, por su apoyo incondicional que me brinda para alcanzar mis objetivos, por su amor infinito. A mi padre, Pedro Francisco Huillcaya Lavando y por su constante apoyo.

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme realizar esta tesis, a mi alma mater la Universidad nacional de san Antonio Abad del Cusco,

Con mucha estima, agradezco a mi asesor el Magister Odilón contreras Arana, por Guiarme en el presente trabajo, Quiero agradecerle por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgía, él fue crucial para la realización de esta tesis.

Resumen

La presente tesis “IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGOS-BOW TIE- EN LAS OPERACIONES UNITARIAS DEL CICLO DE MINADO-UNIDAD MINERA SAN CRISTOBAL-VOLCAN CIA. MINERA-JUNIN” El propósito es aplicar un esquema de seguridad en el estudio de riesgos, con el fin de disminuir la cantidad de incidentes en Volcan Compañía Minera S. A. A. - U. E. A. San Cristóbal. Para llevar a cabo este trabajo de investigación, se optó por el método aplicado, realizando un análisis de naturaleza cualitativa y descriptiva. En la investigación, no se manipularon ni se intentó modificar las variables, únicamente se centra en la recopilación y análisis de los datos. La metodología para recolectar datos se basó en la revisión y estudio de informes anteriores, análisis documental, información de los RACS, (informes de acciones y condiciones sub estándares) HPRI y NMRI suscitados, y datos de la investigación de accidentes. El estudio de accidentes mediante la metodología del bow tie facilitó la identificación de las causas, efectos y, posteriormente, la construcción de barreras de control y mitigación más eficaces mediante la implementación de la jerarquía de controles.

La metodología bow tie permite la explicación y entendimiento a todos los niveles de la organización dentro de la empresa. Por lo tanto, esto promueve que todos los empleados se involucren en la seguridad y salud laboral.

Para finalizar, concluyendo que la correcta aplicación del diagrama Bow Tie proporciona ventajas a todos los que participen en él. Al mejorar las condiciones laborales y prevenir accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo, se produce un incremento en la producción y la satisfacción de la empresa. Facilita la mejora de la producción, además potencia la reputación de la empresa.

Palabras claves: Bow Tie, controles críticos, reducción de accidentes

Abstract

This thesis "Implementation of the risk analysis methodology - bow tie - in the unit operations of the mining cycle - San Cristobal mining unit - volcan cia. Minera Junín" aims to implement a safety diagram in risk analysis, to reduce the number of accidents at Volcan Compañía Minera S. A. A. – U. E. A. San Cristobal. To carry out this research thesis, the applied method was chosen, with a qualitative - descriptive study. In the research, the variables were not manipulated or tried to alter, it only focused on collecting and observing the data. The technique for data collection was the review and analysis of past reports, Document analysis, RACS information, (reports of substandard acts and conditions) HPRI and NMRI raised, Accident investigation information. The analysis of accidents using the bow tie methodology allowed us to determine the causes and consequences of accidents and subsequently establish more effective control and mitigation barriers using the hierarchy of controls.

The bow tie methodology facilitates explanation and understanding at all levels of the organization in the company, consequently, this generates that all personnel become involved in safety and health at work.

Finally, concluding that the correct implementation of the Bow Tie diagram provides benefits to all those who are involved in it. Improving working conditions, guaranteeing and preventing occupational accidents and diseases, consequently, generates greater production and satisfaction in the company. It allows the optimization of production, and also improves the business image.

Keywords: Bow Tie, critical controls, accident reduction

Contenido

Dedicatoria	iii
Agradecimiento.....	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice de gráficos.....	xi
Índice de Imágenes	xii
Índice de tablas.....	xiii
Introducción	15
CAPITULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1.- Descripción del problema.	17
1.1.2. Formulación del problema	19
1.2. Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1.- Objetivo General.	19
1.2.2.- Objetivos Específicos.....	19
1.3. Justificación de la investigación.	20
1.4. Hipótesis.....	21
1.4.1.- Hipótesis general.	21
1.4.2.- Hipótesis específicas.....	21
1.5. Identificación de variables.....	22
1.5.1 Variable Independiente:.....	22
1.5.2 Variables dependientes.....	22
1.5.3 Matriz de Operacionalización de las variables e indicadores de la hipótesis.	

.....	22
CAPITULO II.....	24
MARCO TEORICO.....	24
2.1. Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1. A nivel internacional	24
2.1.2 A Nivel Nacional:.....	25
2.1.3 Antecedentes a nivel local.....	28
2.2. Marco Legal	29
2.3. Marco Teórico.....	30
2.3.1. Sistema de gestión.....	30
2.3.2. BOW TIE.....	32
2.3.3. Partes de un Diagrama BOW TIE.....	32
2.3.4. Construcción de un diagrama bow tie.....	33
2.3.5. Contribución del bow tie en el proceso de la gestión de la seguridad.	36
2.3.6. Ventajas del BOW TIE.....	36
2.3.7. Relación de las metodologías BOW TIE y ICAM	37
2.3.8. Gestión de riesgos	39
2.3.9. Herramientas en la gestión de riesgos	40
2.3.10. ISO 45001	43
2.3.11. ISO 31000	43
2.3.12. Prevención de accidentes en el trabajo:	45
2.3.13. Implementación de la bow tie para las operaciones unitarias del ciclo de minado.....	46

2.4 Marco Conceptual.....	48
2.5. Condiciones actuales de seguridad antes de la implementación del bow tie.....	51
2.5.1. Programa anual de seguridad y salud en el trabajo.....	51
2.5.2. Programa Anual de Capacitaciones:	51
2.5.3. Medidas preventivas de riesgos potenciales.	52
2.5.4. Medidas correctivas y de control de riesgos.	55
2.5.5. Estadística de accidentes.	56
2.5.6. Evaluación de la gestión de seguridad	63
CAPÍTULO III.....	68
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	68
3.1. Ámbito de estudio	68
3.2 Tipo de investigación	68
3.3 Nivel de investigación	68
3.4 Enfoque de la investigación	69
3.5 Diseño de la Investigación	69
3.6 Población y muestra	69
CAPITULO IV.	70
RESULTADOS Y DISCUSION	70
IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANALISIS DE RIESGOS BOW TIE.....	70
4.1. Identificación de los peligros y riesgos existentes en cada una de las operaciones unitarias.	70
4.2. Identificación del evento top para cada operación unitaria	80
4.3. Identificación de impactos o consecuencias para las operaciones unitarias de ciclo de minado.....	87

4.4. Identificación de las causas y/o amenazas que podrían generar que ocurra el evento top.....	91
4.5. Identificación de controles Preventivos y críticos de prevención	97
4.6. Identificación de controles de Mitigación para las operaciones unitarias del ciclo de minado	103
4.7.- Construcción y diseño del diagrama BOW TIE para cada operación unitaria.....	107
4.8. Medición, acciones claves de seguimiento y designación de responsables de los controles críticos de la matriz BOW TIE	113
4.9. Medición de efectividad del desempeño de los controles críticos.....	122
4.10. Condiciones de aplicación del bow tie.....	128
4.11. Beneficios del diagrama de bow tie.....	128
4.11.1. Beneficios técnicos	129
4.11.2. Beneficios económicos	129
4.11.3. Beneficios en seguridad y salud ocupacional.....	129
4.12. Comentarios finales sobre la aplicación de bow tie	130
CONCLUSIONES	132
RECOMENDACIONES.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
ANEXOS.....	138
Anexo 1: Matriz de consistencia	139
Anexo 2. Marco contextual.....	141

Índice de gráficos

Gráfico 1 Índice de frecuencia años 2009 - 2012	56
Gráfico 2 Índice de severidad años 2009 - 2012	57
Gráfico 3 Accidentes mortales años 2009 - 2012	57
Gráfico 4 Índice de accidentabilidad años 2009 - 2012	58
Gráfico 5 Índice de severidad año 2020.....	60
Gráfico 6 Índice de frecuencia año 2020.....	61
Gráfico 7 Índice de accidentabilidad año 2020	62
Gráfico 8 Distribución de número de trabajadores fallecidos según actividad	81
Gráfico 9 Accidentes fatales ocurridos en carguío y transporte de mineral	84

Índice de Imágenes

Imagen 1 Estructura de un diagrama Bow tie.....	36
Imagen 2 Contribución de un diagrama Bow tie	36
Imagen 3 Estrategia de un bow tie en SSO	37
Imagen 4 Pasos para la investigación de accidentes con el método ICAM.....	38
Imagen 5 Pasos para construcción de un bow tie.....	39
Imagen 6 Esquema de un diagrama Bow tie	40
Imagen 7 Matriz de valoración de riesgos	42
Imagen 8 Elementos de gestión de riesgos.....	43
Imagen 9 Promedio de horas hombre de capacitación, año 2020	52
Imagen 10 Sistema de gestión SSOMAC – HSEC	63
Imagen 11 Estadísticas de comportamientos de riesgo	66
Imagen 12 Estadísticas de comportamientos seguros.	66
Imagen 13 Como identificar un control critico	97

Índice de tablas

Tabla 1 Indicadores de la investigación	23
Tabla 2 <i>Estadísticas de accidentes de los años 2016-2020</i>	58
Tabla 3 Peligros y riesgos identificados en la etapa de perforación	71
Tabla 4 Peligros y riesgos identificados en la etapa de voladura	74
Tabla 5 Peligros y riesgos en la etapa de carguío y transporte	76
Tabla 6 Peligros y riesgos identificados en la etapa de ventilación	78
Tabla 7 Peligros y riesgos en la etapa de sostenimiento	79
Tabla 8 Trabajadores fallecidos durante actividad de perforación de rocas.	80
Tabla 9 Tipos de accidentes relacionados a la operación de carguío y transporte.	83
Tabla 10 Número de trabajadores fallecidos en la etapa de ventilación minera.....	85
Tabla 11 Posibles consecuencias después de ocurrido el evento top en la operación unitaria de perforación	87
Tabla 12 Posibles consecuencias después de ocurridos el evento top en la operación unitaria de voladura de rocas.	88
Tabla 13 Posibles consecuencias después de ocurrido el evento top en la operación unitaria de limpieza y transporte.	89
Tabla 14 Posibles consecuencias después de ocurrido el evento Top, en la operación unitaria de ventilación.	90
Tabla 15 Posibles consecuencias identificadas después de ocurrido el evento top en la operación unitaria de sostenimiento.....	91
Tabla 16 Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de la perforación.	92
Tabla 17 Identificación de causas que generan el evento Top en la operación unitaria de voladura	93
Tabla 18 Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de carguío y transporte.	94
Tabla 19 Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de ventilación	95
Tabla 20 Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de sostenimiento.	96

Tabla 21 Controles de prevención para la operación unitaria de perforación.....	98
Tabla 22 Controles de prevención para la operación unitaria de voladura de rocas	99
Tabla 23 Controles de prevención para la operación unitaria de carguío y transporte	100
Tabla 24 Controles de prevención para la operación unitaria de ventilación minera	101
Tabla 25 Controles de prevención para la operación unitaria de sostenimiento minero	102
Tabla 26 Controles de mitigación para la operación unitaria de perforación.....	103
Tabla 27 Controles de mitigación para la operación unitaria de voladura de rocas	104
Tabla 28 Controles de mitigación para la operación unitaria de carguío y transporte	105
Tabla 29 Controles de mitigación para la operación unitaria de ventilación.....	106
Tabla 30 Controles de mitigación para la operación unitaria de sostenimiento	106
Tabla 31 Sistema del semáforo	113
Tabla 32 Reporte de semáforo para controles críticos	114
Tabla 33 Designación de responsables de controles de prevención y mitigación en la Operación unitaria de perforación.....	115
Tabla 34 Identificación de responsables de controles críticos en la Operación unitaria de voladura	116
Tabla 35 responsables de controles críticos de la O.U de carguío y transporte	118
Tabla 36 responsables de controles de la Operación unitaria de ventilación.	119
Tabla 37 responsables de controles críticos de la operación unitaria de sostenimiento.....	121
Tabla 38 Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de perforación	123
Tabla 39 <i>Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de voladura</i>	124
Tabla 40. <i>Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de carguío y transporte</i>	125
Tabla 41 <i>Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de ventilacion</i>	126
Tabla 42 <i>Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de sostenimiento</i>	127
Tabla 43 Matriz de consistencia	139

Introducción

El propósito de este trabajo es implementar un método de análisis de riesgos que sea comprensible, transparente e imparcial, basándose en la identificación de peligros y riesgos en el sector minero, concretamente en Volcán compañía minera S.A.A.

La importancia de esta investigación se da a partir de que la actividad minera en el mundo, es una actividad inminentemente peligrosa, no es novedad que las empresas mineras que son explotados por métodos subterráneos o superficiales, han dado gran relevancia al asunto de la seguridad y salud laboral, razón por la cual se ha realizado un gran esfuerzo en la prevención de sucesos no deseados en los entornos laborales.

En el Perú las compañías mineras, empresas contratistas ya sean grandes o pequeñas han realizado un conjunto de trabajos mostrando su preocupación en la prevención de accidentes e incidentes que muchas veces han generado fatalidades. Se ha logrado el involucramiento y el apoyo de la alta dirección con el área de seguridad y salud ocupacional, como consecuencia los accidentes e incidentes se han reducido exitosamente, Volcán compañía S.A.A no es ajena a esta problemática ya que ha puesto esfuerzos para obtener un alto desempeño en seguridad y salud de sus trabajadores, implementando un sistema de gestión, lanzando programas basados en prevención etc., ha logrado el involucramiento y apoyo de toda la organización. Este estudio tiene como objetivo de aplicar la metodología de análisis de riesgo BOW TIE que nos ayudara en la evaluación y el control de riesgos en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado, que sea de fácil entendimiento para toda la organización y sobre todo que nos ayude en la prevención de eventos no deseados, disminuyendo así toda la documentación que se presenta antes de iniciar las labores de trabajo lo cual toma un buen tiempo.

Esta investigación se desarrollará en 4 capítulos que se dividirán en lo siguiente,

Capítulo I, Se desarrollará el planteamiento del problema, la justificación e importancia de la investigación, objeto de investigación, se abordarán aspectos metodológicos, los objetivos y relevancia de la investigación.

Capitulo II, Se desarrollará el marco teórico, Se abordan los antecedentes de la

investigación los aspectos teóricos relacionados al diagrama Bow tie, marco legal. Marco teórico, En este capítulo se da a conocer las generalidades del ámbito de estudio, ubicación, accesibilidad, geología del ámbito de estudio. Observaremos las condiciones de seguridad presentes en la unidad minera San Cristóbal previo a la puesta en marcha del bow tie.

Capitulo III, Se dará a conocer la metodología de la investigación.

Capitulo IV, La implementación de la metodología de análisis de riesgos BOW tie, se ofrece los resultados y discusión. También se desarrollarán las conclusiones, recomendaciones, referencia bibliográfica.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- Descripción del problema.

A pesar de todos los esfuerzos que se han realizado, la industria minera sigue siendo una actividad peligrosa, donde cada año ocurren accidentes e incidentes y muchas veces estas han cobrado la vida de muchos trabajadores, inclusive existe una suposición, donde, los mineros han de aceptar que morir en el trabajo es parte de su tarea. Muchos trabajadores que no sufren accidentes llegan a enfrentar una serie de enfermedades ocupacionales, inclusive estas producen más muertes que los accidentes fatales.

En años recientes, la inquietud por la seguridad y salud laboral ha crecido debido a la implementación de leyes y regulaciones a escala nacional e internacional. La mayoría de las compañías han instaurado un sistema de administración de seguridad y salud laboral, han lanzado programas de capacitación y entrenamiento para los trabajadores, se han regido a las leyes y reglamentos nacionales y se podido ver una mejora grande ya que los eventos no deseados, accidentes fatales, enfermedades ocupacionales, eventos catastróficos no solo a los trabajadores sino

también al medio ambiente, a los procesos, equipos, etc. han disminuido, ¿pero porque aún la minería es tan peligrosa?

En Perú, la actividad económica, incluyendo la extracción de minas y carreteras, registra el mayor número de reportes de accidentes laborales mortales, alcanzando un pico significativo durante los años 2012 y 2013. Por esta razón, se ha establecido la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (LSST), cuyo principal propósito es fomentar una cultura de prevención. Para ello, se requiere la implicación del Estado, con la obligación de prevenir de los empleadores, el papel de supervisión y control estatal, así como la implicación de los trabajadores y sus organizaciones sindicales, que constituyen el marco regulatorio requerido para salvaguardar la vida y salud de los trabajadores.

En compañía Volcán S.A.A entre los años 2000 al 2011 se suscitó 95 accidentes fatales y en el Perú 737 fatalidades, (fuente: ministerio de energía y minas), es por ello que en la unidad minera San Cristóbal es muy necesario implementar una metodología que sea muy dinámica que ayude a evaluar, analizar y controlar los riesgos ya que se ha observado que aún hay trabajadores que realizan seguridad solo por cumplimiento, llenan los formatos mecánicamente, muchas veces no entienden, todos estos factores no ayudan y retrasan en la formación de una cultura de seguridad basada en la prevención. La preocupación por la eliminación y/o disminución de accidentes han llevado a la utilización de muchos formatos, los cuales los trabajadores tienen que llenar cada día antes de iniciar sus tareas, prácticamente una burocracia antes de iniciar sus actividades.

Por otra parte, la implementación de un método de análisis de riesgo que sea más flexible, dinámico y de fácil entendimiento para toda la organización que permita ver, Por lo general, en una única página, se presenta un riesgo con sus causas, efectos y su tratamiento (medidas preventivas que abordan la probabilidad y medidas mitigadoras que abordan los impactos). Resulta sumamente esencial e importante.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Se podrá implementar una metodología para el análisis, evaluación y control de riesgos, que sea flexible, dinámico y de fácil entendimiento, en sustitución de la metodología actual en la unidad minera San Cristóbal?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Se tiene identificado una metodología que nos ayude con el análisis de los riesgos que podrían generar una fatalidad en las en las operaciones unitarias de ciclo de minado en la unidad minera San Cristóbal?
- ¿Se tiene identificado una metodología que nos ayude con la evaluación de las causas comunes y amenazas que contribuyen a la ocurrencia y repetición de eventos no deseados en la UM San Cristóbal?
- ¿Se tiene identificado una metodología que nos ayude a implementar y gestionar los controles críticos de prevención y mitigación en el caso que ocurra un evento no deseado en la unidad minera San Cristóbal?
- ¿Se podrá implementar una metodología que nos ayude a prevenir eventos no deseados que sean de fácil entendimiento, flexible y dinámico en la unidad minera San Cristóbal?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1.- Objetivo General.

Implementar una metodología, en el cual se pueda realizar el análisis, evaluación y control de riesgos para la prevención de accidentes, que sea flexible, dinámico y de fácil entendimiento para toda la organización, sustituyendo así a la metodología actual en la unidad minera San Cristóbal.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Identificar una metodología en el que se realice el análisis de los riesgos que podrían generar una fatalidad en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de

minado en la unidad minera san Cristóbal

- Identificar e implementar una metodología que nos ayude en la evaluación de las causas comunes y amenazas que contribuyen a la ocurrencia y repetición de eventos no deseados en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal
- Identificar e implementar una metodología en el que se pueda controlar y gestionar controles críticos para la prevención de eventos no deseados y controles de mitigación en caso ocurriera un evento catastrófico en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal
- Implementar una metodología que nos ayude en la prevención de eventos no deseados que sea de fácil entendimiento flexible y dinámico para toda la organización.

1.3. Justificación de la investigación.

Debido a los accidentes e incidentes ocurridos en Volcán Compañía S.A.A, en sus unidades mineras, se han propiciado diversos problemas a la salud, seguridad e integridad de los trabajadores ya que el método que usan para la prevención de eventos no deseados no es amigable, flexible, dinámico y de fácil entendimiento con los trabajadores.

La presente investigación surge a partir de la importancia de implementar un método cuyo propósito sea identificar los riesgos y a partir de ello, analizar, evaluar y controlar. la implementación de un método de análisis de riesgo que sea más flexible, dinámico y de fácil entendimiento para toda la organización que permita ver, Por lo general en una única página, se presenta un riesgo con sus causas, efectos y su manejo (medidas preventivas que abordan la probabilidad y medidas mitigadoras que abordan los impactos), es muy necesario e importante que sea entendible por cada uno de los trabajadores, debido a que las actividades que se realizan en las operaciones unitarias del ciclo de minado en las minas subterráneas son sumamente

peligrosas y han cobrado muchas vidas. El propósito de este estudio es aplicar una metodología de evaluación de riesgo para las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera San Cristóbal de Volcán, perteneciente a la compañía minera S.A.A, con el fin de asegurar la integridad de los empleados implicados en las actividades de alto riesgo.

La información que nos brindara el diagrama bow tie busca proporcionar un método en el que los trabajadores mismos analicen, evalúen y controlen los riesgos asociados a sus tareas que se presentan en sus actividades ya que el diagrama del bow tie es de fácil entendimiento y muy dinámico. Por esta razón es necesario la implementación del método que ponga en énfasis la prevención de eventos no deseados, que los trabajadores conozcan por ser entendible y que la metodología nos brinde un alto desempeño para evitar accidentes e incidentes o una vez sucedido disminuya sus consecuencias e impactos.

1.4. Hipótesis

1.4.1.- Hipótesis general.

Con la implementación adecuada de la metodología BOW TIE, se realizará el análisis, evaluación y control de riesgos para la prevención de eventos no deseados, además de ser un diagrama flexible, dinámico y de fácil entendimiento para toda la organización

1.4.2.- Hipótesis específicas.

- La metodología de análisis de riesgos BOW TIE nos brinda una manera de analizar los riesgos minuciosamente el cual contribuye a la prevención de accidentes fatales, eventos no deseados en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal
- La metodología bow tie en su diagrama nos brinda una manera de evaluar cuáles son las causas comunes y las amenazas que contribuyen a la ocurrencia y

repetición de eventos no deseados en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal

- El control y gestión de los controles críticos de prevención y mitigación es una tarea en el que la metodología BOW TIE en su diagrama nos brinda La facilidad de gestionar y controlar cada uno de ellos, esta acción evitara eventos no deseados.
- El método bow tie por su diagrama en forma de un corbatín es el más adecuado para que toda la organización de la unidad minera san Cristóbal lo entienda fácilmente por ser muy dinámico y flexible.

1.5. Identificación de variables

1.5.1 Variable Independiente:

Implementación del método de análisis de riesgos BOW TIE

1.5.2 Variables dependientes.

Accidentes en las Operaciones unitarias del ciclo de minado

1.5.3 Matriz de Operacionalización de las variables e indicadores de la hipótesis.

Tabla 1*Indicadores de la investigación*

Operacionalización de la variable metodología Bow Tie en operaciones unitarias del ciclo de minado

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
VI: IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA BOW TIE	Es un método de fácil entendimiento, para mejorar la gestión de controles de prevención y mitigación	Herramienta de gestión de seguridad	<i>Causas</i> <hr/> <i>Controles preventivos</i> <hr/> <i>Evento top</i> <hr/> <i>Consecuencias</i> <hr/> <i>Controles de mitigación</i>
VD: Accidentes en las Operaciones unitarias del ciclo de minado	Dentro de la actividad minera subterránea existen operaciones unitarias, cada una de ellos es un proceso compuesto por una serie de actividades	Accidentes en las: <ul style="list-style-type: none"> • O.U Perforación • O.U Voladura • O.U Carguío y transporte • O.U Ventilación • OU. Sostenimiento 	<i>Número de accidentes ocurridos en cada operación unitaria</i>

Nota: Elaboración propia

CAPITULO II

MARCO TEORICO.

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. A nivel internacional

A). Muñoz Arjona (2021), publicó su trabajo titulado “Aplicación de la herramienta BOW-TIE para la identificación y gestión de los riesgos en 17 instalaciones de procesos” en dpto. Ingeniería Química y ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, 2021 (pág. 3)

- Muñoz Arjona (2021) Indica, que La finalidad de este trabajo ha sido un estudio detallado de la metodología BOW-TIE que, aunque no siendo una de las metodologías más usadas dentro de seguridad en instalaciones de procesos es, sin embargo, una de las más completas, debido a que, al ser un esquema altamente visual e intuitivo, proporciona mucha información para aquellas personas que no tengan un alto grado de formación en seguridad de procesos. Por tanto, se trata de una metodología cuyo uso se ha incrementado en los últimos años. (pág. 19)
- Muñoz Arjona (2021) En su Conclusión nos indica que, El objetivo de este proyecto ha sido explicar el modelo BOW-TIE en su totalidad, separándolo en cada una de las partes. Los elementos más importantes del modelo, el peligro y

el top event, son la base de todo el análisis. Sin una buena identificación de los mismos, el modelo no será todo lo efectivo que puede llegar a ser. Por el contrario, una vez definidos correctamente, se puede hacer un buen análisis con el resto de los elementos del BOW-TIE (pág. 61).

B). Velandia, Mateo & Vargas Jimenez, (2022) presentan la Tesis titulada *“Propuesta de un plan de gestión de riesgo en el centro de procesos e innovación para la industria sostenible (cepiis) de la universidad de américa utilizando las herramientas de análisis de riesgo what if, hazop y la metodología bow-tie”*.

- Objetivo general: Velandia, Mateo & Vargas Jimenez (2022). nos indican que su objetivo es, "Formular un esquema de administración de riesgos para el Centro de procesos e innovación para la industria sostenible (CEPIIS) de la Universidad de América empleando los instrumentos de análisis de riesgo What if, HAZOP y la metodología Bow-tie." (pág. 16).
- En una de sus Conclusiones, Velandia, Mateo & Vargas Jimenez (2022), nos indican que, Durante el desarrollo de la metodología Bow-Tie, se tomaron en cuenta las repercusiones de la mayor valoración de riesgo detectada en cada uno de los nodos del HAZOP para los equipos. Como resultado, se obtuvieron 5 corbatines para la columna de destilación, 2 para el secador, 4 para la columna de absorción, 5 para el extractor líquido-líquido y sólido-líquido, 6 para el banco de reactores y 5 para el tren de evaporadores, todos estos grupos de corbatines forma el esquema de administración de riesgos para el Centro de procesos de la Universidad de América. (pág. 253).

2.1.2 A Nivel Nacional:

A). BALMACEDA FLORES (2018), presenta su Tesis titulada *“Metodología BOW TIE en identificación, evaluación y control de riesgos e impactos ocasionados por las obras de infraestructura vial en el distrito y provincia de Ilo año 2016”*

- BALMACEDA FLORES (2018) tenía como Objetivo General: “Determinar en qué medida la metodología Bowtie ayuda en la identificación, evaluación y control de impactos ocasionados por la ejecución de las obras de infraestructura vial en el distrito y provincia de Ilo en el año 2016” (pág. 5).
- BALMACEDA FLORES (2018), indica en su Conclusión que: La presente tesis tuvo como objetivo comprobar que la metodología Bow tie es una herramienta eficaz en la colaboración con la identificación de peligros esto debido a que se aplicó solo a los eventos más representativos cuyo origen se basa en un acto, condición o situación o fuente de energía con potencial de causar un daño en termino de lesión, enfermedad en las obras de infraestructura vial ejecutadas dentro del casco urbano en la Provincia de Ilo asociándose a los fallos en la implementación (pág. 127).

B). Lozano Condor & Perez Huaynalaya (2021), Presentan su trabajo de investigación titulada *“Implementación de la metodología BOW TIE para la prevención de accidentes e incidentes por desprendimiento de roca, unidad minera Yauricocha (2021)”*

- Lozano Condor & Perez Huaynalaya (2021), nos indica que su Objetivo general es: “Desarrollar la implementación de la metodología bow tie para la prevención de accidentes e incidentes por desprendimiento de rocas, unidad minera Yauricocha”. (pág. 18)
- Lozano Condor & Perez Huaynalaya (2021), concluyen que, La implementación de la metodología bow tie para la prevención de accidentes e incidentes por desprendimiento de rocas para la unidad minera Yauricocha evaluó la aplicación del proceso de GCC. Las actividades que dan el sustento se describen en los pasos 1 a 9, se incorporan a los procesos y lineamientos, lo que incorpora el intercambio de las competencias de supervisión del proceso de GCC desde el grupo responsable de su ejecución al responsable de las

operaciones en minería subterránea. Las actividades que se considerarán al final del proceso incluyen:

- La ejecución de una interacción orientada a evaluar los SSND existentes y distinguir los nuevos o emergentes que pudieran surgir durante las operaciones típicas de la Unidad Minera Yauricocha.
- El establecimiento de los sistemas para asegurar y auditar los informes listos elaborados.
- Actualización de la preparación de GCC según el estado situacional de la unidad Minera Yauricocha.
- Reconocimiento existente aparte de todo lo demás cuando los cambios presentados en la empresa pueden requerir una actualización del enfoque GCC (por ejemplo, si una empresa obtiene nuevos recursos y altera sus sistemas, su innovación, su ritmo de producción de la Unidad Minera Yauricocha.).
- Revisión de las ventajas de ejecutar la interacción GCC en la Unidad Minera Yauricocha. (pág. 97)

C). Ames Arredondo (2021), presenta su Tesis titulada. *“Aplicación la gestión de controles críticos en la metodología BOW TIE enfocado a la prevención de accidentes por deslizamiento de taludes en minería a tajo abierto (2021)”*.

- Ames Arredondo (2021) plantea como su 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.” (pág. 17)
- Ames Arredondo (2021), Concluye que: Después de la aplicar 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 (pág. 127)

D). Arroyo Lavado (2022), presenta su *Tesis titulada*. “Implementar controles aplicando la metodología bow tie para lograr reducir el número de accidentes en la empresa pacífico – unidad minera recuperada, Huancavelica 2020.

- Arroyo Lavado (2022), presenta como Objetivo general: “Determinar la implementación controles críticos aplicando la metodología Bow Tie en análisis de riesgos en la empresa Pacífico – unidad minera Recuperada, Huancavelica 2020.” (pág. 26).
- Arroyo Lavado (2022) Concluye que la aplicación del Bow Tie tuvo una reducción del índice de accidentabilidad de 8.70 a 0.51, el cual fue realizado en la empresa Pacífico S.R.L., que provee servicios a la Unidad Minera de Recuperada en Huancavelica, cuyos trabajos se realiza en minería y obras civiles, todo esto es consecuencia de aplicar los 8 pasos: identificación, confrontación de peligros, identificación de causas, formulación de control preventivo, identificación de impactos, implementación de control mitigante, escalamiento e implementación global del control. (pág. 43)

2.1.3 Antecedentes a nivel local

A). Alata Orconi (2023), presenta su Tesis titulada: “Aplicación de la Metodología BOW TIE para la reducción de Accidentes en la Empresa Robocon Servicios SAC. Unidad Minera San Cristóbal – Volcan Compañía Minera S.A.A.”

- Alata Orconi (2023), presenta como su Objetivo general: “Evaluar la

influencia de la aplicación de la metodología Bow Tie en la reducción de accidentes en la empresa Robocon Servicios SAC. Unidad Minera San Cristóbal – Volcan Compañía Minera S.A.A.” (pág. 28)

- Alata Orconi (2023), Indica como conclusión general, la aplicación de la metodología Bow Tie redujo significativamente los accidentes en la empresa Robocon Servicios SAC. Unidad Minera San Cristóbal – Volcan Compañía Minera S.A.A. Esto ya que, después de la aplicación del Bow Tie, solo se registró 1 accidente entre 2021 y julio del 2022. Mientras que antes del Bow Tie, anualmente ocurrían 5 accidentes, observando una clara reducción en la cantidad de accidentes totales, y una reducción significativa en el promedio anual de accidentes (pág. 135).

2.2. Marco Legal

Marco legal de seguridad y salud en el trabajo en el Perú

- Ley N° 29783, Ley de seguridad y salud en el trabajo.
- Ley N° 26842, Ley general de salud.
- Ley N° 27657, Ley del Ministerio de Salud.
- Ley N° 28806. Ley General de Inspección de Trabajo.
- Reglamento Nacional de edificaciones – Norma Técnica G. 050, Seguridad durante la construcción.
- Decreto Supremo N° 019-2006-TR. Reglamento de la Ley General de Inspección de Trabajo. 09/10/2006
- Decreto Supremo N° 003-98-SA. Normas Técnicas del Seguro Complementario de Trabajo de Alto Riesgo. 14/04/1998

- Decreto Supremo N° 015-2005-SA. Valores Límite Permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo. 06/07/2005
- Decreto Supremo N° 023-2005-SA. Aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de salud. 29/11/2006
- Decreto Supremo N° 055-2010-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional Minera. 22/08/2010
- Decreto Supremo N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. 25/04/2012.
- Resolución Ministerial N° 148-2012-TR. Aprueban la guía y formatos referenciales para el proceso de elección de los representantes ante el comité de seguridad y salud en el trabajo – csst y su instalación, en el sector público. 07/06/2012

Marco Legal internacional

- Decisión 584 Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo (Sustitución de la Decisión 547). Mayo 2004.
- Resolución 957 Reglamento del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, 23 setiembre 2005.
- Resolución WHA N° 60.26. Asamblea Mundial de la Salud de la Organización Mundial de la Salud, sobre la “Salud de los trabajadores: Plan de acción Mundial”

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Sistema de gestión

Según: Unifikas (2023), “Un sistema de gestión es un conjunto de procesos y herramientas diseñados para **ayudar a una organización** a alcanzar sus objetivos y metas de manera eficiente y efectiva”.

2.3.1.1. Sistema de gestión de seguridad

(OIT, s.f.) Menciona que:

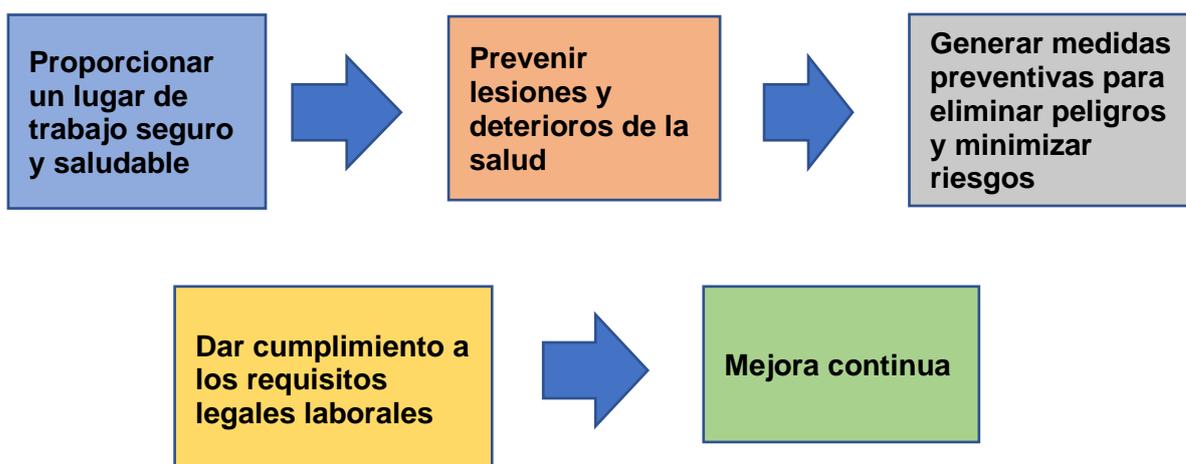
Un sistema de gestión de la SST es un conjunto de elementos interrelacionados o interactivos que tienen por objeto establecer una política y objetivos de SST, y alcanzar dichos objetivos. La aplicación de un enfoque sistémico a la gestión de la SST en el lugar de trabajo garantiza que el nivel de prevención y protección se evalúe continuamente y se mantenga mediante mejoras adecuadas y oportunas.

2.3.1.2. Objetivos de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

BSG Institute (comunicado personal, 2022); indica que “Los propósitos son asegurar un entorno laboral seguro, evitar lesiones y deterioro de la salud, implementando acciones preventivas para eliminar peligros y reducir riesgos, así como cumplir con las normativas laborales y mejorar constantemente”.

Salvaguardar la integridad física de los individuos y la salud en los entornos laborales.

Objetivos de un sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo



Nota: El Diagrama representa los objetivos de un sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo según (BSG institute, 2019)

2.3.2. BOW TIE.

PS&M (2021) describe que:

El análisis Bow -Tie es una manera esquemática de describir y evaluar la ruta de un riesgo, desde las causas iniciadoras hasta las consecuencias finales. Resulta una combinación de dos técnicas diferentes: un árbol de fallas analizando las causas de un evento (representado por el nudo de una corbata de lazo) y un árbol de eventos analizando las consecuencias. Sin embargo, el enfoque del Bow-Tie está en las barreras existentes entre las causas y el riesgo (preventivas); y las barreras existentes entre riesgo y consecuencias (mitigantes). Los diagramas se elaboran a partir de la conformación de un grupo de análisis y la técnica de lluvia de ideas.

2.3.3. Partes de un Diagrama BOW TIE

1. Evento Top de riesgo.

El primer paso para el procedimiento es reconocer los riesgos y adaptarse a las situaciones más adversas que esta pueda generar. El evento Top sucede o altera un conjunto específico de circunstancias, puede conllevar una o más ocurrencias, y puede tener múltiples causas y múltiples efectos. Un acontecimiento también puede ser algo que no se anticipa. Un suceso puede representar una amenaza. La representación bow-tie se centra en el peligro "evento top" (un elemento interno, alrededor o parte de una organización o actividad que puede provocar daños o perjuicios) y el evento principal (pérdida de control de un peligro conocido como estado del sistema no deseado).

2. Causas y/o amenazas que pueden originar el evento TOP.

Son las amenazas que pueden generar un evento no deseado (evento TOP) puede haber múltiples causas que desencadenen un accidente. Son causas todos los motivos por los cuales podría ocurrir el evento.

3. Controles críticos de prevención.

Agrupación de acciones, técnicas, operativas u organizativas que se movilizan para prevenir y gestionar incidentes no deseados. Los controles críticos son esenciales para prevenir un evento TOP. La falta o fallo de un control crítico incrementará notablemente el peligro de que suceda un suceso no deseado, a pesar de la presencia de otros controles. Se emplearán los instrumentos ya existentes para elegir los controles esenciales e identificar las tareas para confirmar el control, así como los requisitos de rendimiento del control. Es necesario garantizar un rendimiento óptimo de los controles críticos para prevenir el evento o minimizar su impacto y/o consecuencias.

4. Controles críticos de mitigación.

Se refiere a las acciones que disminuyen la posibilidad de que ocurra la consecuencia (frenan la progresión hacia la consecuencia) o disminuyen (minimizan) la severidad de la consecuencia.

5. Consecuencias después del evento TOP

Son el producto del suceso no planeado, pueden surgir múltiples efectos que pueden perjudicar la seguridad y la salud de los empleados. Ambiente, comunidad/social, jurídico, reputación, además de perjuicios financieros a la organización.

2.3.4. Construcción de un diagrama bow tie

1. Definir el riesgo. Como todos sabemos, un riesgo es una actividad, estado o proceso que tiene el potencial de causar daño.

Leedeo Engineering (2021), opina que:

El comienzo de cualquier evaluación de riesgo bow-tie es identificar y definir el riesgo. Un riesgo es algo que está dentro, alrededor o de la organización que tiene el potencial de causar daño. Trabajar con sustancias peligrosas, operar a un paciente o almacenar datos confidenciales son, por ejemplo, aspectos de

riesgo de una organización, mientras que leer este artículo no lo es.

2. Definición del evento Top: el evento que genera el momento en el que se pierde el control sobre el peligro.

Según, Leedeo Engineering (2021):

Una vez que se elige el peligro, el siguiente paso es definir el evento principal. Este es el momento en que se pierde el control sobre el peligro. A menudo, todavía no hay daños ni impactos negativos. Esto significa que el evento principal se produce justo antes de que los eventos comiencen a causar daños reales.

3. Identificación de causas o Amenazas: una posible causa del evento principal.

Leedeo Engineering (2021) nos indica que:

Las amenazas son causas creíbles del evento principal. Puede haber múltiples amenazas para un solo evento principal. Es importante evitar en este punto formulaciones genéricas como "Error humano", "Fallo del equipo" o "Condiciones climáticas". ¿Qué hace realmente una persona para provocar el evento principal? ¿Qué equipo falla y por qué? ¿Qué tipo de clima o qué impacto tiene el clima? La identificación de amenazas más específicas da como resultado la identificación de barreras y recomendaciones más específicas y, por tanto, más efectivas.

4. Identificación de Consecuencias: un evento no deseado causado por el evento principal.

Leedeo Engineering (2021) describe:

Las consecuencias son los resultados no deseados del evento principal. Puede haber más de una consecuencia por cada evento principal.

Llegados a esta etapa, tenemos una comprensión clara de los escenarios de riesgo y lo que se debe gestionar. El peligro, el evento principal, las amenazas

y las consecuencias ofrecen una descripción general de todo lo que no queremos en torno a un determinado peligro. Cada línea a través de la pajarita representa un escenario de incidente potencial diferente. En este punto añadiremos las barreras.

5. Barreras: acciones implementadas para evitar, regular o atenuar sucesos.

Leedeo Engineering (2021) describe:

Ahora que tenemos una descripción general de los escenarios no deseados, es hora de ver cómo controlar estos escenarios como organización. Esto se hace identificando las barreras.

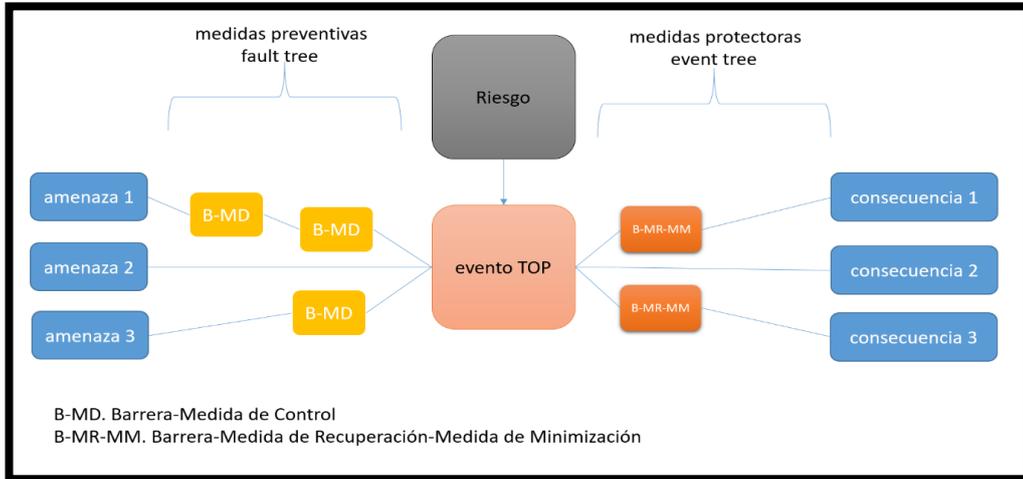
Aparecen barreras en la pajarita a ambos lados del evento superior. Las barreras interrumpen el escenario para que las amenazas no den como resultado el evento principal o no se conviertan en consecuencias no deseadas reales.

Una vez que se identifican las barreras, se tiene un conocimiento básico sobre cómo se gestionan los riesgos. Las barreras se pueden ampliar con información del sistema de gestión de la seguridad para incluir, por ejemplo, calificaciones de efectividad de barreras, calificaciones de la matriz de evaluación de riesgos y documentos (por ejemplo, procedimientos, protocolos, políticas, etc.). Después de eso, puede ver las actividades que mantienen la integridad de la eficacia de la barrera.

Básicamente, esto significa mapear un Sistema de Gestión de Seguridad en las barreras. También determinar quién es responsable de una barrera y evaluar la importancia de una barrera son cosas que se puede hacer para aumentar la comprensión, criticidad y robustez o debilidad de las barreras.

Imagen 1

Estructura de un diagrama Bow tie.



Nota: Tomado de (Leedeo Engineering, 2021)

2.3.5. Contribución del bow tie en el proceso de la gestión de la seguridad.

Imagen 2

Contribución de un diagrama Bow tie

Pilar	Contribución
Compromiso con la seguridad	La forma visual de los BOW TIE mejora la Cultura de Seguridad , involucra a los Stake holders .
Entendiendo los Peligros y Riesgos	La Identificación de los Peligros y el análisis del Riesgo es el objetivo del Bow Tie, involucra conocer el proceso y la seguridad de los mismos.
Gestión del Riesgo	Las Barreras son parte de los procedimientos operativos y mejores prácticas de seguridad , éstas son parte de integridad de activos y procesos de confiabilidad . Es una excelente herramienta de Entrenamiento para entender los peligros y los procesos de respuesta a las emergencias . Es un importante input para la Administración de los cambios .
Aprender de la Experiencia	Ayuda en la Investigación de Incidentes, registrando las auditorías y/o degradación de las Barreras

Nota: En la Imagen se observa la contribución de un diagrama Bow Tie. Tomado de Tema Litoclean S.A.C (2019)

2.3.6. Ventajas del BOW TIE.

PS&M (2021), menciona que: el diagrama bow tie ofrece las siguientes

ventajas:

- Es simple de entender y brinda una representación gráfica simplificada de los diferentes escenarios de riesgo identificados.
- Hace foco en los controles existentes, diferenciando los preventivos de los mitigantes.
- Puede utilizarse para representar gráficamente escenarios de un estudio LOPA, de forma tal de que sean más sencillos de visualizar.
- La técnica puede ser utilizada de forma cualitativa o cuantitativa (utilizando frecuencias de ocurrencia de eventos y probabilidad de falla de las distintas barreras o capas de protección).

2.3.7. Relación de las metodologías BOW TIE y ICAM

HSEC Consulting (2019), Indica que:

El análisis de causalidad establece la conexión entre el análisis Bow-Tie y los métodos de investigación ICAM. Más adelante, los controles establecidos para cada causa, pueden ser clasificados en las mismas familias de las capas de protección del método de estudio ICAM. La figura siguiente ilustra esta relación.

Imagen 3

Estrategia de un bow tie en SSO



Nota: Tomado de Estándar Riesgos de Fatalidad Transversales DIR-SSO-002, 2017.

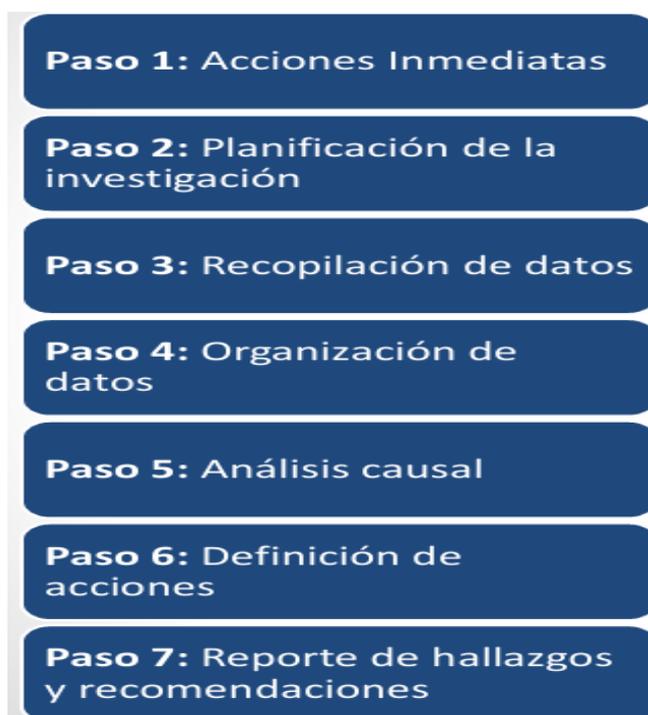
2.3.7.1 Metodología ICAM.

HSEC Consulting (2019), Indica que:

que es una técnica de investigación de incidentes originalmente desarrollada por BHP. Proporciona un proceso que va más allá del concepto de una causa única y reconoce una serie de causas inmediatas, factores contribuyentes y causas subyacentes. Este modelo también ofrece una técnica denominada metodología de los siete pasos que son:

Imagen 4

Pasos para la investigación de accidentes con el método ICAM



Nota. El método ICAM ofrece 7 pasos para la investigación de accidentes según HSEC Consulting (2019).

2.3.7.2. Metodología BOW TIE.

HSEC Consulting (2019), expone que: Es una Representación gráfica de las dinámicas para que un riesgo se materialice. Muestra los eslabones entre las causas, controles, pérdida del control del evento y las consecuencias para cada escenario. Su nombre se debe a la forma de un corbatín que posee. (Bow Tie = Corbatín) y se compone de a lo menos a 5 partes.

Imagen 5

Pasos para construcción de un bow tie



Nota. para la construcción de un diagrama Bow tie se considera 5 pasos según: HSEC Consulting (2019).

Los dos enfoques se asemejan en el análisis de causalidad respecto al concepto general de reconocer una pérdida, determinar el suceso que la ocasionó y finalmente identificar las causas fundamentales para determinar las medidas correctivas que impedirán que el incidente vuelva a ocurrir.

El método ICAM reconocen las causas contribuyentes, que se asemejarían a las causas y condiciones subestándares, que podrían ser similar a las causas fundamentales.

En el método BOW TIE se identifican las causas que pueden contribuir a la ocurrencia de un evento no deseado. Para la investigación de un accidente por el método ICAM

2.3.8. Gestión de riesgos

SafetyCulture (2025), afirma lo siguiente:

La gestión de riesgos es el proceso de identificar, evaluar y minimizar el impacto del riesgo. En otras palabras, es una forma de que las organizaciones

identifiquen los peligros y amenazas potenciales y tomen medidas para eliminar o reducir las posibilidades de que ocurran.

2.3.9. Herramientas en la gestión de riesgos

2.3.9.1. Modelo BOW TIE

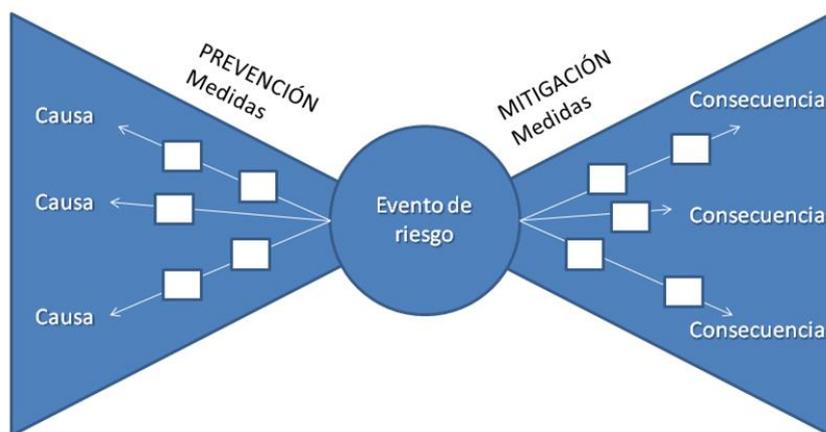
ESCUELA EUROPEA DE EXCELENCIA (2020), Menciona que:

El Modelo de Bowtie –corbatín o corbata de pajarita en inglés– se utiliza para analizar y comunicar escenarios de riesgos, reproduciendo sus resultados en un diagrama que tiene la forma de un corbatín. Usualmente este modelo se representa en una pizarra, en una hoja de papel o a través de un software. Este modelo ofrece un resumen visual de todos los escenarios de incidentes relevantes que podrían ocurrir en torno a un determinado riesgo. Pero el modelo de Bowtie también representa lo que puede hacer la organización para controlar esos escenarios proponiendo medidas o barreras de seguridad.

Una vez que se identifican las barreras, el modelo se puede llevar un poco más allá e identificar las formas en que la barrera puede fallar para seguir proponiendo soluciones.

Imagen 6

Esquema de un diagrama Bow tie



Nota: Tomado de “ (ESCUELA EUROPEA DE EXCELENCIA, 2020)”

2.3.9.2. Matriz de riesgos

¿Qué es la Matriz de Riesgos?

(ESCUELA EUROPEA DE EXCELENCIA, 2020), menciona que:

La matriz de riesgos es una herramienta efectiva para la evaluación de riesgos que se enfoca en dos variables: probabilidad e impacto. Su funcionamiento, a través de dos ejes, es muy sencillo. La matriz consiste en una cuadrícula que, en un eje Y, considera la probabilidad de ocurrencia de un evento que representa riesgo. Mientras en un eje X se representa el nivel de impacto de ese evento.

La probabilidad de ocurrencia se puede representar en términos porcentuales, o bien en una escala de 1 a 5 o de 1 a 10, dependiendo del detalle exigido para la evaluación. Por otra parte, el impacto usualmente se califica en términos cualitativos: menor, moderado, mayor o crítico; aunque se pueden agregar más categorías, igualmente dependiendo del nivel de detalle que se espere del estudio.

La matriz se utiliza para asignar un número particular al riesgo, que se obtiene al multiplicar la probabilidad por el impacto. La cifra resultante ayuda a comprender la naturaleza del riesgo y si hay que priorizar la respuesta ante el mismo. Los profesionales de riesgos suelen dividir la matriz en tres colores convencionales, en el que el amarillo representa una zona de riesgos aceptables, el verde riesgos moderados y el rojo la zona de riesgos críticos e inaceptables.

Dentro de las herramientas en la gestión de riesgos, esta se utiliza especialmente para:

Verificar los resultados de una acción correctiva.

Analizar riesgos asociados con un procedimiento.

Categorizar riesgos para priorizar su gestión.

Determinar brechas de cumplimiento.

Imagen 7

Matriz de valoración de riesgos

Matriz de valoración de riesgos		Consecuencias			
		Insignificante	Moderado	Dañino	Extremo
Probabilidad	Muy alta	Medio	Alto	Crítico	Crítico
	Alta	Medio	Alto	Alto	Crítico
	Media	Bajo	Medio	Alto	Alto
	Baja	Bajo	Bajo	Medio	Medio

Nota: Tomado de "RIMAC Seguros y Reaseguros", 2024.

2.3.9.3. **Árbol de decisiones:**

ESCUELA EUROPEA DE EXCELENCIA, (2020), Indica que:

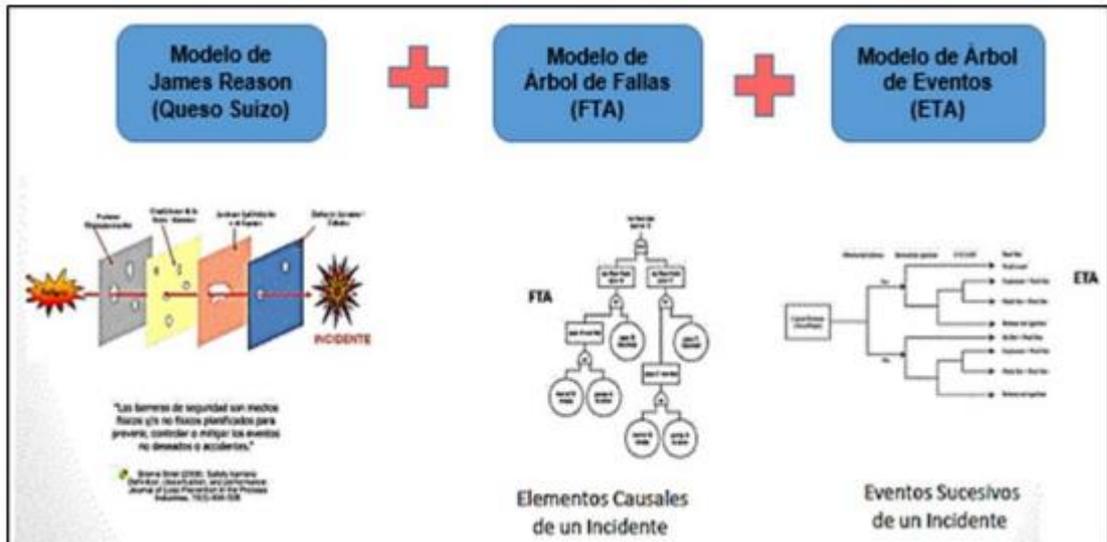
En apariencia, el árbol de decisiones se asimila a un diagrama de flujo. Este modelo de evaluación no solo es utilizado en gestión de riesgos, también permite definir presupuestos y cuantificar costes o establecer las consecuencias de una determinada acción.

Su funcionamiento es muy sencillo, razón por la cual es entre las herramientas en la gestión de riesgos la más utilizada por profesionales inexpertos. Generalmente el árbol parte de un nodo que se ramifica, simulando un árbol, en diferentes opciones; cada una de ellas genera nuevos nodos que a su vez ofrecen otras ramificaciones.

De este modo, permite explorar resultados ante diferentes alternativas y facilita la toma de decisiones.

Imagen 8

Elementos de gestión de riesgos



Nota: Tomado de Colaboradores de Wikimedia. (2019),

2.3.10. ISO 45001

BSG Institute (2018), menciona que:

La norma ISO 45001 define los requerimientos para la implementación de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Laboral. Seguirá con la labor de OHSAS 18001, esta norma será aplicada para prevenir riesgos laborales y para proteger la seguridad y salud de los trabajadores y sus organizaciones,

La publicación de la norma ISO 45001, pone punto final al proceso de elaboración. Tras años de controversia en torno a un estándar para los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST), finalmente se ha puesto en marcha un estándar internacional ISO en este campo,

2.3.11. ISO 31000

BSG Institute (2018), describe lo siguiente:

La norma UNE-ISO 31000 define las pautas para manejar el riesgo de las

organizaciones que enfrentan y ofrece un enfoque para manejar cualquier clase de riesgo, sin importar el sector de la organización, incluyendo las decisiones tomadas en todos los niveles de la organización.

Una adecuada gestión del riesgo permite a las organizaciones:

- Optimización y disminución de riesgos operativos, estratégicos, reputacionales, entre otros, para la entidad.
- Genera confianza en el mercado y proporciona seguridad a las entidades gubernamentales de una organización.
- Se consigue disminuir la incertidumbre y optimizar los resultados y los recursos.
- Fomenta la preparación para enfrentar situaciones de crisis, minimizar sus efectos y restaurar la normalidad de las actividades esenciales en el menor tiempo posible, de manera que la continuidad de la organización no se vea afectada.
- Organizaciones más sensibilizadas con la realidad, logren un mejoramiento en la toma de decisiones, organizándola y realizándola basándose en la información más relevante disponible

La Norma ISO 31000 reconoce varios componentes de un marco laboral de administración del riesgo. Hay beneficios cuando los componentes de ese marco laboral se incorporan en el gobierno, funciones y procedimientos de una entidad. Estos están vinculados con la efectividad de la organización y la adopción de decisiones adecuadas.

- a) El esquema de trabajo para la administración del riesgo debe ser desarrollado incorporando sus elementos en el sistema global de administración y toma de decisiones de la organización, sin importar si el sistema es formal o no.
- b) Entender y manejar la incertidumbre se transforman en elementos

esenciales en los sistemas de administración, al definir un enfoque compartido para la organización.

c) La puesta en marcha del proceso de administración del riesgo puede ajustarse proporcionalmente al tamaño y a las necesidades de la entidad.

d) El desempeño de la gestión del riesgo se convierte en parte integral del enfoque global de desempeño.

e) La interrelación y el vínculo entre áreas de administración del riesgo de una organización que a menudo se encuentran separadas (como la administración del riesgo empresarial, la administración del riesgo financiero, la administración del riesgo de proyectos, la administración de la protección y seguridad, la administración de la continuidad empresarial, la administración de seguros) pueden ser garantizadas optimizadas, dado que el cuidado se centra entidad, considerando el riesgo.

f) Las áreas de administración del riesgo comparten métodos similares para alcanzar las metas de la organización. Como resultado, pueden surgir ventajas sociales indirectas, dado que los interesados externos de la organización pueden ser incentivados a optimizar su actividad de administración del riesgo correspondiente.

2.3.12. Prevención de accidentes en el trabajo:

ESG Innova (2024) Indica que:

En el ámbito laboral, la seguridad y la prevención de accidentes son aspectos fundamentales para garantizar el bienestar de los trabajadores y la eficiencia en las operaciones. La prevención de accidentes laborales no es simplemente una tarea aislada o una serie de protocolos estáticos; es un compromiso continuo y dinámico con la seguridad en el lugar de trabajo. Consiste en la adopción de medidas proactivas para eliminar o reducir los riesgos de lesiones y enfermedades ocupacionales, así como para salvaguardar la integridad física y

mental de los trabajadores. Esto implica no solo cumplir con las regulaciones y normativas de seguridad laboral, sino también fomentar una cultura organizacional que valore y priorice la seguridad en todas las actividades laborales.:

2.3.13. Implementación de la bow tie para las operaciones unitarias del ciclo de minado

Ciclo de minado = perforación + voladura + carguío y transporte+ ventilación+ sostenimiento

Ciclo de minado en minería subterránea Comprenden las operaciones de explotación llamadas operaciones unitarias y constan de perforación, voladura, sostenimiento, limpieza, carguío y transporte de desmonte y beneficio de mineral.

(Aguilar, 2013)

➤ Perforación.

Panorama Minero (2021), indica que la perforacion:

Es la primera operación del ciclo minero y antecede a la preparación de una voladura. Consiste en la concentración de una gran cantidad de energía en una pequeña superficie de roca, con el objeto de vencer la resistencia a la separación de sus componentes, y abrir huecos cilíndricos (barrenos o taladros), que están destinados a alojar material explosivo. El estudio de factores geológicos, operacionales y geométricos previos a la perforación nos permitirán determinar el tipo de mecanismo de perforación a utilizar y cantidad de barrenos a ejecutar. La perforación en mina subterránea se puede efectuar con equipos manuales (Jackleg) y mecanizados (Jumbos). Pueden ser accionadas por energía neumática, eléctrica e hidráulicas. Existen diferentes métodos mecánicos de perforación, la más utilizada para minería subterránea es la perforación Rotopercutiva o Rotopercusión.

➤ Voladura.

Panorama Minero (2021) indica que:

Una vez perforada la roca, se procede a la voladura (tronadura, disparo, explosión, pega y fuego), esto será un proceso que consiste en la carga de cada barreno con material explosivo (químico) que al hacer detonada (ignición) genera una fuerte onda de quiebre y empuje que fractura y desplaza la roca. El resultado de una buena voladura dependerá de su diseño (patrón de voladura) derivado del estudio y ejecución de diferentes parámetros: tipo de roca, tipo de explosivo, cantidad de explosivo (factor de carga) y perforación de barrenos. Se dice que la voladura es todo un arte donde el material resultante afectará las siguientes operaciones.

➤ **Carguío y transporte.**

Panorama Minero, (2021), indica que:

Consiste en limpiar o recoger todo el material producto de la voladura. En minas de gran envergadura el equipo mayormente usado es el cargador LHD (Cargar – Transportar y Descargar) llamado Scooptram (cargador frontal bajo perfil) de diferentes dimensiones y capacidades. Para minas de menor dimensiones en sus galerías se tiene el Scraper (rastrillo) y Autocargador (palas mecánicas, neumáticas). Por ejemplo, el material es recogido por un Scooptram y puede ser llevado a una estación de carga (galería tipo estocada), a una chimenea de traspaso (galería vertical) o vaciado directamente a la tolva del Dumper (camión minero de bajo perfil) para ser llevado a superficie.

➤ **Ventilación.**

(Panorama Minero, 2021), indica que:

La atmósfera dentro de una mina subterránea debe mantener un estándar de salud estable conteniendo 19,5% de oxígeno para los mineros y buen funcionamiento de los equipos. Para esto se requiere un sistema de ventilación que suministre cantidad y calidad de aire, (según la cantidad de mineros y

emisión de gases) a través de las galerías o ductos de ventilación propulsado o aspirado a través de ventiladores de alta presión (ventilación mecánica) ubicados en superficie o interior de mina. Usualmente el circuito de ventilación consiste en hacer llegar aire fresco a los frentes de trabajo, este limpia o empuja el aire caliente y viciado de gases y llevado a superficie por otros ductos o galerías verticales (chimeneas).

➤ **Sostenimiento.**

Panorama Minero, (2021) menciona que:a

Existen diversos elementos de sostenimiento: puntales de madera, arcos metálicos, hormigón armado, mampostería, pernos y sostenimiento auto desplazables. Algunas minas alrededor del mundo incluyen el sostenimiento dentro del ciclo minero, esto dependerá de la calidad de roca en la cual trabajemos (Se debe efectuar estudios de mecánicas de rocas antes de efectuar la excavación).

2.4 Marco Conceptual

Accidente de trabajo

Incidente o suceso repentino que sobreviene por causa o con ocasión del trabajo, aún fuera del lugar y horas en que aquél se realiza, bajo órdenes del empleador, y que produzca en el trabajador un daño, una lesión, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

Accidente incapacitante

Suceso resultante en lesión(es) que, luego de la evaluación médica correspondiente, da lugar a descanso médico y tratamiento, a partir del día siguiente de sucedido el accidente. El día de la ocurrencia de la lesión no se tomará en cuenta para fines de información estadística. (DECRETO SUPREMO

Nº 055-2010-EM, 2010)

Accidente mortal

Suceso resultante en lesión(es) que produce(n) la muerte del trabajador, al margen del tiempo transcurrido entre la fecha del accidente y la de la muerte. Para efecto de la estadística se debe considerar la fecha del deceso. (DECRETO SUPREMO Nº 055-2010-EM, 2010)

Capacitación

“Actividad que consiste en transmitir conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo de aptitudes, conocimientos, habilidades y destrezas acerca del proceso de trabajo, la prevención de los riesgos, la seguridad y la salud ocupacional de los trabajadores”. (DECRETO SUPREMO Nº 055-2010-EM, 2010)

Enfermedad ocupacional. “Es el daño orgánico o funcional ocasionado al trabajador como resultado de la exposición a factores de riesgos físicos, químicos, biológicos y/o ergonómicos, inherentes a la actividad laboral.” (DECRETO SUPREMO Nº 055-2010-EM, 2010)

Estadística de incidentes y accidentes

“Sistema de registro, análisis y control de la información de incidentes y accidentes, orientado a utilizar la información y las tendencias asociadas en forma proactiva para reducir la ocurrencia de este tipo de eventos” (DECRETO SUPREMO Nº 055-2010-EM, 2010)

Estándar de trabajo

El estándar es definido como los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. Es un parámetro que indica la forma correcta de hacer las cosas. El

estándar satisface las siguientes preguntas: ¿Qué hacer?, ¿Quién lo hará?, ¿Cuándo se hará? y ¿Quién es el responsable de que el trabajo sea bien hecho?.

(DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

Inspecciones

Es un proceso de observación metódica para examinar situaciones críticas de prácticas, condiciones, equipos, materiales, estructuras y otros. Es realizada por un funcionario de la empresa entrenado en la identificación de peligros, evaluación y control de los riesgos (IPERC). (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

Incidente de seguridad

Acto laboral o vinculado a este, con potencial impacto en los empleados o en la compañía. (Chaw, 2019)

Lesión “Es un daño físico u orgánico que sufre una persona como consecuencia de un accidente de trabajo, por lo cual dicha persona debe ser evaluada y diagnosticada por un médico titulado y colegiado.” (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

Peligro “Todo aquello que tiene potencial de causar daño a las personas, equipos, procesos y ambiente.” (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

Prevención de accidentes “Es la combinación razonable de políticas, estándares, procedimientos y prácticas, en el contexto de la actividad minera, para alcanzar los objetivos de Seguridad y Salud Ocupacional del empleador.” (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

2.5. Condiciones actuales de seguridad antes de la implementación del bow tie

2.5.1. Programa anual de seguridad y salud en el trabajo

Es el conjunto de actividades de prevención en seguridad y salud en el trabajo que ha establecido Volcan Cia minera para la U.M San Cristóbal para desarrollar a lo largo del año 2020, en función al diagnóstico inicial y al cumplimiento de requisitos legales y por consiguiente está alineado a los objetivos de gestión y operativos del sistema de seguridad y salud en la empresa.

Programa Anual de Seguridad y Salud Ocupacional Se trata de la programación anual de las distintas actividades que se planea desarrollar, como producto del estudio y análisis de los objetivos y el cumplimiento del Sistema de Gestión Ambiental y Salud Ocupacional que presenta el Reglamento. Su finalidad es actualizar las medidas y el diagnóstico de la situación de riesgo, además de prevenir la ocurrencia de factores de riesgo que provoquen daños al parte o al conjunto de la organización, las mismas que serán monitoreadas y controladas por la Gerencia HSEC a fin de que los objetivos se cumplan según el Plan.

El Programa Anual de Seguridad para el 2020, mantendrá un alcance para el personal que labora dentro de las instalaciones de la UEA Yauli, tanto para personal de Cía. como para las empresas contratistas mineras y empresas que brindan actividades de Servicios conexos; quienes, de una forma u otra, están expuestos a diferentes tipos de peligros propios de sus actividades y/o tareas.

2.5.2. Programa Anual de Capacitaciones:

U.M San Cristóbal ejecuta programas de capacitación para elevar las competencias a los trabajadores e inducirlos a seguir las reglas de seguridad y el cumplimiento de los procedimientos de trabajo. Estas capacitaciones buscan mejorar los conocimientos, habilidades, actitudes y conductas de los trabajadores en sus puestos de trabajo a fin de hacer un trabajo seguro y eficiente.

Para los trabajadores las capacitaciones se darán en cumplimiento a lo recomendado por el anexo 6. Del DS-023-2017-EM, adicionalmente se deben incluir temas operativos (procedimientos y estándares operativos).

En el 2020, se invirtieron 115,926 h/hombre para los empleados de la empresa, con una inversión per cápita de 53 h de formación. Asimismo, para los trabajadores de compañías contratistas se destinaron 188,069 h/ con una formación per cápita de 40 h.

Imagen 9

Promedio de horas hombre de capacitación, año 2020

Promedio de horas hombre de capacitación, año 2020

PROMEDIO DE HORAS/HOMBRE DE CAPACITACIÓN DE LOS COLABORADORES POR CATEGORÍA PROFESIONAL Y SEXO

404:1

PERSONAL PROPIO	POR CATEGORÍA PROFESIONAL				POR SEXO			
	FUNCIONARIOS	STAFF	EMPLEADOS	OBREROS	FEMENINO	MASCULINO	TOTAL	
Número de trabajadores	31	897	1,322	8	977	205	3,022	3,227
Horas-hombre de capacitación	2,574	74,791	17,856	20,705	7,052	108,874	115,926	
Promedio de horas de capacitación por trabajador	83.0	83.4	13.5	21.2	34.4	36.0	35.9	

PERSONAL CONTRATISTA	POR SEXO		
	FEMENINO	MASCULINO	TOTAL
Número de trabajadores	530	6,596	7,126
Horas-hombre de capacitación	12,214	175,855	188,069
Promedio de horas de capacitación por trabajador	23.0	26.7	26.4

Nota: Tomada del Área de Seguridad de Volcan

2.5.3. Medidas preventivas de riesgos potenciales.

Las medidas de prevención de riesgos en la unidad minera San Cristóbal son diversas los cuales mencionaremos los más importantes a continuación.

En seguridad:

1.- IPERC

El IPERC es un proceso sistemático que permite identificar peligros en los lugares de trabajo, evaluar los riesgos asociados y establecer medidas de control para reducirlos o eliminarlos. Este enfoque integral busca garantizar un entorno laboral seguro, saludable y productivo, alineado con las normativas locales e internacionales de SST. (HSETools, s.f.)

2.-PETAR

El Permiso Escrito para Trabajos de Alto Riesgo (PETAR) es un documento que tiene por obligación ser autorizado y firmado por el Supervisor del Trabajo y el jefe del área de la empresa, quienes son los responsables del trabajo.

Asimismo, el PETAR es el que permite a los colaboradores efectuar trabajos en zonas o ubicaciones que son peligrosas y consideradas de alto riesgo, buscando prevenir cualquier clase de accidentes durante su realización.

El Permiso Escrito para Trabajos de Alto Riesgo (PETAR), se deberá utilizar en cada situación donde se necesite realizar un trabajo en un lugar considerado de alto riesgo, por ello aquí te ayudaremos a despejar algunas dudas respecto al uso y este documento. (Instituto de la Calidad Ambiental, 2020)

3.- ATS

"ANÁLISIS DE SEGURIDAD EN EL TRABAJO", es un método para identificar los peligros que generan riesgos de accidentes o enfermedades potenciales relacionados con cada etapa de un trabajo o tarea y el desarrollo de controles que en alguna forma eliminen o minimicen estos riesgos. (RIMAC Seguros y Reaseguros, 2025)

4.- OPT (OBSERVACIÓN PLANEADA DE LA TAREA). - Es un instrumento de administración para confirmar el cumplimiento del paso a paso del procedimiento (PETS), además de ser útil para actualizar y optimizar los PETS.

5.- PETS

Documento que contiene la descripción específica de la forma como llevar a cabo o desarrollar una tarea de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de pasos consecutivos o sistemáticos. Resuelve la pregunta: ¿Cómo hacer el trabajo/tarea de manera correcta y segura? (Osinergmin, s.f.)

6.- Política PARE. Política que permite al trabajador parar sus labores cuando las condiciones no están dadas se aplica esta política, teniendo en el procedimiento reanudar las actividades después de analizar el acto o condición subestándar. En el caso que no se esté cumpliendo las medidas de seguridad los colaboradores tienen la potestad y están autorizados de paralizar cualquier labor.

7.- La Re portabilidad. – Es una herramienta que se practica en todos los niveles de la organización, el cual nos ayuda a cerrar el círculo final tomando planes de acción de los sucesos ocurridos para ello en U.M San Cristóbal se tiene 2 herramientas:

HPRI – HIGH POTENTIAL RISK INCIDENT Un Incidente de Alto Riesgo Potencial, es un evento que con o sin lesión podría haber ocasionado un consecuencia fatal o discapacidad permanente ó impacto ambiental grave Categoría 4 o Catastrófica Categoría 5:

NMRI – NEAR MISS RISK INCIDENT Es un casi accidente donde el trabajador involucrado no sufre lesiones corporales. Es un evento con potencial cuyo peor escenario puede llegar a ser categoría 01, 02 o 03

RISK INCIDENT

NMRI

- Categoría 1, FAI (primeros auxilios)
- Categoría 2, RWI (trabajo restringido), MTI

- (Tratamiento médico)
- Categoría 3, LTI (incapacitante)

En salud ocupacional:

A fin de prevenir riesgos en el trabajo como daño orgánico o funcional ocasionado al trabajador como resultado de la exposición a factores de riesgos físicos, químicos biológicos, ergonómicos y psicosociales, inherentes a la actividad laboral en U.M San Cristóbal se realiza:

Examen médico ocupacional:

Los Exámenes Médicos Ocupacionales (EMO), es un derecho que tiene el trabajador cuyo objetivo consiste en prevenir y detectar problemas de salud derivados del trabajo, permiten tomar decisiones e implementar mejoras en el sistema de seguridad y salud en el trabajo. Esto redundará en beneficio no solo del colaborador sino también en el desempeño de la compañía, el clima laboral y los resultados de la empresa. (GRUPO VITAL, 2022)

En volcán compañía minera los formatos de seguridad antes mencionados son ejecutados por todos los trabajadores todos los días obligatoriamente ya que si no lo realizan no pueden iniciar sus actividades, acción que a hecho que los trabajadores lo llenen mecánicamente.

2.5.4. Medidas correctivas y de control de riesgos.

Son las que previenen el peligro y buscan disminuir o eliminar los perjuicios al empleado. Estas inciden tanto en el medio de transmisión como en el trabajador mismo y son:

Medidas de protección colectiva: dirigidas a proteger a todos los trabajadores

Medidas de protección individual: Los EPPS se deben utilizar como medidas complementarias a otras, pero en ningún caso se pueden sustituir ni por la protección colectiva ni por cualquier otra medida preventiva.

EPPS.

El equipo de protección personal (PPE) es un tipo de ropa o equipo diseñado para reducir la exposición de los empleados a peligros químicos, biológicos y físicos cuando se encuentran en un lugar de trabajo. Se utiliza para proteger a los empleados cuando los controles de ingeniería y administrativos no son factibles para reducir los riesgos a niveles aceptables. (safetyculture, 2024)

Controles administrativos.

En este segundo nivel encontramos básicamente instrucciones, manuales de procedimientos y todas aquellas orientaciones que vienen desde la Alta Dirección o de cualquiera de las gerencias de área, para reducir la probabilidad de ocurrencia de un riesgo. Los programas de capacitación, por ejemplo, forman parte de los controles típicos de este segundo nivel (HSETools, s.f.)

2.5.5. Estadística de accidentes.

En compañía minera Volcán, Para del 2000 el año 2011 tuvo 90 muertos un promedio de 7 muertos por año es decir cada 3 meses un accidente mortal.

Situación previa de Seguridad en Volcán (Índices de seguridad 2009-2012)

Gráfico 1

Índice de frecuencia años 2009 - 2012

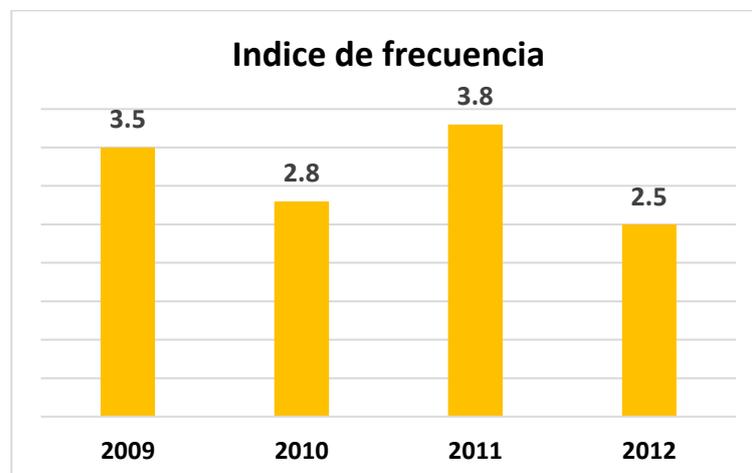


Gráfico 2

Índice de severidad años 2009 - 2012

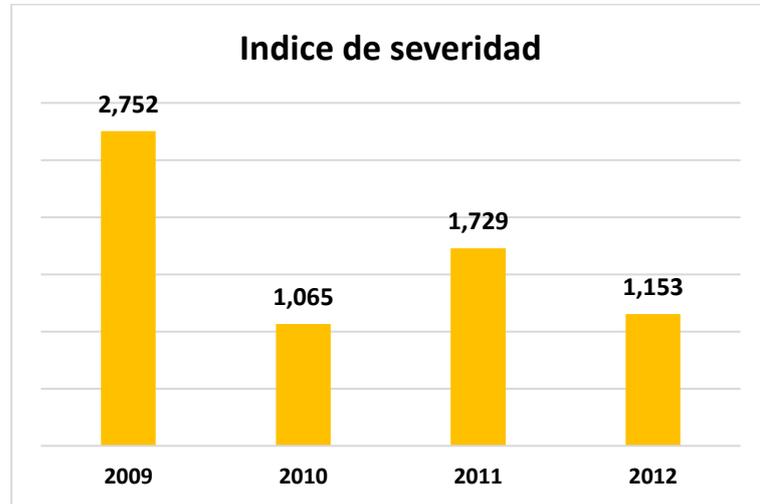


Gráfico 3

Accidentes mortales años 2009 - 2012

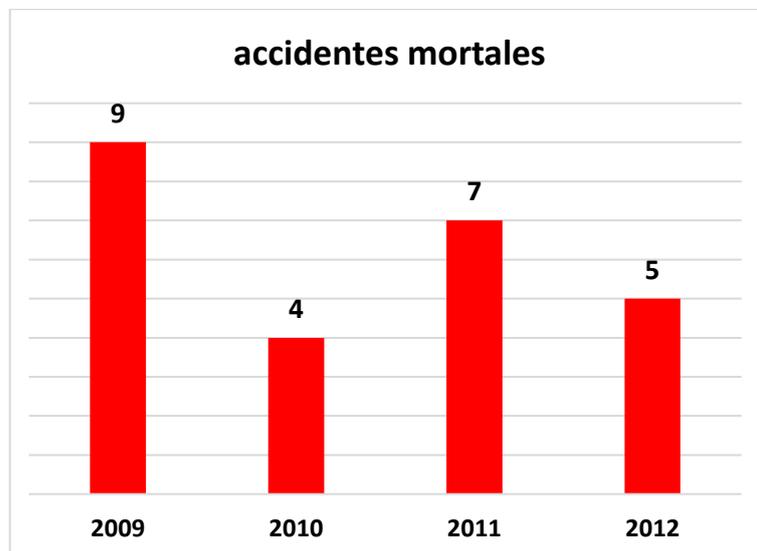
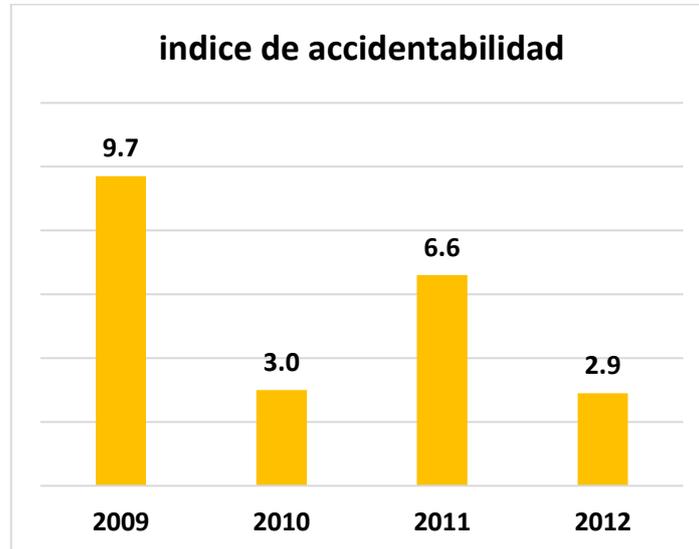


Gráfico 4

Índice de accidentabilidad años 2009 - 2012



Nota: Tomada del Área de Seguridad de Volcán

Estadísticas de accidentes de los últimos años en la U.M San Cristóbal

Tabla 2

Estadísticas de accidentes de los años 2016-2020

SAN CRISTOBAL	2018	2019	2020	Jul-20	Ago-20
Categoría 04 - Mortal	0	0	1	1	0
Categoría 03 LTI - Incapacitantes	6	2	3	1	0
Categoría 02 RWI - Trabajo Restringido	0	0	3	0	1
Categoría 02 MTI - Tratamiento Médico	7	7	2	0	0
Categoría 01 FAI - Primeros Auxilios	0	0	1	1	0
Accidentes a la Propiedad	4	2	12	2	3
HPRI - High Potential Risk Incident	3	2	1	0	0
NMRI - Near Miss Risk Incident	0	0	33	0	0

Índices	2018	2019	2020	Jul-20	Ago-20
LTIFR - Lost Time Injury Frequency	1.26	0.46	2.20	7.90	0.00
DISR - Disabling Injury Severity Rate	151	51	3,489	23,729	0
TRIFR - Total Recordable Injury	2.72	2.05	4.96	7.90	4.08
Horas Hombre Trabajadas	4,770,834	4,385,106	1,815,947	253,065	244,902
Días perdidos por accidentes	720	225	6,336	6,005	0

Nota: Tomada del Área de Seguridad U. E. A. Yauli S. A. C.

- La cantidad de accidentes mortales durante los años 2018 y 2019 fue de cero,

lo cual nos estaría demostrando que el sistema de gestión de seguridad y salud correspondientes a esos años, logro mitigar los accidentes ocurridos, así se pudo evitar que estas terminen en muertes, las barreras de control fueron efectivas. Sin embargo, en el año 2020 pese a los esfuerzos realizados, en el mes de julio se tuvo un accidente con consecuencia fatal

- En los años 2017 y 2018, ocurrieron 4 y 6 accidentes respectivamente, por lo que se puede deducir, que el sistema de gestión que se aplicó en esos años fue ineficiente, en el año 2019 y 2020 se registró 2 y 3 accidentes respectivamente, esto demuestra una mejora en un 50% del sistema de gestión vigente en el 2018 ya que logró disminuir los accidentes de este tipo, para el año 2020, ocurrieron 3 accidentes , los que indica un retroceso con respecto al año anterior, demostrando que el sistema de gestión aplicado en esos años no se tomaron buenas decisiones, estos resultados ayudarán a replantear y establecer barreras de control más efectivas con el fin de mitigar los accidentes.
- Los incidentes con trabajo restringido y accidentes con primeros auxilios, durante los años 2018 y 2019 fueron 0, donde indica una gestión más eficiente, lo que para el año 2020 se tubo deficiencias ya que se tuvo 3 incidentes con trabajo restringido y 1 accidente que necesito primeros auxilios
- Para el año 2018 y 2019 se tuvo 7 tratamientos médicos en cada año y para el 2020 se tuvo una disminución importante ya que solo fueron 2, lo cual indicaría que los esfuerzos puestos en disminuir incidentes con tratamiento médico fueron eficientes.
- Los accidentes ocurridos a la propiedad, en el año 2017 lamentablemente se tuvo un accidente de ese tipo, mientras que para el siguiente año se incrementó a 3, en el año 2019 se redujo a un solo caso.

2.5.5.1 Índice de severidad

“Número de días perdidos o cargados por cada millón de horas - hombre

trabajadas. Se calculará con la fórmula". (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

siguiente:

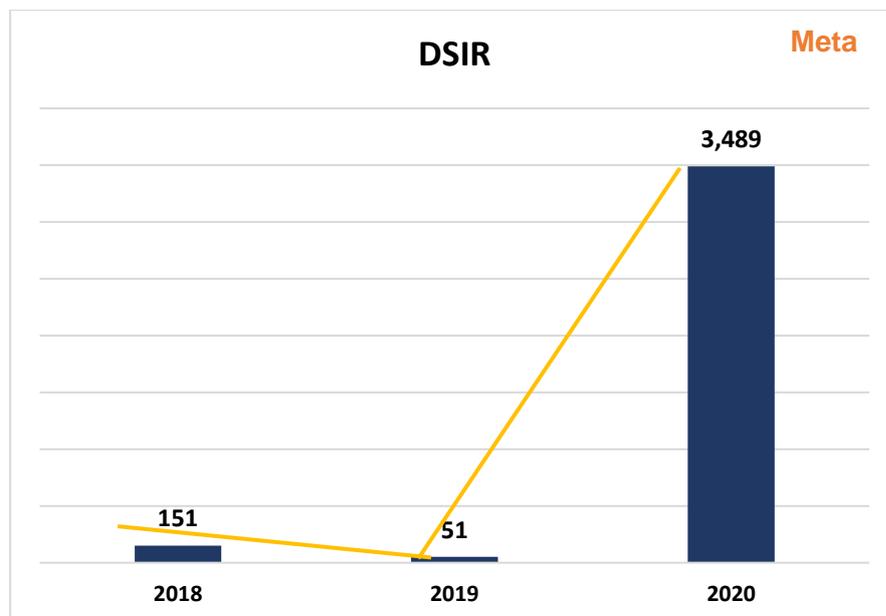
$$IS = \frac{\text{N}^\circ \text{ días perdidos o cargados} \times 1'000,000}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

Ejemplo de índice de severidad para el año 2020

$IS = \frac{6336 * 1,000,000}{1,815,947}$
$IS = 3489$

Gráfico 5

Índice de severidad año 2020



Nota: Tomada del Área de Seguridad de Volcán

2.5.5.2. Índice de frecuencia

“Número de accidentes mortales e incapacitantes por cada millón de horas hombre trabajadas” (*DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010*). Se calculará con la fórmula siguiente:

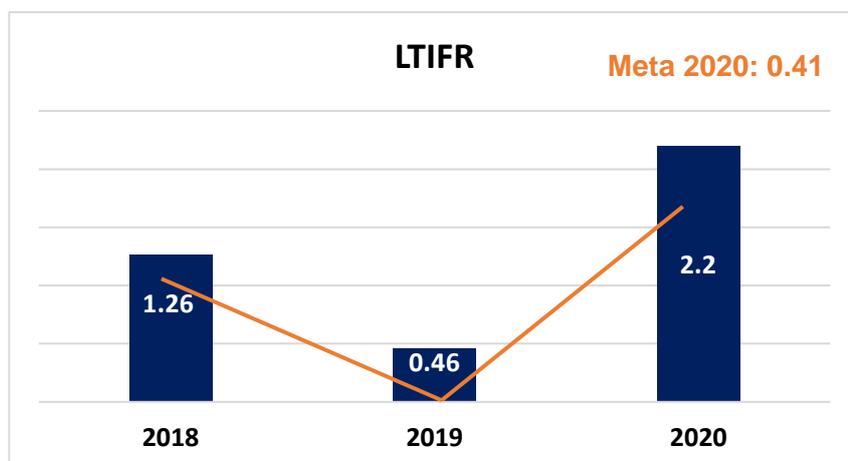
$$IF = \frac{N^{\circ} \text{ accidentes} \times 1'000,000}{\text{Horas hombre trabajadas}}; \quad (N^{\circ} \text{ Accidentes} = \text{Incapacitantes} + \text{Mortales})$$

Ejemplo de índice de frecuencia para el año 2020 (tomado los datos de la tabla N° 5)

$$IF = \frac{4 * 1,000,000}{1,815,947}$$
$$IF = 2.20$$

Gráfico 6

Índice de frecuencia año 2020



Nota: Tomado del Área de Seguridad de Volcán

2.5.5.3 Índice de accidentabilidad.

“Una medición que combina el índice de frecuencia de lesiones con tiempo perdido (IF) y el índice de *severidad de lesiones* (IS), como un medio de clasificar a las empresas mineras.” (DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM, 2010)

Es el producto del valor del índice de frecuencia por el índice de severidad dividido entre 1000

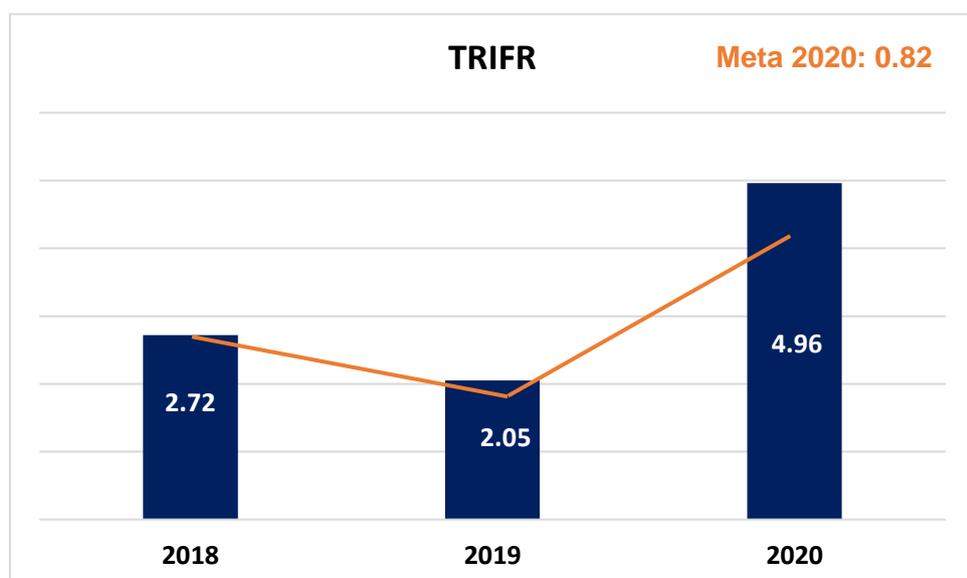
$$IA = \frac{IF \times IS}{1000}$$

Ejemplo de índice de Accidentabilidad para el año 2020

IA =	$\frac{3489 * 2.20}{1,000}$
IA =	4.96

Gráfico 7

Índice de accidentabilidad año 2020



Nota: Tomada del Área de Seguridad de Volcan

2.5.6. Evaluación de la gestión de seguridad

2.5.6.1 Panorama del área de seguridad año 2020 - 2021 de la U.E.A Yauli, unidad minera San Cristóbal

El sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional está basado en el DS 005-2012-TRA (Reglamento de la ley N° 29783 y su modificatoria la ley N° 30222, en sus art. 23 y art. 25

El Sistema de Gestión de Seguridad de Volcan está basado en cuatro pilares fundamentales:

La identificación continua de peligros y la evaluación de riesgos.

La prevención de los riesgos, la seguridad y la salud ocupacional.

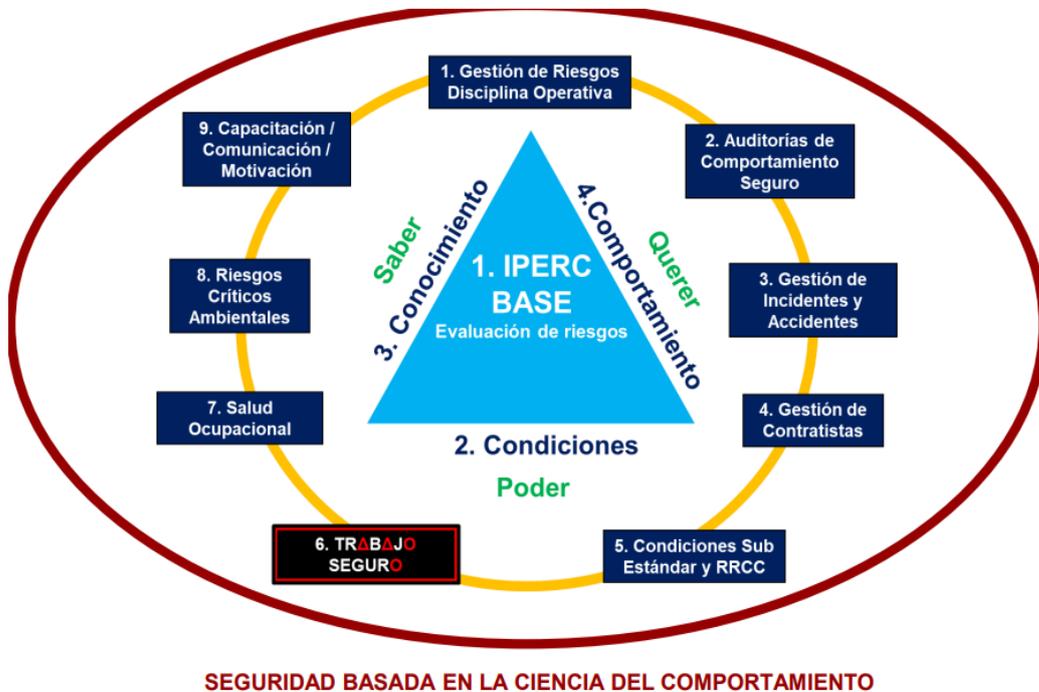
Conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo de aptitudes.

El comportamiento seguro de cada trabajador.

SISTEMA DE GESTIÓN SSOMAC – HSEC

Imagen 10

Sistema de gestión SSOMAC – HSEC



Nota: Tomado del Área de Seguridad de Volcan

El Sistema de gestión de volcán está basado en 4 pilares fundamentales

PILAR 1 – IPERC BASE

Este pilar está enfocado en el mapeo de procesos, actividades y tareas donde cada proceso conlleva a varias actividades y estas a la vez tienen tareas para realizar, cada tarea presenta peligros y para cada peligro hay riesgos de seguridad salud y medio ambiente

- En este pilar se realiza:
- Determinación del riesgo puro
- Controles: barreras blandas y duras
- Determinación del riesgo residual
- Objetivos y metas para seguir mitigando
- Planes de emergencia

PILAR 2 – CONDICIONES: PODER

Volcan Compañía Minera S.A.A, (2020) Indica que incorporo mejores prácticas al sistema SSOMAC para este pilar se implementó un programa **Trabajo seguro** asigna la responsabilidad de Seguridad hacia el dueño de la Operación lo cual está enfocado en reducir accidentes graves y/o mortales a través la implementación de:

✓ Protocolos para Peligros Mortales.

✓ Comportamientos que Salvan Vidas.

PILAR 3 – SABER: CONOCIMIENTO

Volcan Compañía Minera S.A.A (2020) indica que Una evaluación que fusiona el índice de frecuencia de lesiones con tiempo perdido (IF) con el índice de gravedad de lesiones (IS), utilizada como un método para categorizar a las compañías mineras. Volcán cuenta con un centro de capacitación donde los trabajadores son capacitados constantemente a través de:

- Inducción
- Capacitación
- Entrenamiento
- Comunicación
- Autorización
- Programa de Supervisores
- Auditorias
- HPRI
- ICAM

PILAR 4 – COMPORTAMIENTO: QUERER

Volcan Compañía Minera S.A.A, (2020), Menciona que: Para este pilar se utiliza un la auditoria de comportamiento seguro conocido como ACS
El Objetivo de la Herramienta ACS es:

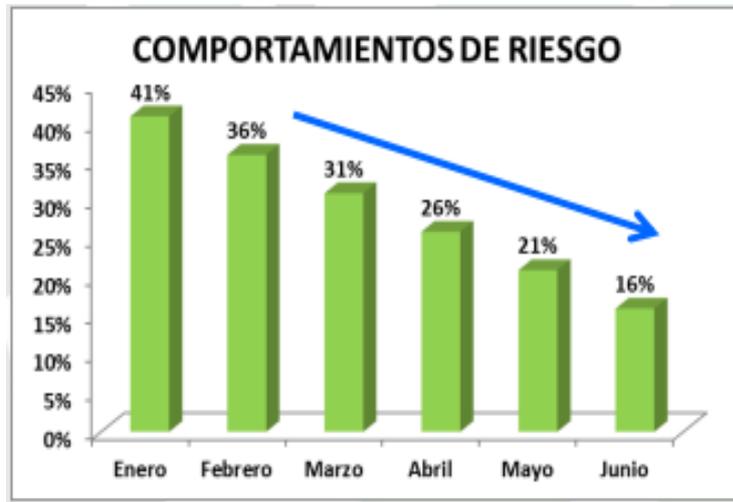
En los trabajadores es: aumentar los comportamientos seguros y disminuir los comportamientos de riesgo.

En los lideres:

- Acercamiento (Saber escuchar)
- Comunicación (Efectiva)
- Confianza (Abordaje)
- Motivación (Felicitación)
- Feedback (Retroalimentación)
- Coaching (Acompañamiento)
- Empatía (Estar en el lugar)
- Amor/Cariño (Apertura)
- Compromiso (Influenciar)
- Liderazgo Visible

Imagen 11

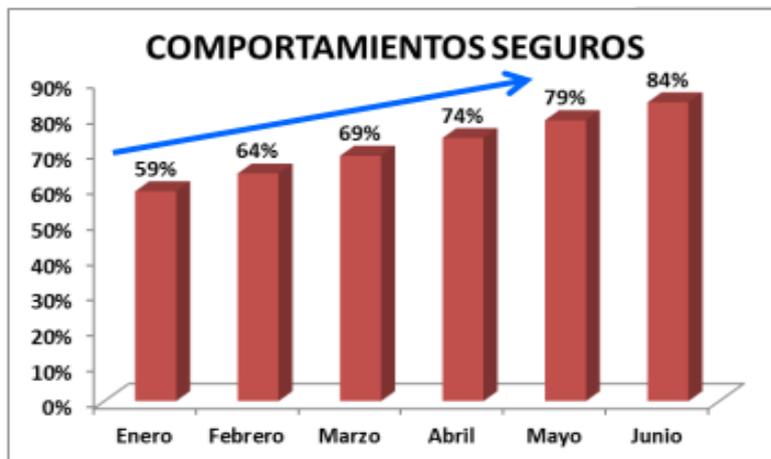
Estadísticas de comportamientos de riesgo



Nota: Tomada del Área de Seguridad U. E. A. Yauli S. A. C.

Imagen 12

Estadísticas de comportamientos seguros.



Nota: Tomada del Área de Seguridad U. E. A. Yauli S. A. C.

Volcan Compañía Minera S.A.A, (2020) menciona: que Para el año 2020 se registró un nivel de mejora en cuanto a los comportamientos seguros

La supervisión y la medición tienen por objetivo principal mejorar el SGSST, no basándose solamente en estadísticas sobre accidentes y enfermedades. En Volcan cia minera se elabora y revisa periódicamente procedimientos para supervisar, medir y recopilar datos que se utilizarán para

determinar los resultados de la seguridad y salud en el trabajo.

Las auditorías y los exámenes realizados permiten detectar inconformidades con las normas legales, para incluir la ausencia o deficiencia de un lineamiento, mejorando el SGSST.

La revisión del SGSST se realiza anualmente, en donde las conclusiones se documentan y comunican a los involucrados, incluyendo el comité o supervisor de SST.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio

La investigación es desarrollada en las actividades de las operaciones unitarias del ciclo de minado de la Unidad Minera San Cristóbal – Volcan Compañía Minera S.A.A.

3.2 Tipo de investigación

La investigación se considera de tipo cualitativa descriptiva analítica pues se hará una identificación, análisis y descripción de los elementos que van a participar en la implementación de la metodología de análisis de riesgo BOW TIE en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado.

3.3 Nivel de investigación

Explicativo. Es de nivel explicativo existe una relación de causa – efecto de la variable independiente sobre la dependiente ya que se enfoca en explicar que la implementación de la metodología bow tie contribuirá ayudando a reducir los accidentes en las operaciones unitarias del ciclo de minado,

Correlacional. de tipo longitudinal, Porque se busca identificar la relación que

existe entre las variables y el grado de influencia que tiene un sobre otra, la causa y efecto que tendrá al momento de realizar un cambio a fin de obtener conclusiones más relevantes.

3.4 Enfoque de la investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo, ya que emplea la medición numérica y la estadística inferencial para probar las hipótesis formuladas; asimismo, porque el estudio considera que el conocimiento es objetivo, utiliza el método deductivo y porqué se realiza estudio para definir la influencia de la variable dependiente sobre la independiente (Bernal, 2010).

3.5 Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es cuantitativo – explicativa, porque se realiza un análisis propio, ideas y pensamientos. Esto debido a que el análisis es personal sobre la implementación de metodología bow tie en las operaciones unitarias del ciclo de minado.

3.6 Población y muestra

Población:

Unidades mineras donde se realizan las operaciones unitarias de ciclo de minado de compañía minera Volcán S.A.A

Muestra:

Las labores mineras donde se realizan las operaciones unitarias de ciclo de minado en la unidad minera San Cristóbal

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSION

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANALISIS DE RIESGOS BOW TIE

Para la implementación de la metodología Bow tie, empezaremos identificando los peligros y riesgos, seguidamente se procederá a identificar el evento top para cada operación unitaria, ya con la identificación del evento top, identificaremos las consecuencias o impactos, seguido de las causas y/o amenazas, luego se identificará los controles de prevención y mitigación. Ya identificado todas las partes de un bow tie se construirá el diagrama bow tie, para una buena gestión de controles de prevención y mitigación se realizará la designación de responsables de controles. Luego se realizará la medición de desempeño de los controles críticos

4.1. Identificación de los peligros y riesgos existentes en cada una de las operaciones unitarias.

Los tipos de peligros identificados, los niveles de riesgos determinados y los controles implementados en las operaciones unitarias de ciclo de minado serán obtenidos de la recopilación de datos, apoyados en la observación, los informes,

documentos, datos estadísticos, sacados de Compañía Minera Volcan en su U.M San Cristóbal, así como también manuales, procedimientos y normas legales aplicables a la actividad y al sub sector minero.

La identificación de peligros y evaluación de riesgos se realiza tomando en cuenta los:

Formatos IPERC

Registro de accidentes e incidentes

Lluvia de ideas de talleres

Fuentes externas

Como segundo paso de la investigación se recopiló, organizó, revisó y analizó una data estadística basada en los accidentes fatales ocurridos en los años 2011 al 2020 y enfermedades ocupacionales en el periodo de los años 2011 al 2019.

a) Peligros y riesgos en Operación Unitaria de la Perforación

La perforación es una de las operaciones más importantes dentro de la actividad minera. es indispensable conocer escrupulosamente los peligros que se presentan en la tarea. De esta manera, podrán reducirse los accidentes por desprendimiento de rocas, los cuales son de mayor ocurrencia en la minería peruana.

Tabla 3

Peligros y riesgos identificados en la etapa de perforación

Nº	PELIGROS	RIESGOS
1	Ruido generado por la actividad (caracterizar)	Exposición a nivel de ruido no permisible
2	Vibraciones cuerpo – mano - Brazo (caracterizar)	Exposición a la vibración originado por herramientas, máquinas y vehículos.
3	Temperaturas extremas Altas y bajas (caracterizar)	Exposición prolongada a temperaturas extremas altas
4	Iluminación (excesiva / deficiente) (caracterizar)	Deficiencia / Exceso de iluminación
5	Velocidad del aire (caracterizar)	"Deficiencia de velocidad de aire (ventilación), pobre dilución de los agentes contaminantes.

6	Polvo presente en la actividad (caracterizar)	Exposición a polvo con material particulado con contenido de mineral, desmante.
7	Humedad (caracterizar)	Exposición a ambientes secos o húmedos
8	Gases: O ₂ (caracterizar)	Reducción de oxígeno en el aire y exposición a Gases de (CO; CO ₂ , NO ₂)
	Gases CO (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO.
	Gases CO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO ₂ .
	Gases Nitrosos: NO y NO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de NO ₂ .
9	Vapores (caracterizar)	Exposición a vapores de líquidos que emanen olores, gases, humos contaminantes del ambiente de trabajo
10	Sólidos reactivos / inflamables (Carburo, madera)	Reacciones del material sólido por contacto con agua, humedad, temperatura que originen emisión de gases, vapores, olores, fuego, etc., que afecten directa o indirectamente la salud de los trabajadores
11	Líquidos contacto con (aceites y lubricantes) a presión o calientes (caracterizar) tóxicos, cáusticos	Exposición a líquidos (aceites y lubricantes) a presión o temperatura elevadas y que afecten o dañen ojos, piel, los órganos internos por contacto (adsorción, inhalación o ingesta)
12	Humos (caracterizar)	Exposición a humos por la combustión de sólidos, líquidos o gases que afecten o dañen la salud del trabajador por inhalación.
13	Sobreesfuerzos físicos – Aplicación de fuerzas (caracterizar)	Sobreesfuerzos de los miembros superiores y espalda para desplazar un objeto (carro, traspallet, carretilla, etc.)
14	Levantamiento y transporte manual de cargas (caracterizar)	Sobreesfuerzos de los miembros superiores, espalda para trasladar un peso (herramientas, máquinas, materiales, paquetes, etc)
15	Posturas de trabajo forzadas (caracterizar)	Adoptar posturas forzadas o incómodas para ejecutar las actividades (posición de pie prolongadas en espacio reducido, posición de encorvados y en cuclillas)
16	Movimientos repetitivos de manos y pies – manipular volantes o pedales (caracterizar)	Ejecutar en forma prolongada movimientos repetitivos de las manos y pies para manipular volantes o pedales
17	Jornada de trabajo prolongadas (Sobre turno)	Fatiga laboral y psicológica que afecta el rendimiento y salud del trabajador
18	Monotonía y repetitividad	Fatiga laboral y psicológica que afecta el rendimiento y salud del trabajador
19	Aislamiento (al realizar trabajos solo)	Que el trabajador quede aislado o se extravíe y no pueda ser ubicado por sufrir algún incidente o accidente
20	Organización inadecuada del espacio físico	Restricción de movimiento que lleva a ser golpeado o tropezar con (equipo, herramientas, materiales, etc.)

21	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)
22	Herramientas inadecuadas o defectuosas	Uso inapropiado de herramientas manuales, de potencia o empleo de herramientas en mal estado.
23	Rocas sueltas (caracterizar)	Caída de rocas
24	Objetos pesados suspendidos o inestables (caracterizar)	Atrapado / Chancado entre o debajo de objetos (aplastado)
25	Materiales explosivos (caracterizar)	Explosiones
26	Materiales inflamables (caracterizar) combustibles - aceites	Incendios, explosiones, intoxicación
27	Equipo pesado y liviano en movimiento (caracterizar)	Golpeado por (objeto en movimiento)
28	Superficies cortantes o puntiagudas (caracterizar)	Cortes o penetraciones en el cuerpo o partes del mismo.
29	Estructura inadecuada o defectuosa (Piso de trabajo / Plataforma / etc)	Caída al mismo / de diferente nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)
30	Proyección de partículas (caracterizar)	Exposición a impactos en el cuerpo por partículas en proyección de tamaño menor
31	Equipos o maquinarias con partes móviles.	Atrapamiento, atracción, corte de parte afectada.
32	Partes rotatorias o móviles (engranajes, ejes, pistones, etc.).	Atrapamiento, atracción, corte de parte afectada
33	Equipos o maquinarias defectuosas: Sistema Mecánico (caracterizar)	Atrapamiento, aplastamiento de parte afectada por funcionamiento súbito fuera de control
34	Equipos e instalaciones eléctricas con sistemas eléctricos defectuosos (caracterizar)	Exposición a descarga eléctrica de mediano o bajo voltaje
	Equipos o instalaciones presurizados (hidráulica, neumática) (exposición a caracterizar)	Contacto con energías no controlada (neumática, hidráulica)

Nota: Elaboración Propia.

b) Peligros y riesgos identificados en Operación Unitaria de la Voladura

La voladura de rocas se considera un trabajo de alto riesgo. Toda falla en el desarrollo de estas actividades puede dar origen a grandes pérdidas económicas y sobre todo humanas. Si bien su índice de frecuencia en relación con otros tipos de accidentes es menor, su índice de gravedad es mucho mayor. Generalmente las

consecuencias son muy graves que no solamente afectan al trabajador, sino también a las demás personas, equipos e instalaciones que le rodean.

Tabla 4

Peligros y riesgos identificados en la etapa de voladura

N°	PELIGROS	RIESGOS
1	Ruido generado por la actividad (caracterizar)	Exposición a nivel de ruido no permisible
2	Vibraciones	Exposición a la vibración originado por explosión
3	Temperaturas extremas Altas y bajas (caracterizar)	Exposición prolongada a temperaturas extremas altas
4	Polvo presente en la actividad (caracterizar)	Exposición a polvo con material particulado con contenido de mineral, desmonte.
5	Humedad (caracterizar)	Exposición a ambientes secos o húmedos
6	Gases: O ₂ (caracterizar)	Reducción de oxígeno en el aire y exposición a Gases de (CO; CO ₂ , NO ₂)
	Gases CO (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO.
	Gases CO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO ₂ .
	Gases Nitrosos: NO y NO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de NO ₂ .
7	Vapores (caracterizar)	Exposición a vapores de líquidos que emanen olores, gases, humos contaminantes del ambiente de trabajo
8	Sólidos reactivos / inflamables (Carburo, madera)	Reacciones del material sólido por contacto con agua, humedad, temperatura que originen emisión de gases, vapores, olores, fuego, etc., que afecten directa o indirectamente la salud de los trabajadores
9	Líquidos contacto con (aceites y lubricantes) a presión o calientes (caracterizar) tóxicos, cáusticos.	Exposición a líquidos (aceites y lubricantes) a presión o temperatura elevadas y que afecten o dañen ojos, piel, los órganos internos por contacto (adsorción, inhalación o ingesta)
10	Humos (caracterizar)	Exposición a humos por la combustión de sólidos, líquidos o gases que afecten o dañen la salud del trabajador por inhalación.
11	Sobreesfuerzos físicos – Aplicación de fuerzas (caracterizar)	Sobreesfuerzos de los miembros superiores y espalda para desplazar un objeto (carro, traspallet, carretilla, etc.)
12	Levantamiento y transporte manual de cargas (caracterizar)	Sobreesfuerzos de los miembros superiores, espalda para trasladar un peso (herramientas, máquinas, materiales, paquetes, etc)
	Posturas de trabajo forzadas (caracterizar)	Adoptar posturas forzadas o incómodas para ejecutar las actividades (posición de pie prolongadas en espacio reducido, posición de encorvados y en cuclillas)

13	Movimientos repetitivos solo miembros superiores (caracterizar)	Sobreesfuerzo de los miembros superiores (brazos, codos y manos)
	Movimientos repetitivos de manos y pies – manipular volantes o pedales (caracterizar)	Ejecutar en forma prolongada movimientos repetitivos de las manos y pies para manipular volantes o pedales
14	Trabajos Nocturnos (caracterizar)	Mal manejo de las condiciones de reposo del personal en periodo de actividad nocturna
15	Aislamiento (al realizar trabajos solo)	Que el trabajador quede aislado o se extravié y no pueda ser ubicado por sufrir algún incidentes o accidente
16	Carga excesiva de trabajo (caracterizar)	Desarrollo de enfermedades psicosomáticas en los trabajadores
17	Preocupación por problemas personales (caracterizar)	Afectación de cultura SSO
18	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)
19	Rocas sueltas (caracterizar)	Caída de rocas
20	Objetos pesados suspendidos o inestables (caracterizar)	Atrapado / Chancado entre o debajo de objetos (aplastado)
21	Materiales explosivos (caracterizar)	Explosiones
22	Materiales Inflamables (caracterizar combustibles - aceites	Incendios, explosiones, intoxicación
23	Obstáculos en el piso (caracterizar)	Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)
24	Trabajos próximos a zonas con desnivel (caracterizar) – Subir / Baja	Caída a distinto nivel (el cuerpo cae)
25	Superficies cortantes o puntiagudas (caracterizar)	Cortes o penetraciones en el cuerpo o partes del mismo.
26	Estructura inadecuada o defectuosa (Piso de trabajo / Plataforma / etc.)	Caída al mismo / de diferente nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)
27	Proyección de partículas (caracterizar)	Exposición a impactos en el cuerpo por partículas en proyección de tamaño menor
28	Herramientas inadecuadas o defectuosas.	Uso inapropiado de herramientas manuales, de potencia o empleo de herramientas en mal estado.
29	Equipos o maquinarias defectuosas: Sistema Mecánico (caracterizar)	Atrapamiento, aplastamiento de parte afectada por funcionamiento súbito fuera de control

Nota: Elaboración Propia

c) Peligros y riesgos identificados en Operación Unitaria de limpieza y transporte

Es necesario conocer y controlar el procedimiento, así como las áreas de carga y descarga del material, los equipos a utilizar (camiones, cargadores frontales, excavadoras), las vías de acarreo (vías principales, accesos y rampas), y

la correcta señalización y derecho de vía.

Tabla 5

Peligros y riesgos en la etapa de carguío y transporte

N°	PELIGROS	RIESGOS
1	Ruido generado por la actividad (caracterizar)	Exposición a nivel de ruido no permisible
2	Vibraciones	Exposición a la vibración originado por explosión
3	Temperaturas extremas Altas y bajas (caracterizar)	Exposición prolongada a temperaturas extremas altas
4	Polvo presente en la actividad (caracterizar)	Exposición a polvo con material particulado con contenido de mineral, desmonte.
5	Humedad (caracterizar)	Exposición a ambientes secos o húmedos
6	Gases: O ₂ (caracterizar)	Reducción de oxígeno en el aire y exposición a Gases de (CO; CO ₂ , NO ₂)
7	Gases CO, CO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO. CO ₂ , NO ₂ .
8	Condiciones del camino	Accidente
9	trafico	Accidente, colisiones
10	Interacción de peatones y trabajadores	Accidentes, lesiones
11	Caída a distinto nivel	Caída del operados la bajar y/o subir de la cabina de control
12	Condiciones climáticas extremas	Accidentes, choque, colisiones, caídas
13	Equipos en movimiento	Atropello, colisiones, choques, muerte
14	Vía en mal estado: irregulareso resbalosa (caracterizar)	
15	Vapores (caracterizar)	Exposición a vapores de líquidos que emanen olores, gases, humos contaminantes del ambiente de trabajo
16	Sólidos reactivos / inflamables (Carburo, madera)	Reacciones del material sólido por contacto con agua, humedad, temperatura que originen emisión de gases, vapores, olores, fuego, etc., que afecten directa o indirectamente la salud de los trabajadores
17	Líquidos contacto con (aceites y lubricantes) a presión o calientes (caracterizar) tóxicos, cáusticos.	Exposición a líquidos (aceites y lubricantes) a presión o temperatura elevadas y que afecten o dañen ojos, piel, los órganos internos por contacto (adsorción, inhalación o ingesta)
18	Humos (caracterizar)	Exposición a humos por la combustión de sólidos, líquidos o gases que afecten o dañen la salud del trabajador por inhalación.
19	Sobreesfuerzos físicos – Aplicación de fuerzas (caracterizar)	Sobreesfuerzos de los miembros superiores y espalda para desplazar un objeto (carro, traspallet, carretilla, etc.)

20	Levantamiento y transporte manual de cargas (caracterizar)	Sobresfuerzos de los miembros superiores, espalda para trasladar un peso (herramientas, máquinas, materiales, paquetes, etc)
21	Posturas de trabajo forzadas (caracterizar)	Adoptar posturas forzadas o incómodas para ejecutar las actividades (posición de pie prolongadas en espacio reducido, posición de encorvados y en cuclillas)
	Movimientos repetitivos solo miembros superiores (caracterizar)	Sobreesfuerzo de los miembros superiores (brazos, codos y manos)
	Movimientos repetitivos de manos y pies – manipular volantes o pedales (caracterizar)	Ejecutar en forma prolongada movimientos repetitivos de las manos y pies para manipular volantes o pedales
22	Trabajos Nocturnos (caracterizar)	Mal manejo de las condiciones de reposo del personal en periodo de actividad nocturna
23	Aislamiento (al realizar trabajos solo)	Que el trabajador quede aislado o se extravié y no pueda ser ubicado por sufrir algún incidente o accidente
24	Carga excesiva de trabajo (caracterizar)	Desarrollo de enfermedades psicosomáticas en los trabajadores
25	Preocupación por problemas personales (caracteriza2r)	Afectación de cultura SSO
26	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)
27	Herramientas inadecuadas o defectuosas.	Uso inapropiado de herramientas manuales, de potencia o empleo de herramientas en mal estado.

Nota: Elaboración Propia

d) Peligros y riesgos identificados en Operación Unitaria de Ventilación

La ventilación consiste en el proceso de hacer pasar un flujo de aire considerable y necesario para crear las condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmósfera agradable, limpia y sin gases. La ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores.

Tabla 6*Peligros y riesgos identificados en la etapa de ventilación*

N°	PELIGROS	RIESGOS
1	Ruido generado por la actividad (caracterizar)	Exposición a nivel de ruido no permisible
2	Temperaturas extremas Altas y bajas (caracterizar)	Exposición prolongada a temperaturas extremas altas
3	Polvo presente en la actividad (caracterizar)	Exposición a polvo con material particulado con contenido de mineral, desmonte.
4	Humedad (caracterizar)	Exposición a ambientes secos o húmedos
5	Gases: O ₂ (caracterizar)	Reducción de oxígeno en el aire y exposición a Gases de (CO; CO ₂ , NO ₂)
6	Gases CO, CO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO. CO ₂ , NO ₂ .
7	Vapores (caracterizar)	Exposición a vapores de líquidos que emanen olores, gases, humos contaminantes del ambiente de trabajo
8	Gases Nitrosos: NO y NO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de NO ₂
9	Sólidos reactivos / inflamables (Carburo, madera)	Reacciones del material sólido por contacto con agua, humedad, temperatura que originen emisión de gases, vapores, olores, fuego, etc., que afecten directa o indirectamente la salud de los trabajadores
10	Humos (caracterizar)	Exposición a humos por la combustión de sólidos, líquidos o gases que afecten o dañen la salud del trabajador por inhalación.
11	Mala condición de las mangas de ventilación	Exposición a humos por la combustión de sólidos, líquidos o gases que afecten o dañen la salud del trabajador por inhalación.
12	Levantamiento y transporte manual de cargas (caracterizar)	Sobreesfuerzos de los miembros superiores, espalda para trasladar un peso (herramientas, máquinas, materiales, paquetes, etc)
13	Posturas de trabajo forzadas (caracterizar)	Adoptar posturas forzadas o incómodas para ejecutar las actividades (posición de pie prolongadas en espacio reducido, posición de encorvados y en cuclillas)
	Movimientos repetitivos solo miembros superiores (caracterizar)	Sobreesfuerzo de los miembros superiores (brazos, codos y manos)
14	Trabajos Nocturnos (caracterizar)	Mal manejo de las condiciones de reposo del personal en periodo de actividad nocturna
15	Aislamiento (al realizar trabajos solo)	Que el trabajador quede aislado o se extravié y no pueda ser ubicado por sufrir algún incidentes o accidente
16	Preocupación por problemas personales (caracteriza2r)	Afectación de cultura SSO
17	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)

Nota: Elaboración Propia.

e) Peligros y riesgos identificados en Operación Unitaria del Sostenimiento

En U.M San Cristóbal el sostenimiento es una medida de refuerzo que se utiliza desde hace mucho tiempo en las operaciones mineras y que requieren de un trabajo especializado en la minería con el único objetivo de lograr una mayor seguridad en las operaciones unitarias mineras.

Tabla 7

Peligros y riesgos en la etapa de sostenimiento

N°	PELIGROS	RIESGOS
1	Ruido generado por la actividad (caracterizar)	Exposición a nivel de ruido no permisible
2	Rocas sueltas (caracterizar)	Aplastamiento, derrumbes, colapso de masa de roca
3	Mala iluminación	Caldas, golpes, contusion,
4	Temperaturas extremas Altas y bajas (caracterizar)	Exposición prolongada a temperaturas extremas altas
5	Polvo presente en la actividad (caracterizar)	Exposición a polvo con material particulado con contenido de mineral, desmorte.
6	Humedad (caracterizar)	Exposición a ambientes secos o húmedos
7	Gases: O ₂ (caracterizar)	Reducción de oxígeno en el aire y exposición a Gases de (CO; CO ₂ , NO ₂)
8	Gases CO, CO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de CO. CO ₂ , NO ₂ .
9	Vapores (caracterizar)	Exposición a vapores de líquidos que emanen olores, gases, humos contaminantes del ambiente de trabajo
10	Gases Nitrosos: NO y NO ₂ (caracterizar)	Exposición a niveles no permisibles de Gases de NO ₂
11	Sólidos reactivos / inflamables (Carburo, madera)	Reacciones del material sólido por contacto con agua, humedad, temperatura que originen emisión de gases, vapores, olores, fuego, etc., que afecten directa o indirectamente la salud de los trabajadores
12	Humos (caracterizar)	Exposición a humos por la combustión de sólidos, líquidos o gases que afecten o dañen la salud del trabajador por inhalación.
13	Levantamiento y transporte manual de cargas (caracterizar)	Sobresfuerzos de los miembros superiores, espalda para trasladar un peso (herramientas, máquinas, materiales, paquetes, etc)

14	Posturas de trabajo forzadas (caracterizar)	Adoptar posturas forzadas o incómodas para ejecutar las actividades (posición de pie prolongadas en espacio reducido, posición de encorvados y en cuclillas)
	Movimientos repetitivos solo miembros superiores (caracterizar)	Sobreesfuerzo de los miembros superiores (brazos, codos y manos)
15	Trabajos Nocturnos (caracterizar)	Mal manejo de las condiciones de reposo del personal en periodo de actividad nocturna
16	Aislamiento (al realizar trabajos solo)	Que el trabajador quede aislado o se extravié y no pueda ser ubicado por sufrir algún incidente o accidente
17	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel (resbalar y caer, tropezar y caer, volcarse)

Nota: Elaboración Propia

4.2. Identificación del evento top para cada operación unitaria

Para la identificación del evento top en primer lugar, se fijó el peligro mortal asociado a la operación unitaria; por lo tanto, permitió definir el evento top el cual es el punto de partida para el desarrollo del diagrama.

La identificación del evento top, se realizará tomando en cuenta los antecedentes y registro de los accidentes mortales suscitados desde el año 2000 al año 2023, según registros del MINEM

a) Identificación del evento top en la operación unitaria de Perforación

Según datos del MINEM en un informe detallado del periodo 2012 – 2016. Los perforistas son el puesto con mayor cantidad de accidentes (12.23%). El desprendimiento de rocas es la causa que ocasiona más accidentes (21.43%).

Tabla 8

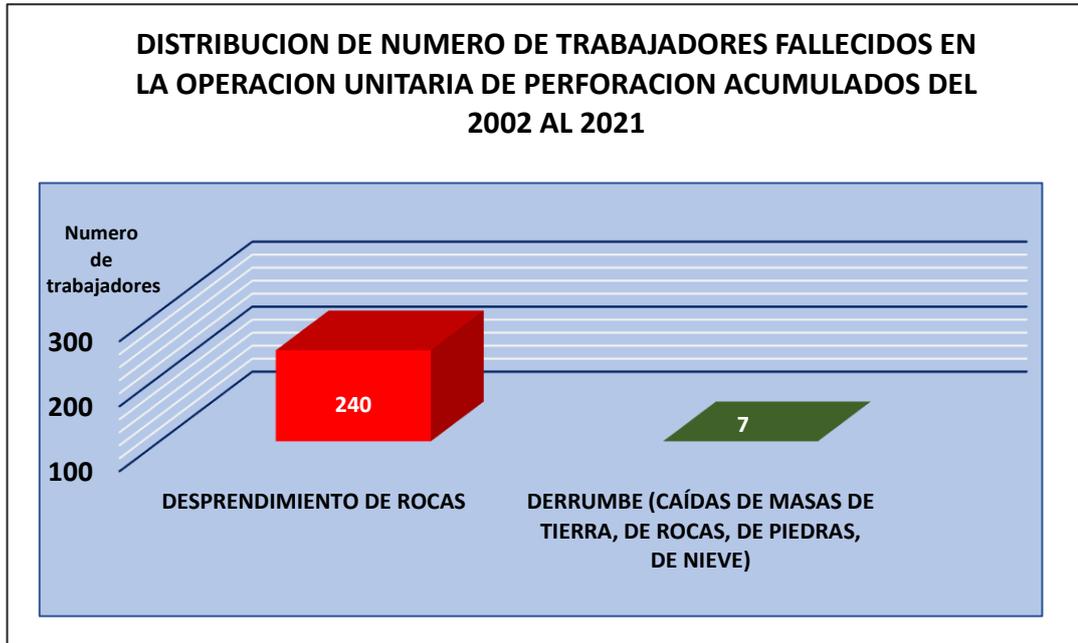
Trabajadores fallecidos durante actividad de perforación de rocas.

TRABAJADORES FALLECIDOS EN EL PERIODO DE LOS AÑOS 2002-2021	
Tipo de accidente	Nº trabajadores fallecidos
Desprendimiento rocas	240
Derrumbes (caídos de masas de tierra de rocas, de piedras, de nieve)	7

Nota: Adaptado de MINEM

Gráfico 8

Distribución de número de trabajadores fallecidos según actividad



Distribución de número de trabajadores fallecidos según actividad

Nota: Adaptado de MINEM

De acuerdo a las estadísticas se llega a la conclusión de que el evento top para la actividad de la perforación vendría a ser accidente por desprendimiento de roca:

**EVENTO TOP
PARA LA PERFORACIÓN DE ROCAS**

“ACCIDENTE POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS”

b) Identificación del evento top para la operación unitaria de Voladura de rocas

En la voladura de rocas Si bien su índice de frecuencia en relación con otros tipos de accidentes es menor, su índice de gravedad es mucho mayor. Generalmente conlleva consecuencias muy graves que no solamente afectan al trabajador, sino también a las demás personas, equipos e instalaciones

que le rodean entre los accidentes más frecuentes tenemos:

Causas de Accidentes en Minería Subterránea por Efecto Propio del Explosivo

1) Desprendimiento de Rocas

Estadísticamente registra más del 40% de accidentes, siendo una de las causas:

- El uso excesivo de los explosivos, lo que tiene como consecuencia una sobre rotura.
- Alto factor de carga y vibración excesiva.
- Por los incumplimientos de los estándares de procedimientos establecidos para un adecuado - Desatado de rocas, proyección de partícula u onda expansiva producto a una voladura

2) Gaseamiento

Los gases contaminantes del aire en minas (CO, NO y NO₂), son productos del uso de explosivos en la voladura de rocas. Estos gases constituyen un riesgo permanente en las operaciones mineras subterráneas si no son controlados por una buena ventilación.

3) Explosión

Se producen estadísticamente mayormente por actos inseguros, exceso de confianza, desconocimiento, negligencia, etc. explosión fortuita, tiro prematuro, tiro retardado, tiro fallado y cortado, tiro soplado.

Estadísticamente los accidentes con explosivos se producen mayormente por actos inseguros que, por condiciones inseguras, por lo tanto, siendo que en la etapa de la perforación y voladura de rocas se determinó que los desprendimientos de rocas son los que causan más accidentes, para la construcción del diagrama bow tie para la etapa de la voladura nos enfocaremos más en el manejo de explosivos por lo tanto el evento top para esta etapa será:

**EVENTO TOP
PARA LA VOLADURA DE ROCAS**

**“ACCIDENTE POR PERDIDA DE CONTROL EN MANEJO DE
EXPLOSIVOS”**

c) Identificación del evento top para la operación unitaria de Carguío y transporte

El carguío como parte del proceso de retirar el material volado del frente de trabajo hacia un equipo de transporte para poderlo transportar adecuadamente a su lugar de destino (planta, botadero, stock). Alternativamente, estos equipos de carguío representan un peligro y generan riesgos, las distintas combinaciones de equipos y secuencias de operación y las combinaciones de equipos y secuencias de operación pueden causar accidentes. Como se observa en el gráfico, 117 accidentes relacionados a esta actividad de carguío y transporte se suscitaron durante los años 2002 y 2021 según estadísticas del Minem

Tabla 9

Tipos de accidentes relacionados a la operación de carguío y transporte.

TRABAJADORES FALLECIDOS EN EL PERIODO DE LOS AÑOS 2002-2021	
Tipo de accidente	Nº trabajadores fallecidos
Accidente relacionado a acarreo y transporte	28
Choque contra objetos móviles	5
Atrapada entre un objeto inmóvil y un objeto móvil	10
Atrapado entre chutes tolvas y otros durante desatoras	7
Atrapado por succión de mineral / desmonte	9
Choques contra o atrapado o en golpes por operación de maquinaria	44
Choques contra o golpes por objetos durante el acarreo	14

Nota: Adaptado de MINEM

Gráfico 9

Accidentes fatales ocurridos en carguío y transporte de mineral



Nota: Adaptado de MINEM

Analizando los accidentes podemos ver que en esta etapa suceden distintos tipos de accidentes por carguío y transporte de mineral por lo tanto el evento top para esta etapa será:

EVENTO TOP
PARA EL CARGUÍO Y TRANSPORTE DE MINERAL
“ACCIDENTE POR PERDIDA DE CONTROL DE EQUIPO”

d) Identificación del evento top para la operación unitaria de Ventilación minera

La atmósfera de la mina debe tener una composición, temperatura, grado de humedad, entre otros, óptimos para desarrollar una labor con seguridad, salud y que se obtengan altos rendimientos de los trabajadores

Clasificación de gases

- a. **Gases Asfixiantes:** Producen una disminución de oxígeno en el aire, debido a que ocupan el volumen de éste en la atmósfera del lugar.
- b. **Gases tóxicos:** Provocan una disminución de oxígeno, penetrando a los

pulmones y luego al resto del organismo.

- c. **Gases Explosivos:** Producen efectos nocivos, tales como intoxicación, envenenamiento, destrucción de los tejidos, alteración de órganos y en última instancia la MUERTE; gases que mezclados con el aire producen en presencia de un iniciador (chispa) una explosión.

Revisando los accidentes ocurridos en esta etapa, la mayoría se relacionan a Accidentes por Asfixia / intoxicaciones / Explosión según los archivos de ministerio de energía y minas, se observa que ocurrieron 52 accidentes fatales.

Tabla 10

Número de trabajadores fallecidos en la etapa de ventilación minera

TRABAJADORES FALLECIDOS EN EL PERIODO DE LOS AÑOS 2002-2021	
Tipo de accidente	N° trabajadores fallecidos
por Asfixia / intoxicaciones / Explosión	52

Nota: Adaptado de MINEM

Por lo tanto, el evento top para esta etapa será:

EVENTO TOP PARA LA VENTILACION MINERA
“Accidentes por Asfixia / intoxicaciones / Explosión”

e) Identificación del evento top para la operación unitaria de Sostenimiento

Uno de los peligros que ha cobrado más accidentes mortales dentro del sector minero: es el sistema de sostenimiento de las minas subterráneas dado por el mal diseño ingenieril, la accidentabilidad provocada por caída de rocas y problemas del macizo rocoso hacen que el desarrollo del sostenimiento sea importante para el desarrollo minero y la prevención de accidentes laborales

Todas las minas subterráneas son vulnerables a derrumbes, que son un peligro significativo para los mineros. Los accidentes por derrumbes en minas subterráneas causan de 8 a 10 muertes y más de 800 lesiones cada año. Esto representa aproximadamente el 30 % de los accidentes mortales y el 15 % de las lesiones que suceden en las minas subterráneas cada año. Además, se notifican anualmente 2000 derrumbes que no causan lesiones. Los derrumbes también han sido una causa significativa de muertes en otros países mineros

EVENTO TOP

PARA SOSTENIMIENTO MINERO

“Daño por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno”

”

4.3. Identificación de impactos o consecuencias para las operaciones unitarias de ciclo de minado

Según la metodología, iniciamos con la identificación de las consecuencias que se tendrían al materializarse el evento top, para lo cual nos preguntamos: ¿Qué ocurre producto del Accidente?, esta interrogante nos permitirá reconocer las consecuencias dentro del diagrama Bow Tie, determinándose así las siguientes:

a) Identificación de Consecuencias para la Operación unitaria de Perforación.

Como se sabe el desprendimiento de rocas fue identificado como el evento top en la etapa de perforación, por lo tanto, para la identificación de las consecuencias que se tendrían al materializarse el evento top en las actividades de perforación: nos hacemos la siguiente pregunta:

¿Qué ocurre producto del desprendimiento de roca?



Tabla 11

Posibles consecuencias después de ocurrido el evento top en la operación unitaria de perforación

IM1	• Muerte o lesiones graves por desprendimiento de roca
IM2	• Daños a las personas, equipos y propiedad
IM3	• Mala imagen corporativa
IM4	• Paralización de las actividades

Nota: Elaboración propia

b) Identificación de Consecuencias para la operación unitaria de Voladura de rocas

La pérdida de control en manejo de explosivos fue identificada como el evento top para la etapa de voladura de rocas, por lo tanto, para la identificación de las consecuencias que se tendrían al materializarse el evento top en las actividades de voladura de rocas, nos preguntamos:

¿Qué ocurre producto de la pérdida de control en el manejo de explosivos?



Tabla 12

Posibles consecuencias después de ocurridos el evento top en la operación unitaria de voladura de rocas.

IM1	• Quemaduras internas y externa al personal encargado de esta actividad
IM2	• Una o mas fatalidades
IM3	• Paralización de las actividades
IM4	• Daños a los equipos, personas y propiedad

Nota: Elaboración propia

c) Identificación de Consecuencias para la operación unitaria de Carguío y transporte

En esta etapa la Pérdida de Control de Equipo fue identificado como el evento top. Por lo tanto, Para la identificación de las consecuencias que se tendrían al materializarse el evento top en las actividades de Carguío y transporte de mineral, nos preguntamos:

**¿Qué ocurre producto de la pérdida de control Pérdida de Control de
Equipo?**



Tabla 13

Posibles consecuencias después de ocurrido el evento top en la operación unitaria de limpieza y transporte.

IM1	• Muerte o lesiones graves por pérdida de control de equipo
IM2	• Daños a la persona, equipos, propiedad
IM3	• Paralización de las operaciones y pérdida del proceso
IM4	• Mala imagen corporativa

Nota: Elaboración propia

d) Identificación de Consecuencias para la operación unitaria de Ventilación minera.

Los accidentes por asfixia, intoxicaciones y explosiones fueron identificados como el evento top en esta etapa del ciclo de minado, por lo tanto, para la identificación de las consecuencias que se tendrían al materializarse el evento top en las actividades de Ventilación minera, nos preguntamos.

¿Qué ocurre producto de los accidentes por Asfixia / intoxicaciones /

Explosión?



Tabla 14

Posibles consecuencias después de ocurrido el evento Top, en la operación unitaria de ventilación.

IM1	• Mortalidad múltiple mayor a 5 / Discapacidad permanente por gases tóxicos y/o venenosos
IM2	• Problemas de salud irreversibles
IM3	• Paralización de actividades
IM4	• Mala imagen corporativa

Nota: Elaboración propia

e)) Identificación de Consecuencias para la operación unitaria de Sostenimiento

El daño por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno, fue identificado como el evento top para esta actividad, por lo tanto, para la identificación de las consecuencias que se tendrían al materializarse el evento top en las actividades de sostenimiento minero, nos preguntamos,

¿Qué ocurre producto del Daño por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno?



Tabla 15

Posibles consecuencias identificadas después de ocurrido el evento top en la operación unitaria de sostenimiento.

IM1	<ul style="list-style-type: none">• Muerte o lesiones graves por desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno
IM2	<ul style="list-style-type: none">• Daños a la persona, equipos, propiedad
IM3	<ul style="list-style-type: none">• Imagen corporativa
IM4	<ul style="list-style-type: none">• Paralización de actividades

Nota: Elaboración propia

4.4. Identificación de las causas y/o amenazas que podrían generar que ocurra el evento top

En esta etapa encontramos a los famosos: actos subestándares y condiciones subestándares.

Que en muchas ocasiones se convertirán en las causas y/o amenazas que podrían desatar un accidente y materializar el evento top.

Según la metodología en este ítem nos preguntamos ¿Qué ocasiona el evento top?, cuya respuesta nos permitirá identificar las causas y o amenazas, las cuales son las circunstancias que desencadenan el evento top en mención.

a) Identificación de causas en la operación unitaria de Perforación

Para actividad de perforación el “desprendimiento de rocas”, viene a ser el evento top, por lo tanto, para la identificación de las causas que ocasionan el evento top, haremos la siguiente pregunta.

¿Qué ocasiona el desprendimiento de rocas?



Tabla 16

Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de la perforación

CA1	• Rocas sueltas en las cajas techo y piso de las labores
CA2	• Voladura inadecuada e ineficiente (incumplimiento del factor de carga).
CA3	• No haber realizado el desatado de rocas adecuado
CA4	• Condicion geologica natural desfavorable
CA5	• Falta de relleno y/o sostenimiento en las labores
CA6	• Malas practicas operacionales
CA7	• Ausencia de control de calidad de los elementos de sostenimiento (shotcrete, pernos, mallas etc.)
CA8	• Incumplimiento del diseño minero por no cumplir con los parametros recomendados

Nota: Elaboración propia

b) Identificación de causas en la operación unitaria de Voladura de rocas

Para actividad de voladura, “La pérdida de control en el manejo de explosivos”, viene a ser el evento top, por lo tanto, para la identificación de las causas que ocasionan el evento top, haremos la siguiente pregunta.

¿Qué ocasiona la pérdida de control en el manejo de explosivos?



Tabla 17

Identificación de causas que generan el evento Top en la operación unitaria de voladura

CA1	• Personal inexperto para almacenamiento, manipulación y uso de explosivos
CA2	• Deficiente procedimiento para tratar detonaciones incompletas (tiros quedados, soplados,etc)
CA3	• Explosivos en mal estado
CA4	• Transporte de explosivos en vehiculos no autorizados
CA5	• Uso excesivo de explosivos o Sobrecarga de explosivos
CA6	• Uso de cigarro o aparatos que podrian causar explosiones en el carguio de explosivos
CA7	• Falta o deficiencia de los protocolos de comunicacion radial, coordinacion y evacuacion en procesos de voladura
CA8	• Mala programacion de retardos
CA9	• Los gases contaminantes del aire en minas (CO, NO y NO2).

Nota: Elaboración propia

c) Identificación de causas en la operación unitaria de Carguío y transporte

Para actividad de carguío y transporte, los “**Accidentes por pérdida de control de Equipo**”, viene a ser el evento top, por lo tanto, para la identificación de las causas que ocasionan el evento top, haremos la siguiente pregunta

¿Qué ocasiona los accidentes por pérdida de control de Equipo?



Tabla 18

Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de carguío y transporte.

CA1	• Fatiga y somnolencia del operador y/o conductor
CA2	Desprendimiento de rocas en las vías de interior mina
CA3	• Exceso de velocidad
CA4	• Uso de celulares u otras distracciones (comida, bebida, etc)
CA5	• Conductor y/o operador sin conocimiento, experiencia o competencia
CA6	• Falta de mantenimiento y/o malestado de los equipos de transporte
CA7	• Deficiente iluminación y señáletica inadecuada en interior mina y en las labores
CA8	• Condiciones decircuito de via no adecuada (exceso de agua, polvo, ruido, etc)
CA9	• Condicones geotecnicas inadecuadas
CA10	• Falta de evaluacion de riesgos en la tarea realizada por el trabajador

Nota: Elaboración propia

d) Identificación de causas en la operación unitaria de Ventilación minera

Para actividad de ventilación, los “accidentes producto de la Asfixia / intoxicaciones / Explosión”, viene a ser el evento top, por lo tanto, para la identificación de las causas que ocasionan el evento top, haremos la siguiente pregunta

¿Qué ocasiona los accidentes producto de la Asfixia / intoxicaciones / Explosión?



Tabla 19

Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de ventilación

CA1	• Vias de ventilacion en mal estado
CA2	• Corriente de aire que no garantiza una atmosfera limpia y respirable
CA3	• No tener definido un circuito de ventilacion de la mina
CA4	• Falta o Falla en la instrumentacion de medicion de atmosferas peligrosas
CA5	• Fallas mecanicas o corte de energia de los ventiladores principales
CA6	• Trabajadores no autorizados para realizar tareas en atmosferas no respirables
CA7	• Exceso de confianza .
CA8	• No realizar la medicion de gases despues de la voladura.
CA9	• No señalar zonas con liberacion de gases, o labores abandonadas gaseadas.

Nota: Elaboración propia.

e) Identificación de causas en la operación unitaria de Sostenimiento

Para actividad de sostenimiento, el “accidentes por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno”, viene a ser el evento top, por lo tanto, para la identificación de las causas que ocasionan el evento top, haremos la siguiente pregunta.

¿Qué ocasiona los accidentes por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno?



Tabla 20

Identificación de causas que generan el evento top en la operación unitaria de sostenimiento.

CA1	• Deficiente diseño de sostenimiento
CA2	• Presencia de filtraciones de agua, fallas, sobre excavaciones
CA3	• Perforación y voladura inadecuada, incumplimiento del factor de carga
CA4	• Realizar inspecciones, supervisiones deficientes por dar prioridad a la producción
CA5	• Deficiente desatado de rocas en las labores
CA6	• Imprudencia del personal que ingresa al área recién sostenida
CA7	• Terreno incompetente con insuficiente sostenimiento
CA8	• Falla en la identificación de peligro, evaluación de riesgo y control del terreno en el área de geomecánica.

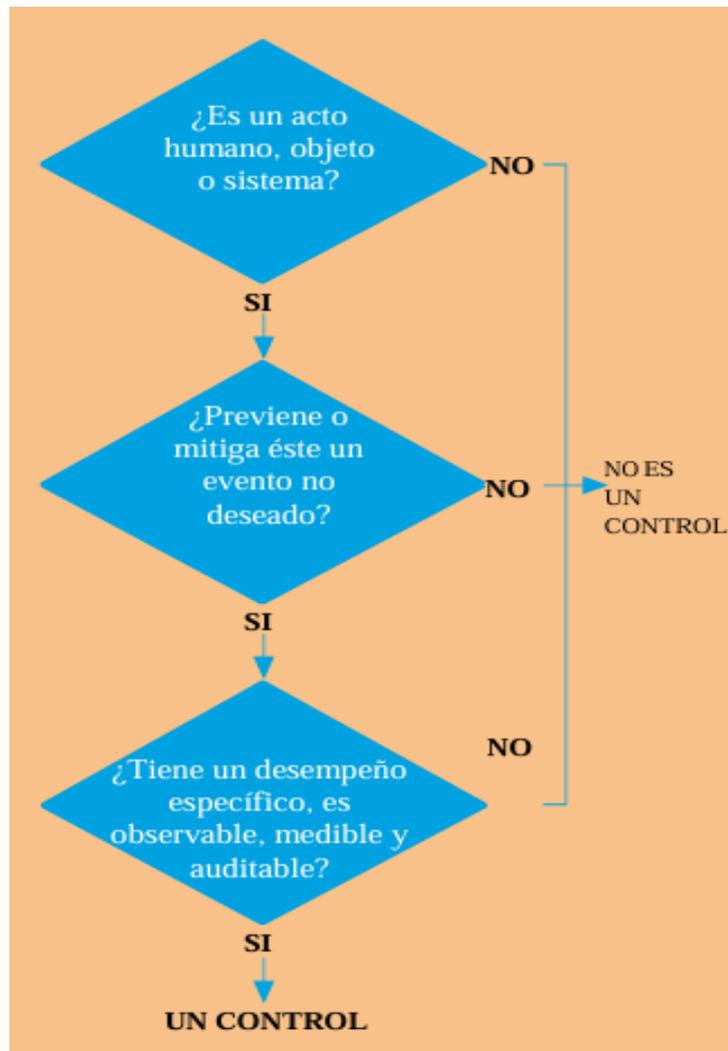
Nota: Elaboración propia

4.5. Identificación de controles Preventivos y críticos de prevención

En esta etapa primero identificaremos todos los controles (existentes y posibles) para cada evento no deseado, y luego se identifica los controles críticos. Un control se define como un acto, objeto (diseñado), o sistema, (combinación de acto y objeto) pensado para prevenir o mitigar un evento no deseado. La herramienta proporcionada en el siguiente esquema, puede ayudar a identificar los controles críticos.

Imagen 13

Como identificar un control critico



Fuente: M. Hassall, J. Joy, C. Doran and M. Punch, *Selection and Optimisation of Risk Controls*. ACARP report noC23007, 2015. Disponible en www.acarp.com.au/reports.aspx

a. Identificando controles de prevención para la operación unitaria de Perforación

En esta etapa nos preguntamos qué podemos hacer para prevenir que ocurra el evento top, “Accidente por desprendimiento de roca”, para tal caso, para la identificación de los controles de prevención realizamos la pregunta.

¿Qué podemos hacer para prevenir un accidente por desprendimiento de rocas?



Tabla 21

Controles de prevención para la operación unitaria de perforación

B1	• Competencias del personal (experiencia).
B2	• Realizar el desate de rocas con dos personas, uno que desate y el otro observe la roca.
B3	• Ventilar, regar, desatar, limpiar y sostener la labor antes de iniciar la perforación
B4	• Diseño y control de la malla la perforación de los taladros, para evitar la sobre rotura y el fracturamiento de las cajas y corona de la labor.
B5	• Voladura controlada.
B6	• Cumplir con los PETS de desate de rocas
B7	• Capacitación y entrenamiento a todo el personal
B8	• Elaborar e implementar el diseño del sostenimiento del terreno, considerando elementos de sostenimiento adecuados (pernos, cable bolting, malla, etc.) según la evaluación del área de geo mecánica

Nota: Elaboración propia

b) identificando controles de prevención para la operación unitaria de Voladura de rocas

En esta etapa nos preguntamos qué podemos hacer para prevenir que ocurra el evento top, que es “pérdida de control en manejo de explosivos”, para tal caso, para la identificación de los controles de prevención realizamos la pregunta.

¿Qué podemos hacer para prevenir un accidente por perdida de control en el manejo de explosivos?



Tabla 22

Controles de prevención para la operación unitaria de voladura de rocas

B1	• Manipulación de explosivos y accesorios de voladura deben ser efectuados por personal calificado y autorizado.
B2	• Revisión del frente de trabajo para ver si hay tiros cortados o tiros fallados.
B3	• Revisión del estado de los vehículos que transportan los explosivos
B4	• No fumar cuando manipule o transporte los explosivos.
B5	• Competencias del personal
B6	• PETS de eliminación de tiros quedados, desactivación de tiros cortados
B7	• El almacenamiento debe ser conforme a la legislación
B8	• Implementación de sensores para la detección de gases tóxicos, ventilación adecuada.
B9	• Capacitación y entrenamiento del Protocolo de comunicación radial coordinación y evacuación en los procesos de voladura

Nota: Elaboración propia

c) Identificando controles de prevención para la operación unitaria de Carguío y transporte

En esta etapa nos preguntamos qué podemos hacer para prevenir que ocurra el evento top, que es “Accidente por pérdida de control de equipo” para tal caso para la identificación de los controles de prevención realizamos la pregunta.

¿Qué podemos hacer para prevenir un accidente por pérdida de control de equipo?



Tabla 23

Controles de prevención para la operación unitaria de carguío y transporte

B1	• Competencias del personal
B2	• Sistema de monitoreo control de fatiga y somnolencia en conductores y operadores
B3	• Realizar pruebas de alcoholtest aleatorias diarias con un equipo calibrado
B4	• Monitoreo de velocidad mediante el uso de GPS en los vehículos móviles
B5	• Seguimiento al Cumplimiento del manual de conducción RITRA
B6	• Seguimiento al Programa de mantenimiento Preventivo y Correctivo
B7	• Protocolo de No uso del celular u otro dispositivo durante la operacion
B8	• Evaluación geo mecánica del macizo rocoso en vías principales
B9	• Implementación de cámaras de retroceso y sistema de aproximación o anticolidión según evaluación
B10	• Identificación y señalización de zonas peatonales y zonas vehiculares (paraderos, refugios mineros, etc.)

Nota: Elaboración propia

c) Identificando controles de prevención para la Operación unitaria de Ventilación minera

En esta etapa nos preguntamos qué podemos hacer para prevenir que ocurra el evento top, que es “accidentes por Asfixia / intoxicaciones / Explosión” para tal caso para la identificación de los controles de prevención realizamos la pregunta.

¿Qué podemos hacer para prevenir un accidente por Asfixia / intoxicaciones / Explosión??



Tabla 24

Controles de prevención para la operación unitaria de ventilación minera

B1	• Mantenimiento preventivo y correctivo de las vías de ventilación
B2	• Medición de atmósfera peligrosa
B3	• Implementación, calibración y mantenimiento de sensores para la detección de gases tóxicos (visual y acústico).
B4	• Comunicación eficiente
B5	• Tener definido un circuito de ventilación
B6	• Bloqueo y señalización de espacios confinados de superficie e interior mina
B7	• Aplicar la política PARE y enviar alarma cada vez que se sobrepase el límite permisible en el lugar de trabajo
B8	• Instalación de grupo electrógeno para ventiladores principales
B9	• Debe existir ventilación natural y forzada
B10	• Competencias del personal

Nota: Elaboración propia

d) Identificando controles de prevención para la operación unitaria de Sostenimiento

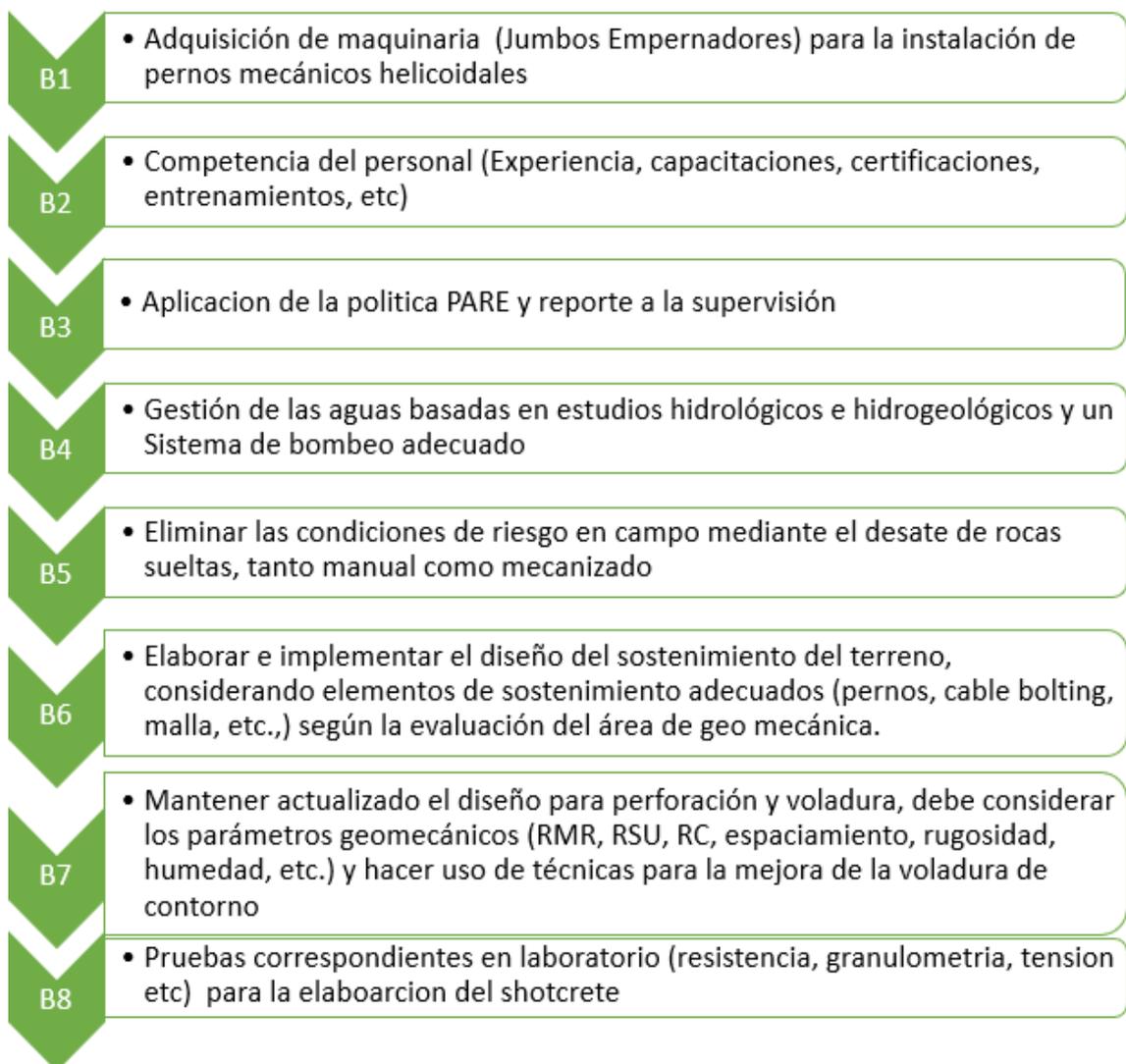
En esta etapa nos preguntamos qué podemos hacer para prevenir que ocurra el evento top, que es “Accidentes por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno” para tal caso para la identificación de los controles de prevención realizamos la pregunta.

¿Qué podemos hacer para prevenir un accidente por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno?



Tabla 25

Controles de prevención para la operación unitaria de sostenimiento minero



Nota: Elaboración propia

4.6. Identificación de controles de Mitigación para las operaciones unitarias del ciclo de minado

En esta etapa final, tomaremos en cuenta que el evento top se materializo, para lo cual identificaremos los controles que pueden mitigar el incidente inicial y/o mitigar las consecuencias que genero el evento top.

a) Identificando controles de mitigación para la Operación unitaria de Perforación

En esta etapa tomaremos en cuenta que ocurrió un “Accidente por desprendimiento de rocas” (evento top) y genero consecuencias, la pregunta que nos haremos es la siguiente:

¿Qué Acciones pueden mitigar las consecuencias del Accidente por desprendimiento de rocas?



Tabla 26

Controles de mitigación para la operación unitaria de perforación

CM1	• Activación del Plan de Respuesta a emergencias.
CM2	• Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia
CM3	• Uso de equipos de proteccion personal
CM4	• Activación de seguros para atención médica y equipos
CM5	• Uso de equipos de proteccion personal
CM6	• Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica.

Nota: Elaboración propia

b) Identificando controles de mitigación para la Operación unitaria Voladura de rocas

En esta etapa tomaremos en cuenta que ocurrió un “Accidente por pérdida de control en manejo de explosivos” (evento top) y genero consecuencias, la pregunta que nos haremos es la siguiente:

¿Qué Acciones pueden mitigar las consecuencias del Accidente por pérdida de control en manejo de explosivos?



Tabla 27

Controles de mitigación para la operación unitaria de voladura de rocas

CM1	• Activación del Plan de Respuesta a emergencias.
CM2	• Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia
CM3	• Uso de equipos de protección personal
CM4	• Activación de seguros para atención médica y equipos
CM5	• Activacion de alarmas y sensores
CM6	• Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica.

Nota: Elaboración propia

c) Identificando controles de mitigación para la Operación unitaria de Carguío y transporte

En esta etapa tomaremos en cuenta que ocurrió un “Accidente por pérdida de control en manejo de equipo” (evento top) y genero consecuencias, la pregunta que nos haremos es la siguiente:

¿Qué Acciones pueden mitigar las consecuencias del Accidente por pérdida de control en manejo de equipo



Tabla 28

Controles de mitigación para la operación unitaria de carguío y transporte

CM1	• Activación del Plan de Respuesta a emergencias.
CM2	• Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia
CM3	• Activación de seguros para atención médica y equipos
CM4	• Uso del cinturón de seguridad, extintor, martillo rompe lunas, salidas de emergencia y bolsa de aire
CM5	• Uso del boton de panico

Nota: Elaboración propia

d) Identificando controles de mitigación para la Operación unitaria de Ventilación minera

En esta etapa tomaremos en cuenta que ocurrió un “accidentes por Asfixia / intoxicaciones / Explosión” (evento top) y genero consecuencias, la pregunta que nos haremos es la siguiente:



¿Qué Acciones pueden mitigar las consecuencias de accidentes por Asfixia / intoxicaciones / Explosión?

Tabla 29

Controles de mitigación para la operación unitaria de ventilación

CM1	• Activación del Plan de Respuesta a emergencias.
CM2	• Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia
CM3	• Uso de equipos de protección personal
CM4	• Activación de seguros para atención médica y equipos
CM5	• Activación de alarmas y sensores
CM6	• Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica.

Nota: Elaboración propia

f) Identificando controles de mitigación para la Operación unitaria de Sostenimiento

En esta etapa tomaremos en cuenta que ocurrió un “Accidentes por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno” (evento top) y genero consecuencias, la pregunta que nos haremos es la siguiente:

¿Qué Acciones pueden mitigar las consecuencias de accidente por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno?



Tabla 30

Controles de mitigación para la operación unitaria de sostenimiento

CM1	• Activación del Plan de Respuesta a emergencias.
CM2	• Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia
CM3	• Activación de seguros para atención médica y equipos
CM4	• Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica
CM5	• Uso de equipos de protección personal

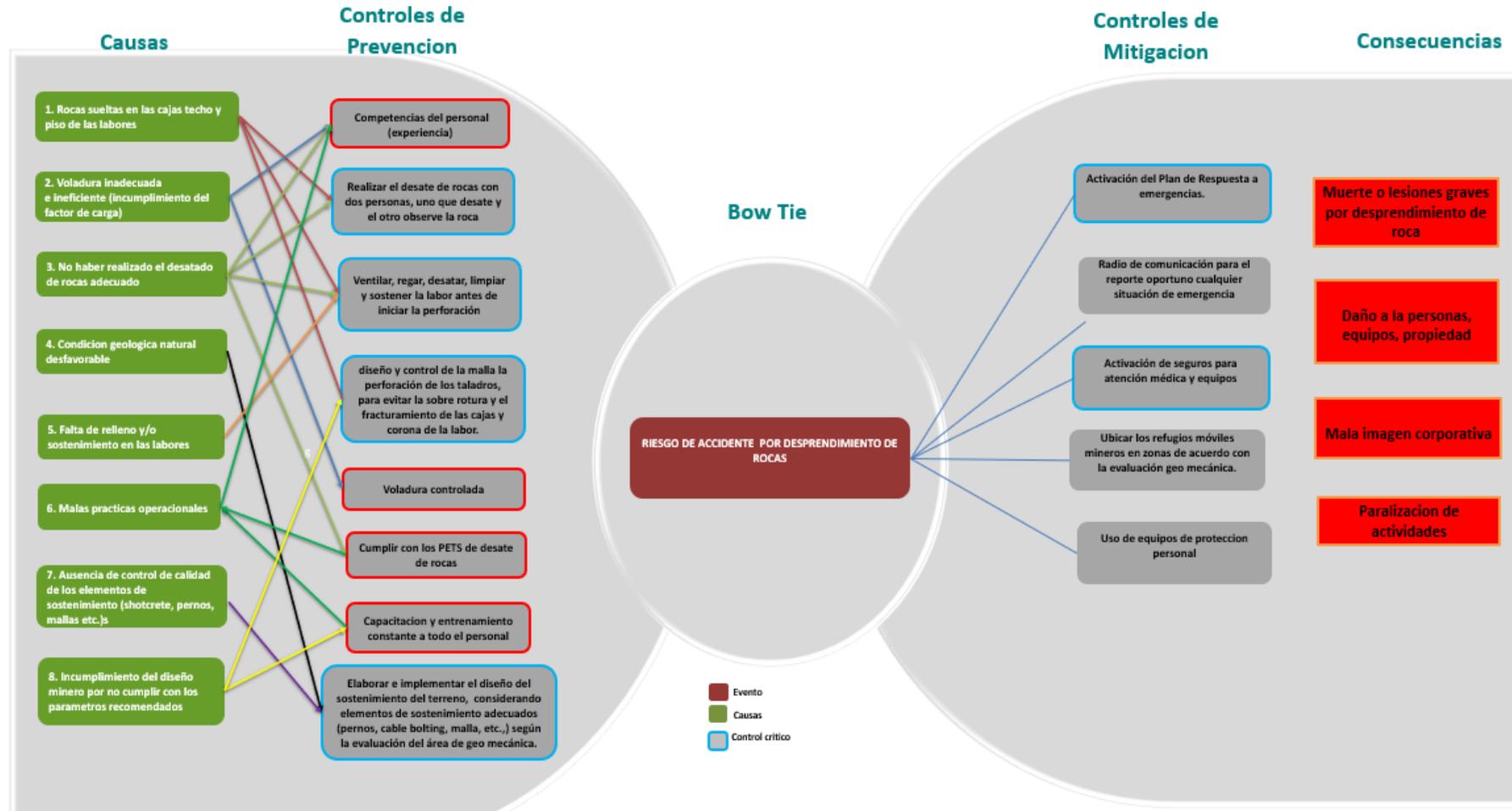
Nota: Elaboración propia

4.7.- Construcción y diseño del diagrama BOW TIE para cada operación unitaria

Ya identificado todas las partes del diagrama bow tie se realizará la construcción del diagrama, uniendo el evento top, consecuencias, las causas y/o amenazas, los controles preventivos y de mitigación.

a) Diagrama Bow tie para la operación unitaria de Perforación

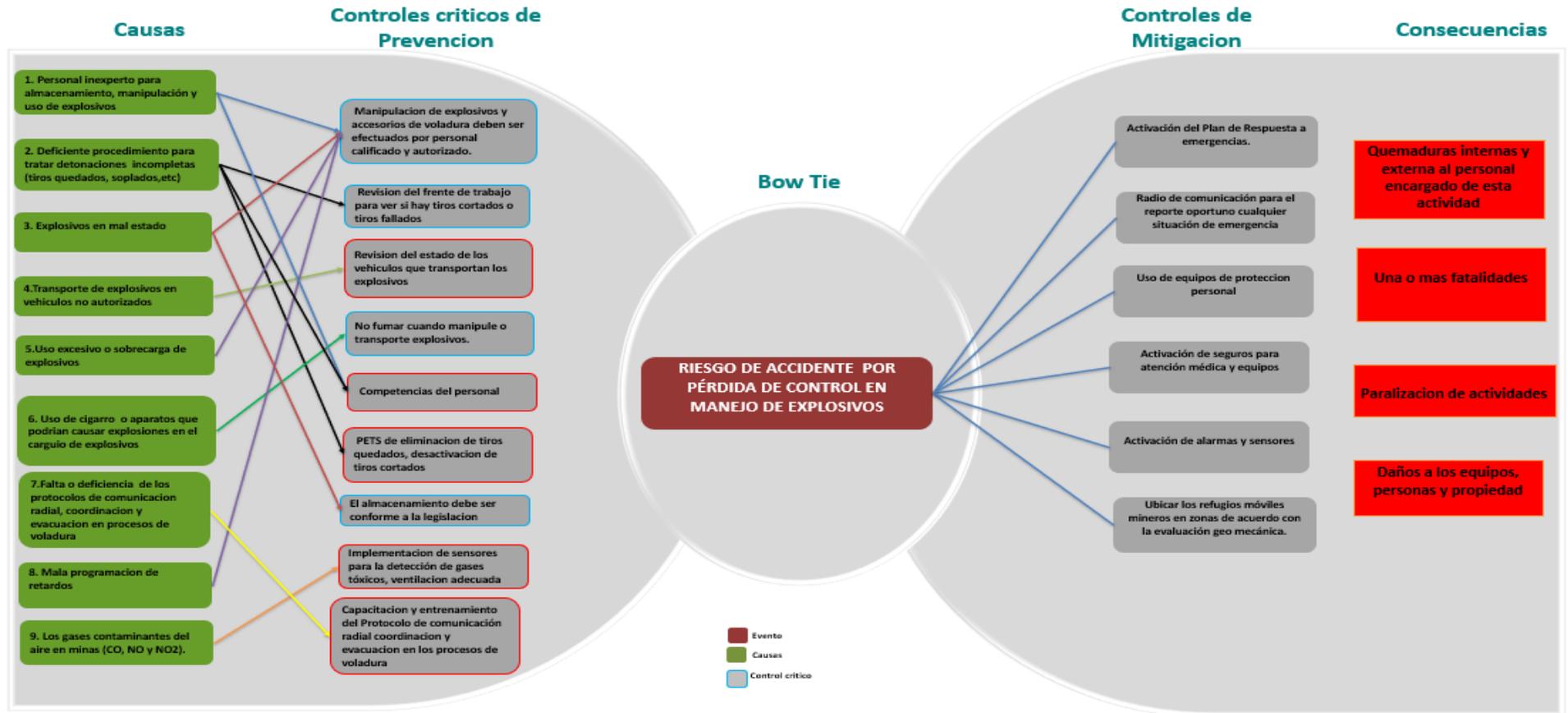
Diagrama 1 BOW TIE de perforación de rocas



Fuente: Elaboración Propia

b) Diagrama Bow tie para la operación unitaria de Voladura de rocas

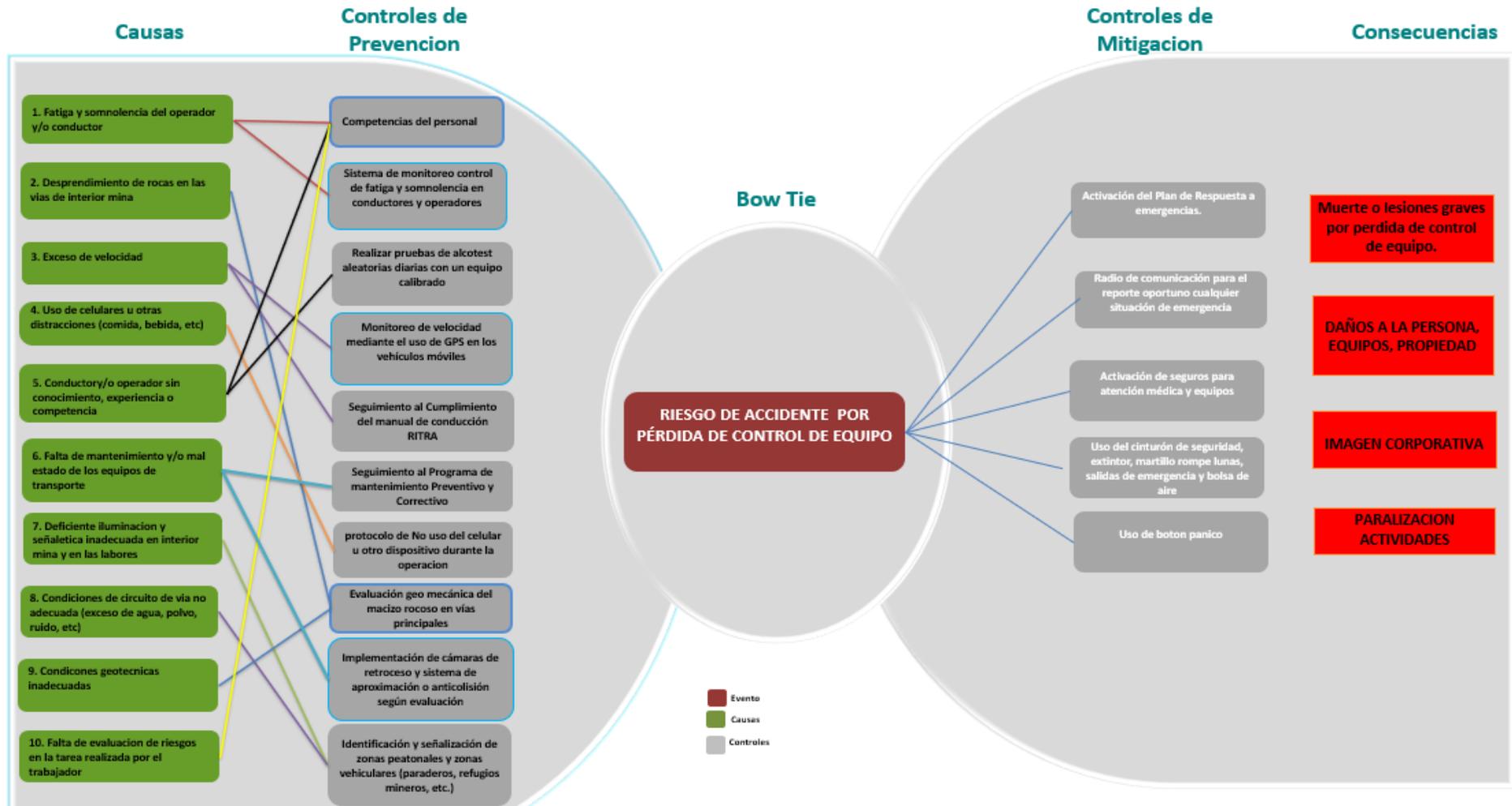
Diagrama 2 Bow tie para Voladura de rocas



Fuente: Elaboración Propia

c) Diagrama Bow tie para la operación unitaria de Carguío y transporte de mineral

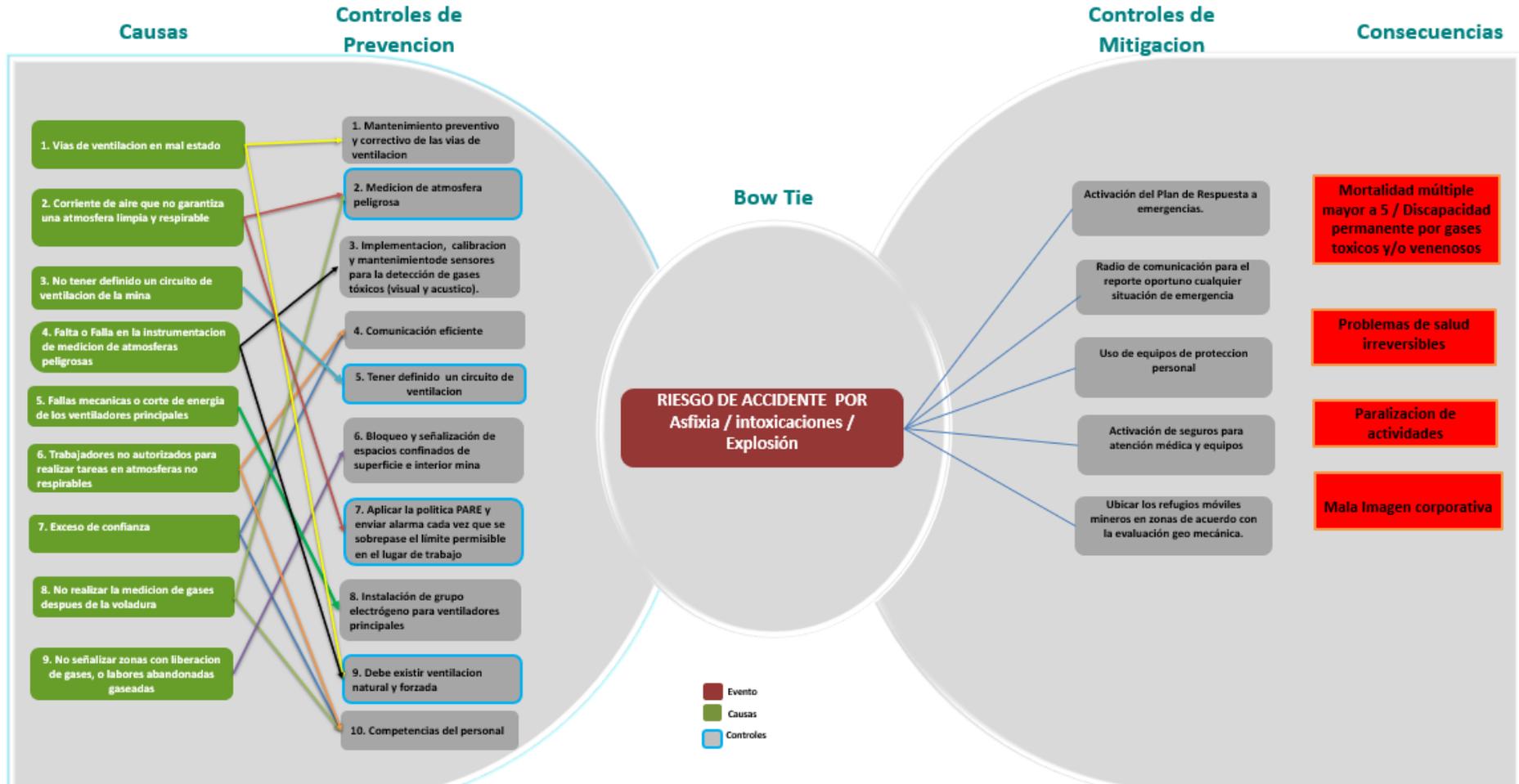
Diagrama 3. Diagrama Bow tie para Carguío y transporte de mineral



Fuente: *Elaboración Propia*

d) Diagrama Bow tie para la operación unitaria Ventilación minera

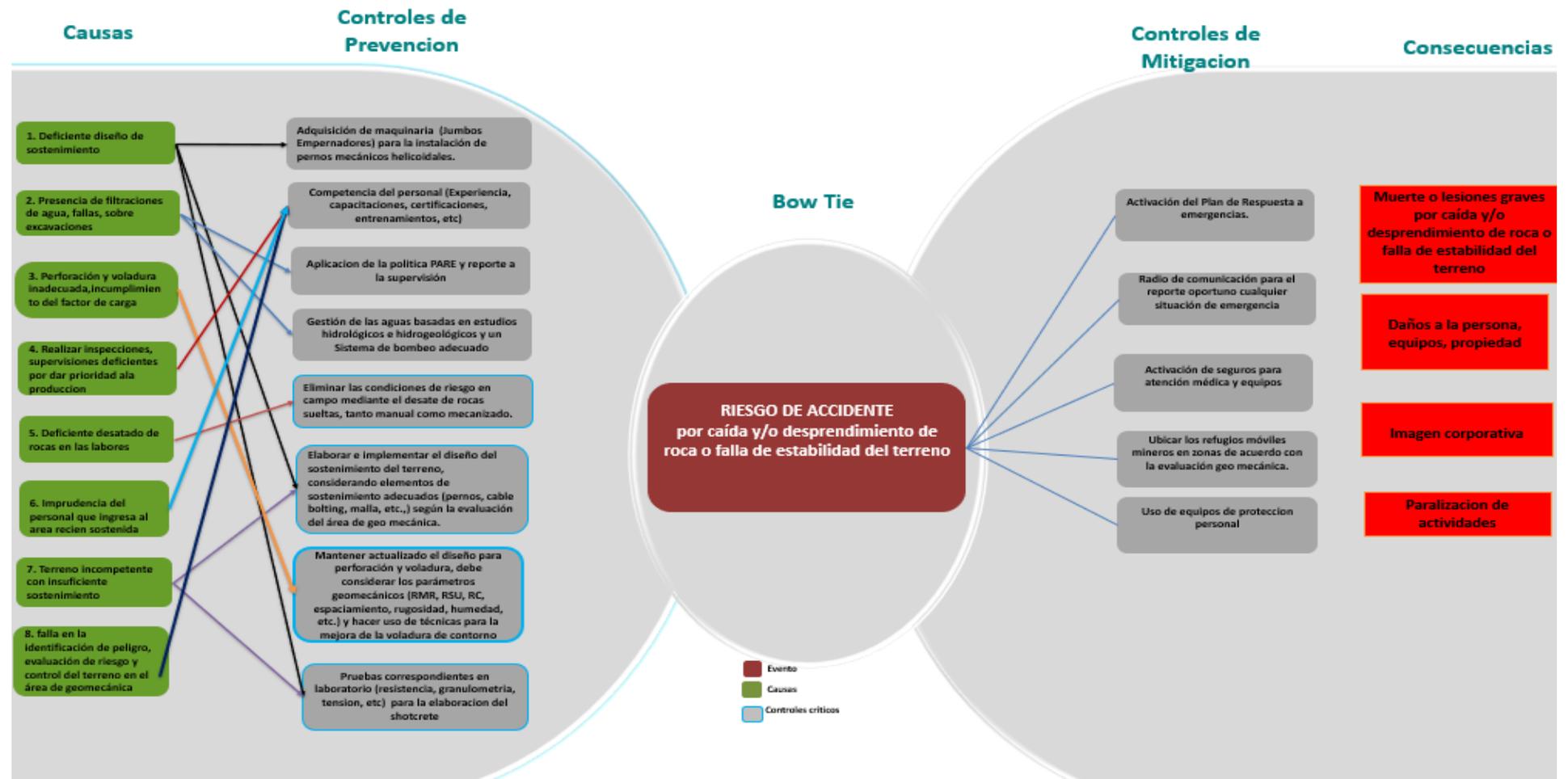
Diagrama 4. Diagrama Bow tie para Ventilación minera



Fuente: Elaboración Propia.

e) Diagrama Bow tie para la operación unitaria sostenimiento

Diagrama 5. Diagrama Bow tie para sostenimiento



Fuente: Elaboración Propia

4.8. Medición, acciones claves de seguimiento y designación de responsables de los controles críticos de la matriz BOW TIE

- **Medición**

Criterio de reporte del semáforo. - Los controles críticos deben identificarse, documentarse y aplicarse de forma que permitan una supervisión eficaz y una revisión periódica.

Para realizar la medición lo haremos por el método de semáforo

Un sistema de semáforo categoriza la salud en tres categorías.

Tabla 31

Sistema del semáforo

Puntos	Criterio
Red	No cumple el desempeño esperado - el control no trabaja satisfactoriamente
Amarillo	El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente- efectividad del control disminuida
Verde	El desempeño actual cumple constantemente con el desempeño esperado - el control es efectivo

Nota: Tomado de Guía implementación gestión controles críticos ICMM

- **Acciones claves de seguimiento y designación de responsables de los controles**

La responsabilidad de cada control crítico, y actividades de verificación deben ser asignadas a roles o posiciones específicas dentro de la organización. Estos “propietarios” son responsables de asegurarse continuamente de gestionar su tarea.

Estas acciones lo haremos aplicando el método del reporte del semáforo:

Tabla 32

Reporte de semáforo para controles críticos

Nombre del evento top			Salud global
Controles	Dueño	Salud	Comentarios
Control crítico 1	Supervisor 1		El control cumple con el desempeño esperado
Control crítico 2	Supervisor 2		el control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
Control crítico 3	Supervisor 3		El control cumple consistentemente justo debajo del umbral esperado de desempeño
Control crítico 4	Supervisor 4		El control cumple con el desempeño esperado

Nota: Adaptado de guía implementación gestión controles críticos ICMM

1.- Responsables de controles críticos para la etapa de la perforación

En la construcción del diagrama Bow tie para la perforación se identificaron 8 controles de prevención y 5 controles de mitigación, por lo tanto, designaremos un responsable al que llamaremos dueño del control, quien se hará cargo y responsable de que el control se cumpla.

Asi mismo evaluaremos el rendimiento del control mediante el método del reporte del semáforo

Tabla 33

Designación de responsables de controles de prevención y mitigación en la Operación unitaria de perforación

ID	Controles de Prevención	Dueño del control	Salud	comentarios
1	Competencias del personal (experiencia)	Recursos Humanos		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
2	Realizar el desate de rocas con dos personas, uno que desate y el otro observe la roca	Supervisor de área de perforación y voladura		El control cumple con el desempeño esperado
3	Ventilar, regar, desatar, limpiar y sostener la labor antes de iniciar la perforación	Supervisor de área de perforación y voladura		El control cumple con el desempeño esperado
4	diseño y control de la malla la perforación de los taladros, para evitar la sobre rotura y la fractura miento de las cajas y corona de la labor.	Supervisor de área de perforación y voladura		El control cumple con el desempeño esperado
5	Voladura controlada	Supervisor de área de perforación y voladura		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente efectividad del control disminuida
6	Cumplir con los PETS de desate de rocas	Supervisor de área de perforación y voladura		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente – efectividad del control disminuida
7	Capacitación y entrenamiento constante a todo el personal	Gerencia de mina		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente – efectividad del control disminuida
8	Elaborar e implementar el diseño del sostenimiento del terreno, considerando elementos de sostenimiento adecuados (pernos, cable bolting, malla, etc..) según la evaluación del área de geo mecánica.	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control cumple con el desempeño esperado

ID	Controles de Mitigación	Dueño del control		
1	Activación del Plan de Respuesta a emergencias	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
2	Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente, efectividad del control disminuida
3	Activación de seguros para atención médica y equipos	Gerencia de Recursos humanos		El control cumple con el desempeño esperado
4	Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente, efectividad del control disminuida
5	Uso de equipos de protección personal	Supervisor de área de perforación y voladura		No cumple el desempeño esperado, el control no trabaja satisfactoriamente

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019”.

2.- Responsables de controles críticos para la operación unitaria de voladura

En la construcción del diagrama Bow tie para la voladura de rocas se identificaron 9 controles de prevención y 6 controles de mitigación, por lo tanto, designaremos un responsable al que llamaremos dueño del control, quien se hará cargo y responsable de que el control se cumpla.

Así mismo evaluaremos el rendimiento del control mediante el método del reporte del semáforo.

Tabla 34

Identificación de responsables de controles críticos en la Operación unitaria de voladura

ID	Controles de Prevención	Dueño del control	Salud	Comentarios
1	Manipulación de explosivos y accesorios de voladura deben ser efectuados por personal calificado y autorizado	Supervisor de área de perforación y voladura		El control cumple con el desempeño esperado
2	Revisión del frente de trabajo para ver si hay tiros cortados o tiros fallados	Supervisor de área de perforación y voladura		El control cumple con el desempeño esperado
3	Revisión del estado de los vehículos que transportan los explosivos	Supervisor de área de perforación y voladura		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
4	No fumar cuando manipule o transportes explosivos.	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
5	Competencias del personal	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
6	PETS de eliminación de tiros quedados, desactivación de tiros cortados	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
7	El almacenamiento de explosivos debe ser conforme a la legislación	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
8	Implementación de sensores para la detección de gases tóxicos, ventilación adecuada	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
9	Capacitación y entrenamiento del Protocolo de comunicación radial coordinación y evacuación en los procesos de voladura	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado

ID	Controles de Mitigación	Dueño del control	Salud	comentarios
1	Activación del Plan de Respuesta a emergencias.	Gerencia de seguridad y salud ocupacional	Verde	El control cumple con el desempeño esperado
2	Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia	Gerencia de seguridad y salud ocupacional	Amarillo	El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
3	Uso de equipos de protección personal	Supervisor de seguridad y salud ocupacional	Rojo	No cumple el desempeño esperado, el control no trabaja satisfactoriamente
4	Activación de seguros para atención médica y equipos	Gerencia de Recursos humanos	Verde	El control cumple con el desempeño esperado
5	Activación de alarmas y sensores	Supervisor de seguridad y salud ocupacional	Amarillo	El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019”

3.- Responsables de controles críticos para la etapa del carguío y transporte

En la construcción del diagrama Bow tie para el carguío y transporte, se identificaron 10 controles de prevención y 5 controles de mitigación, por lo tanto, designaremos un responsable al que llamaremos dueño del control, quien se hará cargo y responsable de que el control se cumpla.

Así mismo evaluaremos el rendimiento del control mediante el método del reporte del semáforo

Tabla 35

responsables de controles críticos de la O.U de carguío y transporte

ID	Controles de Prevención	Dueño del control	Salud	Comentarios
1	Competencias del personal	Gerencia de Recursos humanos		El control cumple con el desempeño esperado
2	Sistema de monitoreo control de fatiga y somnolencia en conductores y operadores	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
3	Realizar pruebas de alcotest aleatorias diarias con un equipo calibrado	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
4	Monitoreo de velocidad mediante el uso de GPS en los vehículos móviles	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
5	Seguimiento al Cumplimiento del manual de conducción RITRA	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
6	Seguimiento al Programa de mantenimiento Preventivo y Correctivo	Supervisor del área de mantenimiento mecánico		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
7	Protocolo de No uso del celular u otro dispositivo durante la operación	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
8	Evaluación geo mecánica del macizo rocoso en vías principales	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control cumple con el desempeño esperado
9	Implementación de cámaras de retroceso y sistema de aproximación o anticollisión según evaluación	Gerencia del área de mantenimiento mecánico		El control cumple con el desempeño esperado
10	Identificación y señalización de zonas peatonales y zonas vehiculares (paraderos, refugios mineros, etc.)	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado

ID	Controles de Mitigación	Dueño del control	Salud	Comentarios
1	Activación del Plan de Respuesta a emergencias.	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
2	Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente efectividad del control disminuida
3	Activación de seguros para atención médica y equipos	Gerencia de Recursos humanos		No cumple el desempeño esperado, el control no trabaja satisfactoriamente
4	Uso del cinturón de seguridad, extintor, martillo rompe lunas, salidas de emergencia y bolsa de aire	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente efectividad del control disminuida
5	Uso de botón de pánico	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El desempeño esperado se cumple de manera inconsistente efectividad del control disminuida

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019”

4.- Responsables de controles críticos para la etapa de ventilación

En la construcción del diagrama Bow tie para la etapa de ventilación, se identificaron 10 controles de prevención y 5 controles de mitigación, por lo tanto, designaremos un responsable al que llamaremos dueño del control, quien se hará cargo y responsable de que el control se cumpla.

Así mismo evaluaremos el rendimiento del control mediante el método del reporte del semáforo.

Tabla 36

responsables de controles de la Operación unitaria de ventilación.

ID	Controles de Prevención	Dueño del control	Salud	Comentarios
1	Mantenimiento preventivo y correctivo de las vías de ventilación	Gerencia del área de ventilación		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
2	Medición de atmosfera peligrosa	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
3	Implementación, calibración y mantenimiento de sensores para la detección de gases tóxicos (visual y acústico).	Gerencia del área de ventilación		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
4	Comunicación eficiente	Todo el personal		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
5	Tener definido un circuito de ventilación	Gerencia del área de ventilación		El control cumple con el desempeño esperado
6	Bloqueo y señalización de espacios confinados de superficie e interior mina	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
7	Aplicar la política PARE y enviar alarma cada vez que se sobrepase el límite permisible en el lugar de trabajo	Todo el personal		El control cumple con el desempeño esperado
8	Instalación de grupo electrógeno para ventiladores principales	Gerencia del área de ventilación		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
9	Debe existir ventilación natural y forzada	Gerencia del área de ventilación		El control cumple con el desempeño esperado
10	Competencias del personal	Gerencia de Recursos humanos		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado

ID	Controles de Mitigación	Dueño del control	Salud	Comentarios
1	Activación del Plan de Respuesta a emergencias.	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control cumple con el desempeño esperado
2	Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
3	Uso de equipos de protección personal	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
4	Activación de seguros para atención médica y equipos	Gerencia de Recursos humanos		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
5	Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019”

5.- Responsables de controles críticos para la etapa de sostenimiento

En la construcción del diagrama Bow tie para el sostenimiento de mina se identificaron 8 controles de prevención y 5 controles de mitigación, por lo tanto, designaremos un responsable al que llamaremos dueño del control, quien se hará cargo y responsable de que el control se cumpla.

Asi mismo evaluaremos el rendimiento del control mediante el método del reporte del semáforo.

Tabla 37

responsables de controles críticos de la operación unitaria de sostenimiento

ID	Controles de Prevención	Dueño del control	Salud	Comentarios
1	Implementación de maquinaria (Jumbos Empernadores) para la instalación de pernos mecánicos helicoidales.	Gerencia de mina		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
2	Competencia del personal (Experiencia, capacitaciones, certificaciones, entrenamientos, etc.)	Gerencia de Recursos humanos		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
3	Aplicación de la política PARE y reporte a la supervisión	Supervisor del área de geomecánica		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
4	Gestión de las aguas basadas en estudios hidrológicos e hidrogeológicos y un Sistema de bombeo adecuado	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
5	Eliminar las condiciones de riesgo en campo mediante el desate de rocas sueltas tanto manual como mecanizado.	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control cumple con el desempeño esperado
6	Elaborar e implementar el diseño del sostenimiento del terreno, considerando elementos de sostenimiento adecuados (pernos, cable bolting, malla, etc.) según la evaluación del área de geo mecánica.	Gerencia del área de Geomecánica		El control cumple con el desempeño esperado
7	Mantener actualizado el diseño para perforación y voladura, debe considerar los parámetros geomecánicos (RMR, RSU, RC, espaciamiento, rugosidad, humedad, etc.) y hacer uso de técnicas para la mejora de la voladura de contorno	Gerencia del área de Geomecánica		El control cumple con el desempeño esperado
8	Pruebas correspondientes en laboratorio (resistencia, granulometría, tensión, etc.) para la elaboración del shotcrete	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control cumple con el desempeño esperado

ID	Controles de Mitigación	Dueño del control		
1	Activación del Plan de Respuesta a emergencias.	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
2	Radio de comunicación para el reporte oportuno cualquier situación de emergencia	Gerencia de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
3	Activación de seguros para atención médica y equipos	Gerencia de Recursos humanos		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
4	Ubicar los refugios móviles mineros en zonas de acuerdo con la evaluación geo mecánica.	Supervisor del área de geomecánica de la mina		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado
5	Uso de equipos de protección personal	Supervisor de seguridad y salud ocupacional		El control no cumple de manera consistente con el desempeño esperado

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019”

4.9. Medición de efectividad del desempeño de los controles críticos.

Se debe asegurar que los controles críticos tengan un alto desempeño para evitar que ocurra el evento o que se disminuya su consecuencia / impacto, es por ello que tomaremos 4 puntos para definir el desempeño de control crítico

Paso 1: Definir el objetivo del control crítico

Se define el objetivo del control crítico lo cual nos llevara a entender el rol, las expectativas y resultados del control. El objetivo de un control crítico es una descripción específica de lo que se requiere que haga el control.

Paso 2: Definir los requerimientos de desempeño para los controles críticos

Los requerimientos de desempeño son los estándares en los que debe desempeñarse un control. Estos ya podrían existir dentro de los documentos de una empresa. Esto puede ser determinado al revisar los procesos relevantes, procedimientos, manuales de mantenimiento, y otros documentos de soporte

Paso 3: Identificar las actividades que impactan el desempeño del control

Identifique que actividades impactan su desempeño, apoyan o habilitan el control crítico. Cuando buscamos información para revisar estas actividades.

Paso 4: Defina las actividades de “chequeo” o verificación

La verificación es el acto de chequear, o “monitorear activamente”, que las actividades que apoyan y mejoran los controles críticos se completen hasta un nivel aceptable. Para cada control crítico, identifique lo que se requiere de la verificación.

Como ejemplo mediremos el desempeño de un control critico de cada operación unitaria

1.- Medición de desempeño de control crítico para la actividad de

perforación

Para la tarea de perforación de rocas elegiremos un control de prevención, el cual será “Ventilar, regar, desatar, limpiar y sostener la labor antes de iniciar la perforación”, describiremos sus objetivos relacionados al evento top que es “Accidente por desprendimiento de rocas” así mismo describiremos sus requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos, también identificaremos actividades que apoyan el control crítico y las actividades que pueden chequeadas para verificar. A continuación, un ejemplo:

Tabla 38

Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de perforación

1. ¿Cuál es el nombre del control crítico para riesgo de accidente por desprendimiento de rocas?		
Ventilar, regar, desatar, limpiar y sostener la labor antes de iniciar la perforación		
2. ¿Cuáles son sus objetivos específicos relacionados con el evento top?		
detectar rocas sueltas de forma segura para hacerlas caer de manera controlada, reduciendo los riesgos.		
3. ¿Cuáles son los requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos	4. ¿Cuáles son las actividades que apoyan o habilitan el control crítico?	5. ¿Qué actividades pueden de ser chequeadas para verificar
Que el desate de rocas y el sostenimiento sea efectivo para reducir el riesgo de desprendimiento de rocas	Realizar inspecciones periódicas y si el techo es demasiado fracturado se debe colocar sostenimiento continuo o en su defecto pernos de anclaje.	Revisar los registros de inspección previa y asegurarse que el sostenimiento sea realizado cuando sea necesario
6 ¿Cuál es el desempeño objetivo para el control crítico?		
Que los requerimientos de sostenimiento identificados se realicen el 100% del tiempo		
7 ¿Cuál es el detonante para el cierre, revisión o investigación del control crítico?		
Que los materiales con los que se realizó el sostenimiento están defectuosos y/o dañados		

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019

2.- Medición de desempeño de control crítico para la actividad de voladura de rocas

Para la tarea de voladura de rocas elegiremos un control de prevención, el cual será “El almacenamiento de explosivos debe ser conforme a la legislación”, describiremos sus objetivos relacionados al evento top que es “accidente por pérdida de control en manejo de explosivos” así mismo describiremos sus requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos, también identificaremos actividades que apoyan el control crítico y las actividades que pueden chequeadas para verificar. A continuación, un ejemplo.

Tabla 39

Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de voladura

1. ¿Cuál es el nombre del control crítico para riesgo de accidente por pérdida de control en manejo de explosivos?		
El almacenamiento de explosivos debe ser conforme a la legislación		
2. ¿Cuáles son sus objetivos específicos relacionados con el evento top?		
Contar con un sistema de control y vigilancia permanente en todos los lugares donde se almacenan y manipulan explosivos, de tal forma de garantizar el absoluto control del almacenamiento de los mismos.		
3. ¿Cuáles son los requerimientos desempeño del control crítico para cumplir los objetivos	4. ¿Cuáles son las actividades que apoyan o habilitan el control crítico?	5. ¿Qué actividades pueden de ser chequeadas para verificar
El almacenamiento se debe realizar en conformidad a lo exigido en la legislación, manteniendo las distancias, la ventilación, la señalización, descargas a tierra, tipo de polvorín, parapetos, entre otros.	-Mantener señalizado con letreros respecto a los riesgos y las prohibiciones que rigen en el área. -No está permitido uso de llama abierta, como tampoco fumar en los lugares donde se encuentren almacenados los explosivos; el recinto debe estar bien cercado y aislado.	Las instalaciones de almacenamiento de explosivos deben contar con un programa de mantenimiento (malla a tierra, pararrayos, entre otros).
		Segmentación en el almacenamiento por clasificación (accesorios, altos explosivos).
		Plan de evacuación difundido y entendido por todo el personal que permanece en el área.
6 ¿Cuál es el desempeño objetivo para el control crítico?		
Que los requerimientos de almacenamiento de explosivos se realicen el 100% del tiempo		
7 ¿Cuál es el detonante para el cierre, revisión o investigación del control crítico?		
Que los explosivos y accesorios de voladura se encuentren en mal estado.		

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019

3.- Medición de desempeño de control crítico para la actividad carguío y transporte de mineral

Para la tarea de la actividad carguío y transporte de mineral elegiremos un control de prevención, el cual será “Monitoreo de velocidad mediante el uso de GPS en los vehículos móviles”, describiremos sus objetivos relacionados al evento top que es “riesgo de accidente por pérdida de control de equipo” así mismo describiremos sus requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos, también identificaremos actividades que apoyan el control crítico y las actividades que pueden chequeadas para verificar. A continuación, un ejemplo:

Tabla 40.

Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de carguío y transporte

1. ¿Cuál es el nombre del control crítico para riesgo de accidente por pérdida de control de equipo?		
Monitoreo de velocidad mediante el uso de GPS en los vehículos móviles.		
2. ¿Cuáles son sus objetivos específicos relacionados con el evento top?		
Contar con un sistema de monitoreo que ayude a prevenir accidentes por exceso de velocidad de los equipos y vehículos mineros.		
3. ¿Cuáles son los requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos	4. ¿Cuáles son las actividades que apoyan o habilitan el control crítico?	5. ¿Qué actividades pueden ser chequeadas para verificar
El monitoreo debe permitirnos conocer información de la ubicación, estado, velocidad con la que se maneja el equipo en tiempo real.	-Sistema de monitoreo mande señales de alarma en tiempo real, cada vez que se haya detectado un exceso de velocidad	Reporte diario de datos de velocidad de los equipos y vehículos al área de seguridad
6 ¿Cuál es el desempeño objetivo para el control crítico?		
Que los requerimientos de monitoreo de velocidad se realicen el 100% del tiempo		
7 ¿Cuál es el detonante para el cierre, revisión o investigación del control crítico?		
Que el sistema de monitoreo no envíe alarmas en cada desvío de velocidad, que la señal de GPS falle.		

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019

4.- Medición de desempeño de control crítico para la actividad ventilación minera

Para la tarea de ventilación minera, elegiremos un control de prevención, el cual será “Medición de atmosferas peligrosas”, describiremos sus objetivos relacionados al evento top que es “riesgo de accidente por Asfixia / intoxicaciones / Explosión” así mismo describiremos sus requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos, también identificaremos actividades que apoyan el control crítico y las actividades que pueden ser chequeadas para verificar. A continuación, un ejemplo:

Tabla 41

Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de ventilación

1. ¿Cuál es el nombre del control crítico para riesgo de accidente por Asfixia / intoxicaciones / Explosión?		
Medición de atmosferas peligrosas		
2. ¿Cuáles son sus objetivos específicos relacionados con el evento top?		
Realizar mediciones de atmosféricas para evaluar la calidad del aire y garantizar la seguridad del trabajador.		
3. ¿Cuáles son los requerimientos desempeño del control crítico para cumplir los objetivos	4. ¿Cuáles son las actividades que apoyan o habilitan el control crítico?	5. ¿Qué actividades pueden ser chequeadas para verificar el desempeño del control crítico?
Antes de ingresar a trabajar se deben realizar mediciones atmosféricas para evaluar la presencia y concentración de gases peligrosos	Es esencial que los trabajadores estén capacitados en el uso adecuado de estos aparatos y en la interpretación de los resultados de las mediciones atmosféricas.	Registrar y revisar el entrenamiento y capacitación del personal que realizara trabajos en interior mina
Aparatos para realizar mediciones atmosféricas estén mantenidos para que la detección de gases tóxicos sea eficiente	Inspección de los aparatos de medición de atmosferas peligrosas antes de empezar el trabajo y realizar una solicitud de mantenimiento en caso que sea necesario	Revisar los registros de inspección previa y asegurarse que la mantención sea realizada cuando sea necesaria
6 ¿Cuál es el desempeño objetivo para el control crítico?		
Mediciones de atmosféricas para evaluar la calidad del aire y garantizar la seguridad del trabajador se realicen el 100% del tiempo y que la medición este dentro de los límites máximos permisibles		
7 ¿Cuál es el detonante para el cierre, revisión o investigación del control crítico?		
Que el aparato de medición de atmosferas peligrosas este dañado y no este calibrado y suceda un accidente por medición errónea del aparato.		

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019

5.- Medición de desempeño de control crítico para la actividad sostenimiento minero

Para la tarea de sostenimiento minero, elegiremos un control de prevención, el cual será “Realizar pruebas correspondientes en laboratorio (resistencia, granulometría, tensión, etc) para la elaboración del shotcrete”, describiremos sus objetivos relacionados al evento top que es “riesgo de accidente por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno” así mismo describiremos sus requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos, también identificaremos actividades que apoyan el control crítico y las actividades que pueden chequeadas para verificar. A continuación, un ejemplo:

Tabla 42

Medición de desempeño de controles críticos para la actividad de sostenimiento

1. ¿Cuál es el nombre del control crítico para riesgo de accidente por caída y/o desprendimiento de roca o falla de estabilidad del terreno		
Realizar pruebas correspondientes en laboratorio (resistencia, granulometría, tensión, etc) para la elaboración del shotcrete		
2. ¿Cuáles son sus objetivos específicos relacionados con el evento top?		
Conocer las características de una mezcla de concreto lanzado (shotcrete), para lograr una mezcla de buena calidad y reducir el nivel de riesgo asociado a eventos con daños por caída, desprendimiento de rocas o falla de estabilidad de terrenos y taludes ya que estas dependen de las propiedades mecánicas del suelo donde se encuentra.		
3. ¿Cuáles son los requerimientos de desempeño del control crítico para cumplir los objetivos	4. ¿Cuáles son las actividades que apoyan o habilitan el control crítico?	5. ¿Qué actividades pueden ser chequeadas para verificar el desempeño del control crítico?
Realizar el estudio geológico local del área a intervenir y el estudio geo -mecánico del macizo rocoso. Mandar al laboratorio los datos para que se determine las características del concreto a emplear para el sostenimiento	Estudio del tipo de roca y evaluación geomecánica de calidad del macizo rocoso.	Registrar y actualizar los resultados de laboratorio para la elaboración del shotcrete.
Elaborar el plan de sostenimiento, con los resultados de los estudios en laboratorio y cálculos del sostenimiento.	Los cálculos del tipo, forma y características técnicas del shotcrete para el sostenimiento, se adecuen con el tipo de macizo rocoso y las labores mineras a excavar.	Realizar y registrar las inspecciones y mantenimientos a las labores ya sostenidas por shotcrete
6 ¿Cuál es el desempeño objetivo para el control crítico?		
Que los resultados de laboratorio garanticen la elaboración de shotcrete optimo y a la vez este garantice seguridad a los trabajadores		
7 ¿Cuál es el detonante para el cierre, revision o investigación del control crítico?		
Que el estudio del macizo rocoso de acuerdo a los resultados de laboratorio requiera otro tipo de sostenimiento ya sea pernos de anclaje, cerchas de acero, madera etc.		

Nota: Adaptado de “guía implementación gestión controles críticos ICMM, 2019

4.10. Condiciones de aplicación del bow tie

Cuando Debería Aplicarse

- Cuando Los peligros son conocidos, es decir, cuando se conoce muy bien sus causas e impactos. Se da en entornos de bastante certidumbre.
- Cuando se involucran riesgos críticos operacionales, extremos o altos, ya que estos necesitan un análisis mucho más detallado y profundo de las causas e impactos.
- Cuando el evento analizado involucra una gran diversidad de factores causales; por ejemplo, los riesgos de salud y seguridad ocupacional.

Cuando No Debería Aplicarse

- Los peligros son poco conocidos, es decir, cuando se conoce poco de sus causas e impactos, o se da en entornos de alta incertidumbre.
- Para peligros de riesgos bajos o medios generalmente no justifica hacer un BowTie. La relación costo/beneficio no lo compensa. Puede ser muy costoso en términos de horas hombre. Por eso en estos casos debería ser opcional y a criterio del dueño del riesgo ver si es necesario o no crearlo.
- Para peligros que son de corta duración, como algunos peligros que se presentan en obras o proyectos. Generalmente la inversión en horas hombre de un BowTie justifica para peligros que son permanentes y recurrentes, que se va perfeccionando el BowTie con el paso del tiempo incorporando las lecciones aprendidas. Por eso es más común ver su uso en peligros operacionales que en peligros presentes en contratos de obra o proyectos.

4.11. Beneficios del diagrama de bow tie

Los beneficios vinculados a un bow tie es variados, razón por la cual se amplió la utilización de estos análisis en diversos sectores. Este tipo de análisis es extremadamente complejo, pero también muy sencillo, lo que simplifica la labor de los gestores de riesgos. También puede ser complementado y vinculado con otras

metodologías de riesgos para simplificar la toma de decisiones ya que es beneficiosos en periodos de auditorías internas y externas.

4.11.1. Beneficios técnicos

El diagrama bow tie es una herramienta sencilla y eficaz para comunicar los resultados de la evaluación de riesgos a todos los niveles organizacionales, los beneficios técnicos del bow tie son diversos ya que brinda mejor entendimiento de los controles críticos ya que ha llevado a interacciones de “notable liderazgo” más productivo y eficaz, entre los gerentes y los colaboradores.

Entrega un entendimiento claro de los controles necesarios para gestionar los eventos no deseados en todos los niveles de la organización

Nos ayuda a gestionar activamente el riesgo de un evento no deseado, también controla el riesgo de daño a la reputación de la empresa u organización.

utilizar bow ties, proporcionan una imagen simple y fácil de entender de las conexiones entre los eventos no deseados, cómo pueden ser causados, y el control crítico para prevenir que ocurra y minimizar sus consecuencias en caso de que ocurra.

4.11.2. Beneficios económicos

El diagrama bow tie reduce los accidentes, lesiones y costos ya que contribuye en el bienestar de los empleados. Un entorno de trabajo seguro promueve una cultura positiva que mejora la moral y la productividad de los empleados. Un personal sano y motivado está más comprometido con su trabajo y es menos probable que falte al mismo, porque se traduce a una eficacia laboral.

4.11.3. Beneficios en seguridad y salud ocupacional.

En definitiva, resaltar que con el diagrama no solo ayudamos a mejorar la seguridad laboral de nuestros empleados, sino que también supone otros beneficios para la organización a largo plazo. Nos permite ver, un riesgo con sus causas, impactos y su tratamiento (medidas preventivas que tratan la probabilidad y medidas mitigadoras que tratan los impactos).

Entre los principios del bow tie está incluido el ICAM, la cual permitirá que la investigación de accidentes sea más rápida, fácil y se relaciona al proceso de gestión de incidentes ICAM, genera aprendizaje y evita la repetición de Incidentes

También contribuye a la mejora de los procesos de la organización gracias a la participación de sus empleados, logrando ahorros importantes en materia de seguridad y salud en el trabajo, además de reducción en los tiempos de realización del trabajo y los recursos empleados en los mismos controlando los riesgos y disminuyendo las incidencias de enfermedades y accidentes laborales.

4.12. Comentarios finales sobre la aplicación de bow tie

Frente a otros métodos de análisis de riesgo, lo efectivo de un diagrama bow tie es que se enfoca principalmente en los controles de prevención, controles mitigantes, y sus consecuencias. Es una herramienta que nos permite hacer un análisis sistemático de cada uno de los controles, entre las causas, el evento top y las consecuencias. cosa que no habían logrado los métodos de el “árbol de fallos” ni “el árbol de eventos”.

Cabe recalcar que el diagrama bow tie no será efectivo si es que no se define bien el evento top, no se identifican adecuadamente las causas o amenazas y cuando el grupo de trabajo solo se enfoca en los controles de mitigación o solo de prevención, muchas veces en la elaboración del diagrama se hace una inadecuada estimación del riesgo, Según el trabajo presentado se logró evidenciar que al implementar la metodología Bow Tie se redujo significativamente los accidentes

Volcan Compañía Minera y su unidad minera San Cristóbal, registró cero pérdidas humanas a lo largo de los últimos tres años, (2021,2022,2023).

Para el año 2023, el índice de accidentabilidad (TRIFR) se redujo a 1.9, el índice de frecuencia de tiempo perdido por accidentes (LTIFR) disminuyó a 0.7 y el índice de severidad de accidentes incapacitantes (DISR) creció levemente a 112.

Asimismo, los eventos con alto potencial de riesgo (HPRI) se acortaron de 3 a

1, las situaciones de casi accidentes (NMRI) ascendieron a 33, los actos subestándares se aminoraron a 11,893 y las actitudes proactivas de seguridad pasaron a 10,443.

Como consecuencia de los resultados obtenidos en gestión de seguridad, San Cristóbal fue considerada una de las unidades mineras subterráneas más seguras del 2022, según el vicepresidente de Operaciones,

San Cristóbal registro un índice de frecuencia (IF) para el año 2023, menor a 2, un índice de severidad (IS) inferior a 50, un índice de accidentabilidad (IA) tendiente a 0 y sobre todo ningún accidente mortal el año 2023.

De esta forma, los logros alcanzados en salud y seguridad laboral se deben al programa Trabajo Seguro dentro del cual está la implementación del diagrama Bow Tie y al compromiso del personal de Volcan Compañía Minera, Además, mantener la disciplina en los procesos de aseguramiento y auditoría de los protocolos de peligros y riesgos, optimizar la calidad de la investigación de eventos y garantizar un proceso objetivo para la aplicación de gestión de consecuencias.

CONCLUSIONES

- Como conclusión general, con la implementación del diagrama bow tie se logró reducir significativamente los accidentes en la Unidad minera San Cristóbal- Volcán Compañía minera S.A.A, ya que antes de la implementación del Bow tie, se tubo 1 accidente fatal en el año 2020, posteriormente para los siguientes años siguientes no se tuvo ni un accidente fatal. Los trabajadores indican que en el diagrama Bow tie se puede visualizar los riesgos de manera más didáctica y esquemática que en el IPERC base.
- Primera Conclusión específica, las operaciones unitarias del ciclo de minado son las actividades donde más accidentes mortales han ocurrido en las unidades mineras, siendo el desprendimiento de roca el riesgo que más fatalidades género, El análisis de accidentes usando la metodología Bow tie nos ha permitido identificar sistemáticamente peligros y riesgos en las actividades.
- Segunda Conclusión específica, con la implementación de la metodología de análisis de riesgo Bow tie, en los años 2021 y 2022 no se registró ni un accidente fatal en la unidad minera San Cristóbal
- Tercera Conclusión específica, con la implementación del diagrama bow tie para el año 2021, el índice de accidentabilidad (TRIFR) se redujo a 1.9, el índice de frecuencia de tiempo perdido por accidentes (LTIFR) disminuyó a 0.7 y el índice de severidad de accidentes incapacitantes (DISR) creció levemente a 112.
- Cuarta conclusión específica: concluye que hay una disminución significativa en los High potencial risk incident (HPRI), mientras que en los años 2018 y 2019 se tuvieron 3 y 2 respectivamente, mientras que para el año 2020 se redujo a 1.

RECOMENDACIONES

- El diagrama debe ser ejecutado por una persona o un grupo que tenga un nivel apropiado de comprensión práctica de las causas y consecuencias de los eventos relevantes. Es ideal la participación en el taller Bow Tie del máximo representante operativo del área (dueño del proceso).
- Se recomienda promover la difusión del bow tie a todos los trabajadores según el puesto de su trabajo.
- Claramente el riesgo mayor presente en las operaciones unitarias del ciclo de minado es la caída de rocas por lo tanto se recomienda capacitar al personal en los controles preventivos que se eligieron, ya que una mala gestión y la no implementación de los controles relacionados a este riesgo podría ocasionar accidentes fatales.
- Se recomienda asignar dueño de los controles críticos a los máximos representantes de los niveles de la organización, así la gestión del control crítico será más eficaz.
- Se recomienda capacitar en Seguridad constantemente a los trabajadores que realizan actividades de perforación, voladura de rocas, así como también en sostenimiento, pues estos trabajos son los más peligrosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alata Orconi, R. (2023).** *“Aplicación de la Metodología BOW TIE para la reducción de.*
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO , Cusco.
- Ames Arredondo, C. A. (2021).** *Aplicación de la gestión de controles críticos con la.*
FACULTAD DE INGENIERÍA, Universidad Continental, Huancayo, Junin, Perú .
- Arroyo Lavado, F. M. (2022).** *“IMPLEMENTAR CONTROLES APLICANDO LA.*
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, Junin, Perú .
- BALMACEDA FLORES, C. A. (2018).** *METODOLOGÍA BOWTIE EN IDENTIFICACIÓN,*
EVALUACIÓN. FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA,
UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS, Lima, Perú . Obtenido de
<https://hdl.handle.net/20.500.12990/3642>
- BSG Institute. (2018).** *MPLEMENTADOR LÍDER EN SISTEMAS INTEGRADOS DE*
GESTIÓN ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 AONLINE 2018 I LIMA. Obtenido de
BSG [Institute.com:](https://www.bsginstitute.com)
<file:///E:/Sistema%20de%20gestion/diplomado%20SGI/ISO%2045001/C1S1.pdf>
- DECRETO SUPREMO Nº 055-2010-EM. (22 de 08 de 2010).** *Decreto Supremo que*
aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas.
Obtenido de normas legales, Diario Oficial el Peruano.
- ESCUELA EUROPEA DE EXCELENCIA. (2020).** *Herramientas en la gestión de riesgos:*
modelo bowtie, matriz de riesgos y árbol de decisiones. Obtenido de
[escuelaeuropeaexcelencia.com:](https://www.escolaeuropeaexcelencia.com)
<https://www.escolaeuropeaexcelencia.com/2020/03/herramientas-en-la-gestion-de-riesgos-modelo-bowtie-matriz-de-riesgos-y-arbol-de-decisiones/>
- ESG Innova. (2024).** *Prevención de Accidentes Laborales: Cómo Identificar y Mitigar*
Riesgos. Obtenido de [https://www.esginnova.com/:](https://www.esginnova.com/) <https://www.nueva-iso-45001.com/2024/02/prevencion-de-accidentes-laborales-como-identificar-y-mitigar-riesgos/>

- GRUPO VITAL. (2022).** *¿Qué son los Exámenes Médicos Ocupacionales?* Obtenido de <https://www.grupovital.com.pe/examenes-medicos-ocupacionales/>
- HSEC Consulting. (2019).** *CURSO IDENTIFICACIÓN Y MONITOREO DE CONTROLES CRÍTICOS DE RIESGO – METODOLOGÍA BOW TIE.* (J. E. Jimenez Baeza, Ed.)
- HSETools. (s.f.).** *Que es IPERC y para qué sirve.* Obtenido de <https://hse.software/2025/01/14/que-es-iperc-y-para-que-sirve/>
- HSETools. (s.f.).** *Qué es la jerarquía de controles de seguridad laboral y cómo ayuda a gestionar mejor los riesgos.* Obtenido de <https://hse.software/2022/07/25/que-es-la-jerarquia-de-controles-de-seguridad-laboral-y-como-ayuda-a-gestionar-mejor-los-riesgos/>
- Instituto de la Calidad Ambiental. (2020).** *Permiso Escrito para Trabajos de Alto Riesgo (PETAR).* Obtenido de <https://institutoambiental.pe/que-es-permiso-escrito-para-trabajos-de-alto-riesgo-petar/>
- Leedeo Engineering. (2021).** *El método bow-tie y las barreras de seguridad para la modelización de riesgos en la Ingeniería RAMS.* Obtenido de <https://www.leedeo.es//bow-tie-ingenieria-rams/#:~:text=El%20bow%2Dtie%2C%20contiene%20ocho,preventivas%20y%20barreras%20de%20recuperaci%C3%B3n.>
- Lozano Condor, A. P., & Perez Huaynalaya, J. L. (2021).** *Implementación de la metodología BOW TIE para.* Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Continental, Huancayo, Junin, Perú .
- Muñoz Arjona, A. (2021).** *Aplicación de la herramienta BOW-TIE para la identificación y gestión de los riesgos.* Dpto. Ingeniería Química y ambiental, Sevilla.
- OIT. (s.f.).** *Sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo* *Internacional del Trabajo.* Obtenido de Organización internacional del trabajo : <https://www.ilo.org/es/temas/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/sistemas-de-gestion-de-la-seguridad-y-la-salud-en-el-trabajo#1>

Osinergmin. (s.f.). *Análisis de Trabajo Seguro en Plantas Envasadoras de GLP.* Obtenido de

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/hidrocarburos/Documentos/Almacenamiento/Documentos-Tecnicos/Almacenamiento-DT-Manual-Elaboracion-ATS-PE-GLP.pdf

Panorama Minero. (08 de 07 de 2021). <https://www.panorama-minero.com/es/contact>.

Obtenido de Minería subterránea para principiantes: <https://www.panorama-minero.com/es/news/mineria-subterranea-para-principiantes>

PS&M. (2021). *psymingenieria.com.* Obtenido de Análisis de Riesgo de Procesos (PHA),

BOW-TIE: <https://psymingenieria.com/seguridad-procesos/analisis-riesgo-procesos-pha/bow-tie/>

Ramírez Arevalo, L. (2013). *ciclo de minado subterraneo.*

RIMAC Seguros y Reaseguros. (2025). "ANÁLISIS DE SEGURIDAD EN EL TRABAJO".

Obtenido de <https://prevencionlaboralrimac.com/Herramientas/ATS>

safetyculture. (8 de febrero de 2024). *¿Qué es un equipo de protección personal?*

Obtenido de <https://safetyculture.com/es/temas/seguridad-sobre-el-equipo-de-proteccion-personal/>

SafetyCulture. (2025). *Por qué la gestión de riesgos es importante para las organizaciones.* Obtenido de safetyculture.com:

<https://safetyculture.com/es/temas/gestion-de-riesgos/>

Tema Litoclean S.A.C. (2019). *El rol del Bow Tie en la.* Obtenido de Tema Litoclean grupo

: https://www.tema.com.pe/media/pdf-talleres-seguridad/1.-tema_juan-chaw-rev-0.pdf

Unifikas. (24 de abril de 2023). *CYC, consultora tecnológica.* Obtenido de unifikas:

<https://www.unifikas.com/es/noticias/sistema-de-gestion-que-es-y-por-que-es-tan-importante>

Velandia, Mateo, M. E., & Vargas Jimenez, S. (2022). PROPUESTA DE UN PLAN DE

GESTIÓN DE RIESGO EN EL CENTRO DE. *PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO EN EL CENTRO DE.* FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogota D.C. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9033>

Volcan Compañía Minera S.A.A. (2020). *INDUCCIÓN DE INGRESO PERSONAL NUEVO- INGRESO TEMPORAL ANEXO 04.* Obtenido de file:///E:/Sistema%20de%20gestion/todo/Nueva%20carpeta/INDUCCION_ANEXO_04_-_VOLCAN_2020.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Tabla 43

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO Y METODOLOGIA
GENERAL	GENERAL	GENERAL	DEPENDIENTE		Tipo La investigación se considera de tipo cualitativa descriptiva, analítica Nivel de investigación Correlacional -longitudinal
¿Se podrá implementar una metodología para el análisis, evaluación y control de riesgos que sea flexible, dinámico y de fácil entendimiento en sustitución de la metodología actual, en la unidad minera San Cristóbal?	Implementar una metodología en el cual se pueda realizar el análisis, evaluación y control de riesgos para la prevención de accidentes, que sea flexible, dinámico y de fácil entendimiento para toda la organización, sustituyendo así a la metodología actual en la unidad minera San Cristóbal.	Con la implementación adecuada de la metodología BOW TIE, se realizará el análisis, evaluación y control de riesgos para la prevención de eventos no deseados, además de ser flexible, dinámico y de fácil entendimiento para toda la organización	IMPLEMENTACION DEL METODO BOW TIE	<ul style="list-style-type: none"> • Causas y/o amenazas • Controles preventivos • Evento top • Consecuencias o impactos • Controles de mitigación 	
ESPECIFICO	ESPECIFICO	ESPECIFICO	INDEPENDIENTE		POBLACION Y MUESTRA
¿Se tiene identificado una metodología que nos ayude con el análisis de los riesgos que podrían generar una fatalidad en las en las operaciones unitarias de ciclo de minado en la U.M San Cristóbal?	Identificar una metodología en el que se realice el análisis de los riesgos que podrían generar una fatalidad en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal	La metodología de análisis de riesgos BOW TIE nos brinda una manera de analizar los riesgos minuciosamente el cual contribuye a la prevención de accidentes fatales, eventos no deseados en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal	Accidentes en las Operaciones unitarias del ciclo de minado	Accidentes en las: <ul style="list-style-type: none"> • O.U Perforación • O.U Voladura • O.U Carguío y transporte • O.U Ventilación • O.U. Sostenimiento 	
¿se tiene identificado una metodología que nos ayude con la evaluación de las causas comunes y amenazas que contribuyen a la ocurrencia y repetición de eventos no deseados en la U.M San Cristóbal?	Identificar e implementar una metodología que nos ayude en la evaluación de las causas comunes y amenazas que contribuyen a la ocurrencia y repetición de eventos no deseados en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal	La metodología bow tie en su diagrama nos brinda una manera de evaluar cuáles son las causas comunes y las amenazas que contribuyen a la ocurrencia y repetición de eventos no deseados en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal			

<p>¿Se tiene identificado una metodología que nos ayude a implementar y gestionar los controles críticos de prevención y mitigación en el caso que ocurra un evento no deseado en la U.M San Cristóbal?</p>	<p>Identificar e implementar una metodología en el que se pueda controlar y gestionar controles críticos para la prevención de eventos no deseados y controles de mitigación en caso ocurriera un evento catastrófico en cada una de las operaciones unitarias del ciclo de minado en la unidad minera san Cristóbal</p>	<p>El control y gestión de los controles críticos de prevención y mitigación es una tarea en el que la metodología BOW TIE en su diagrama nos brinda La facilidad de gestionar y controlar cada uno de ellos, esta acción evitara eventos no deseados.</p>			<p>Muestra: Todas las labores mineras donde se realizan las operaciones unitarias de ciclo de minado en la unidad minera San Cristóbal</p>
<p>¿se podrá implementar una metodología que nos ayude a prevenir eventos no deseados que sean de fácil entendimiento, flexible y dinámico en la U.M San Cristóbal ¿</p>	<p>Implementar una metodología que nos ayude en la prevención de eventos no deseados que sea de fácil entendimiento flexible y dinámico para toda la organización.</p>	<p>El método bow tie por su diagrama en forma de un corbatín es el más adecuado para que toda la organización de la unida minera san Cristóbal lo entienda fácilmente por ser muy dinámico y flexible.</p>			

Nota: Elaboración propia

Anexo 2. Marco contextual

Generalidades Volcán Compañía Minera S. A. A.- U.M. San Cristóbal

Ubicación.

La Mina San Cristóbal, que es parte de la Unidad Económica Administrativa Yauli, está ubicada en la región suroeste del Distrito de Yauli, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, en Perú. Se encuentra en el extremo oriental de la Cordillera Occidental de los Andes centrales de Perú, a una distancia de unos 110 km en línea recta desde la ciudad de Lima. Sus altitudes oscilan entre los 4150.00 y 4,700.00 metros sobre el nivel del mar.

Coordenadas UTM

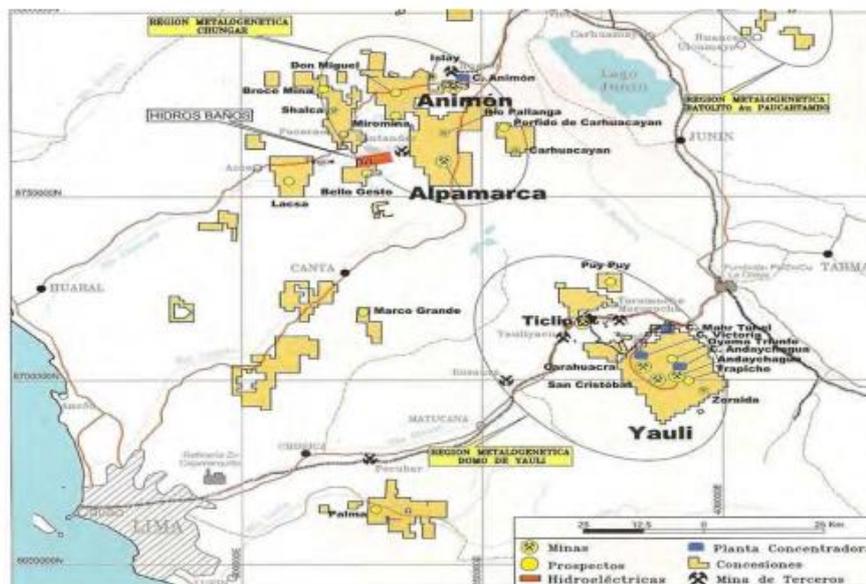
Zona 18 L

Norte: 8 780 225,37 m

Este: 344 384, 38 m

Elevación: 4700 msnm

Imagen: Ubicación de la U.M San Cristóbal



Fuente: Tomado del área de planeamiento de Volcán Compañía Minera S.A.

Accesibilidad.

Para llegar a la Mina San Cristóbal desde la ciudad de Lima, se sigue la Carretera Central que va hacia La Oroya y luego se continúa por un tramo de 20 kilómetros que

conduce a San Cristóbal. Además, el ferrocarril central tiene una estación en Yauli, a 12 kilómetros de la zona. El tiempo promedio de viaje en esta ruta mencionada es de aproximadamente 4 a 6 horas, aunque puede variar dependiendo de las condiciones del clima y el tráfico en la carretera.

Antecedentes de Mina

El proyecto minero San Cristóbal es una de las operaciones de la empresa minera Volcan S.A.A., que forma parte de la unidad minera Yauli. La historia de este distrito minero se remonta a varios años atrás, con los primeros trabajos geológicos realizados por la compañía Cerro de Pasco Corporation entre 1928 y 1930, seguidos por Centromín-Perú y posteriormente Volcán Compañía Minera S.A.A. En ese período, Cerro de Pasco Corporation realizó labores de exploración en concesiones arrendadas, pero debido a los bajos precios del plomo y zinc en el mercado mundial, la exploración y desarrollo se postergaron hasta 1936. Entre los años 1936 y 1938, tras utilizar las reservas previamente calculadas, se construyó la Planta Concentradora de Mahr Túnel, se instaló un tendido de cables de 12 kilómetros para conectar Mahr Túnel con San Cristóbal y, al final de 1938, se inició la producción de manera sistemática. Debido a fluctuaciones en los precios de los metales en el distrito, hubo una pausa en 1949 que se prolongó hasta 1952. A partir de ese año, la explotación de minerales de cobre, plomo, zinc y plata se llevó a cabo de forma constante. En agosto de 1967, la Planta de Concentración de Tungsteno comenzó a procesar este mineral, pero en agosto de 1984 se interrumpió dicho proceso. Desde octubre de 1997, la Compañía Volcan Minera S.A.A. tomó el control de la mina y comenzó a transportar el mineral a la fábrica Victoria. San Cristóbal opera un sistema subterráneo de extracción mineral con una planta concentradora llamada Victoria. Este distrito minero, reconocido a nivel mundial, presenta mineralogías relacionadas con sistemas epitermales polimetálicos, cuerpos de sustitución, vetas polimetálicas, así como mineralización en pórfidos y skarns. Estas características indican un gran potencial en la zona minera.

En sus comienzos, el campamento San Cristóbal funcionó como un establecimiento

temporal, enfocado en la obtención de minerales de las minas ya existentes. Por lo tanto, su continuidad depende de que la extracción de minerales continúe siendo lucrativa. San Cristóbal tiene sus raíces en el período de la colonia durante los siglos XVII y XVIII, época en la que los españoles ascendían montañas en la búsqueda de plata y oro. De esta manera, llegan a estos sitios tan áridos, dejando como recuerdo una cruz de piedra en la cumbre de un cerro a la que llamaron Rumicruz, como un signo de hallazgo, para posteriormente asignarle el nombre de un santo, San Cristóbal, que se transforma en el santo patrón de la localidad, encargado de proteger a los habitantes y, por consiguiente, los depósitos mineros hallados. Hasta ese momento, era propiedad de la Cerro De Pasco Coper Corporación, para posteriormente convertirse en el núcleo minero de Perú.

Aspectos geológicos

Geología Regional.

Los recursos mineros de San Cristóbal están íntimamente vinculados a su geología, por ende, su análisis y entendimiento nos proporcionará una perspectiva más extensa del área minera en análisis.

Las Unidades Económicas Administrativas de Yauli están situadas al Este de la Cordillera de los Andes Centrales de Perú, al Este de la línea divisoria continental, con una altitud media de 4150 - 4 700 metros sobre el nivel del mar.

La región se distingue por un notable cambio de formas geológicas que han establecido una topografía suave y rápida. En el valle del río Yauli, la topografía se extiende considerablemente, generando llanuras con grandes dimensiones, particularmente en las proximidades de la Planta Concentradora de Mahr Túnel.

En la región, la morfología muestra pendientes suaves y irregulares (35o a 48o), en áreas rocosas. El Domo de Yauli (DY) es la estructura regional predominante, extendiéndose longitudinalmente por 35 Km. Desde SuitucanCHA hasta el norte de Ticlio en un trayecto transversal de 10 a 15 kilómetros; la orientación media de esta estructura es N40°W, es asimétrico, su lado oriental mide entre 30° y 40°, mientras que su lado

occidental mide entre 45° y 70°. El Domo Yauli, a nivel transversal, se compone de tres anticlinales: el anticlinal de Pomacocha en la parte oeste, el anticlinal de San Cristóbal - Morococha en la zona central y el anticlinal de Ultimátum en la parte este.

El distrito minero de San Cristóbal se encuentra en el sector suroeste de una extensa estructura regional del Domo, que incluye prácticamente completamente los distritos de Morococha, San Cristóbal y Andaychagua. Inicialmente, esta estructura se llamó Complejo Domal de Yauli, pero en la actualidad se conoce como Domo de Yauli y simboliza una ventana de formaciones Paleozoicas en el interior de la faja intracordillerana de formaciones Mesozoicas. El Paleozoico consta de dos estratos, uno inferior compuesto por el grupo Excélsior y otro superior por el grupo Mitu; el Excélsior está presente en la región oeste del Domo y en el anticlinal de Ultimátum hacia el Este; mientras que el Mitu se encuentra presente en la mayoría del Domo.

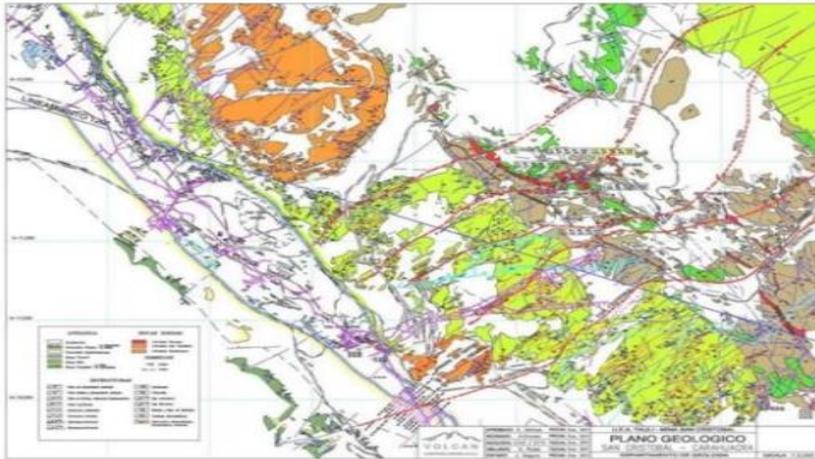
Las rocas presentes en el campo de estudio pertenecen a edades que van desde el Paleozoico Inferior, el Cretáceo Medio, el Terciario y los depósitos del Cuaternario. Los Intrusivos de composición intermedia y básica han cortado completamente la secuencia estratigráfica del anticlinal de Chumpe, originando la mineralización. Esta se manifiesta tanto en el núcleo y los flancos del pliegue de Chumpe como en la reposición de capas calcáreas en el flanco Occidental de la misma estructura.

Las fracturas y fallas transversales al Domo de Yauli fueron relevantes estructuralmente para los depósitos de tipo vetas y cuerpos que se encuentran en fallas habituales con orientación general hacia el Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste, respectivamente.

El Domo de Yauli se compone de rocas sedimentarias cuyas edades varían entre el Paleozoico inferior y el Cretácico Medio, dispuestas en una serie de anticlinales y sinclinales con ejes casi paralelos. De esta manera, los depósitos minerales de San Cristóbal y Carahuacra se ubican en el conocido "Anticlinal de Chumpe", cuyo eje se alinea en dirección N° 45 o exhibe un doble ascenso hacia el Norte y hacia el Sur.

La zona del proyecto se encuentra en la estructura regional denominada como Yauli, compuesto por rocas metamórficas y volcánicas. Las filitas, que constituyen el trazo del túnel, son dos rocas claramente delimitadas: la volcánica y la metamórfica. La roca predominante en la superficie es la caliza, ubicada sobre el volcánico, que presenta fracturas moderadas y ligeramente meteorizadas, cubierta por material coluvial de espesores variados. La geoestructura del medio geológico se restringe a fallas y diaclasas de pequeña magnitud. Las diaclasas poseen una dirección Oeste-Este y sus buzamientos son verticales. La separación de las uniones oscila entre 20 y 60 cm, proporcionando al macizo rocoso una estructura de bloques de tamaño medio. El conocimiento adquirido sobre la geología superficial tiene vínculos con la geología del Túnel Victoria.

Imagen: Plano geológico estructural de la U.M San Cristóbal



Fuente: Tomada del área de Geología de la U.M. San Cristóbal

Geología del Yacimiento

Es crucial considerar la disposición y conducta de las vetas principales desde la perspectiva estructural y las modificaciones hidrotermales de sus rocas encajonantes que influirán en el sistema de minería.

Yacimientos de la Mina San Cristóbal En la mina San Cristóbal, la mineralización se manifiesta en dos formas: como relleno de fisuras que atraviesan el anticlinal de Chumpe (vetas), y como sustitución de las calizas Pucará, situadas sobre los volcánicos Catalina

(mantos). El anticlinal de Chumpe se encuentra ampliamente atravesado por fisuras perpendiculares a su eje, extendiéndose algunas desde el lado occidental hasta el lado oriental del anticlinal, mientras que otras se producen únicamente en estos dos extremos. Algunas de estas fracturas han sufrido mineralización en mayor o menor grado, sin embargo, únicamente unas pocas poseen mineralización económicamente viable, tal como sucede con la veta San Cristóbal.

Veta San Cristóbal es la formación más amplia conocida en la zona y ha sido mineralizada durante 3 kilómetros. La principal movilidad de toda la estructura ha sido regular, con un desplazamiento de cerca de 200 metros. Adicionalmente, debido a la acción rotacional, la caja inferior de la veta ha experimentado un desplazamiento en la dirección de las agujas del reloj en comparación con la caja superior de la veta. A pesar de que la estructura tiene una fractura continua, su dirección varía en función del tipo de roca, posiblemente debido a su característica (tensión o cizalla) o, en caso contrario, a una refracción de la fractura al insertarse en distintos tipos de roca. En los volcanes del flanco Occidental, la orientación es de 60°-70°SO en sentido NE. La inclinación de la veta a lo largo de toda su longitud oscila entre 45° y 60°SE. El ancho fluctúa significativamente a lo largo de toda su longitud. Estas potencias tan cambiantes podrían representar las distintas competencias de las rocas y los variados orígenes de las fracturas.

Alteración de las rocas encajonantes El cambio en la estructura de las rocas encajonantes depende del tipo de roca y de su mineralización. En las filitas, la modificación implica el desplazamiento de la veta hacia el exterior, de un área de silicificación, de caolinización y/o sericitización, y finalmente, de cloritización. La diseminación de pirita sucede conjuntamente con todas las formas de alteración. En los volcanes, la región de silicificación es escasa y la de caolinización solo mide unos metros, mientras que la región de cloritización llega a tener contacto con las filitas a unas decenas de metros.

Controles de Mineralización El control de la mineralización en la veta San Cristóbal es estructural y litológico. La falla San Cristóbal establece el control estructural, permitiendo

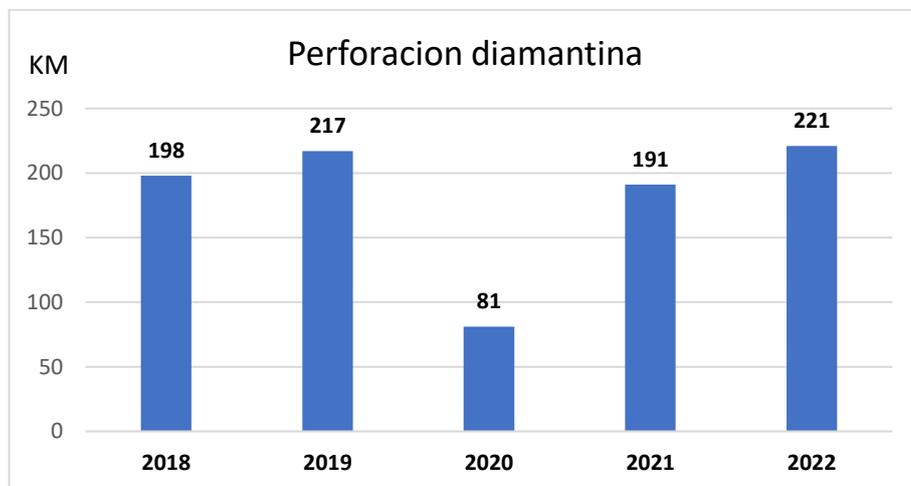
el flujo de soluciones mineralizadas. Además, las diversas reaperturas, durante la creación de la veta, originaron las distintas bandas de minerales. El control litológico se encuentra establecido por las distintas clases de rocas encajonantes a lo largo de la veta San Cristóbal, las cuales, posiblemente, han tenidas un impacto en la disposición espacial de los minerales.

Reservas y Recursos mineros

Reservas 2022

Aumento notable de metros de perforación en el 2022, superior a 36 km, en relación con el 2021, debido a un incremento en el metraje en las minas, Animon, SC-CAR y Andaychagua. La perforación se enfocó en reasignar los recursos medidos e indicados y asegurar la continuidad de la operación mediante la inclusión de nuevo recurso extraído y mineral con potencial económico.

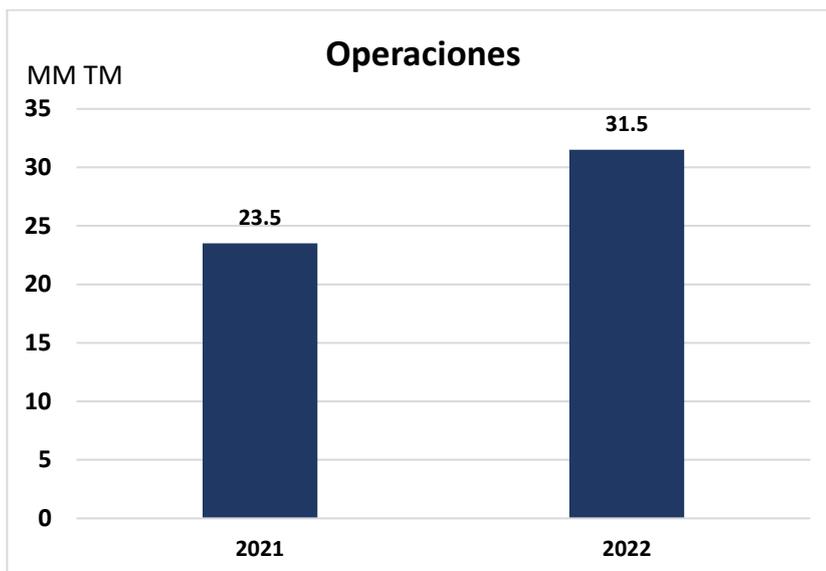
Gráfico. Reservas de las unidades mineras de Volcan



Fuente: *Volcán Compañía Minera, Junta Obligatoria Anual de Accionistas 2023*

Reservas Probadas y probables: Sumado todas las reservas de las unidades mineras de Volcan S.A, se tiene un total de 31.5 MM TM para el año 2022.

Gráfico: Reservas probadas y probables



Fuente: Volcán Compañía Minera, Junta Obligatoria Anual de Accionistas 2023

Aumento de +34% respecto al 2021. En las unidades de San Cristóbal y Carahuacra se tuvo un aumento de + 0.2 MM TM

Recursos

Recursos medidos e indicados 2022:

Las unidades mineras de Volcan suman un total de 149.4 MM TM

Gráfico: Recursos medidos e indicados de las unidades mineras de volcán

152.1MM TM		149.4 MM TM	
82.2		82	
		Proyectos	
		operaciones	
Año 2021		Año2022	
Recursos medidos e indicados			

Fuente: Volcán Compañía Minera, Junta Obligatoria Anual de Accionistas 2023

Se tuvo una disminución de -2.7 MM TM comparando con el año 2021. En las unidades mineras de San Cristóbal y Carahuacra se tuvo una disminución de -3.26 MM TM

Recursos inferidos

Las unidades mineras de Volcán suman un total de 321.0 MM TM para el año 2022

Gráfico: Recursos inferidos totales de las unidades mineras de volcán

294.6MM TM	321.0 MM TM	
175.6	202.9	Proyectos
		operaciones
Año 2021	Año 2022	
Recursos inferidos		

Fuente: Volcán Compañía Minera, Junta Obligatoria Anual de Accionistas 2023

Se tuvo un incremento de +26.4 MM TM comparando con el año 2021. Mientras que en las unidades mineras de San Cristóbal y Carahuacra se tuvo una disminución de - 1.06 MM TM

Características geomecánicas del yacimiento

De acuerdo a sistemas GSI, RMR y Q, La siguiente tabla presenta el tipo de apoyo por estructuras, fundamentado en las reservas mineralizadas de la mina San Cristóbal.

Tabla: Características geomecánicas de U.M San Cristóbal

GSI	Estructura	Veta	Split	veta	Lidia
	722	658	658		
	C. Piso	40	29	36	39
	C. techo	41	28	35	40
	Veta	23	17	27	38
	<i>Calidad</i>	<i>Regular-</i>	<i>Mala</i>	<i>Regular</i>	<i>Mala</i>
	<i>Roca</i>	<i>pobre</i>		<i>-pobre</i>	
RMR	Estructura	Veta	Split	veta	Lidia
	722	658	658		
	C. Piso	45	35	40	34
	C. techo	45	34	42	33

	Veta	28	22	32	35
	<i>Calidad</i>	<i>Regular</i>	<i>Mala</i>	<i>regular</i>	<i>Mala</i>
	<i>Roca</i>	<i>- mala</i>		<i>-Mala</i>	
Q	Estructura	Veta	Split	veta	Lidia
		722	658	658	
	C. Piso	3.75	2.7	4.8	1.38
	C. techo	3.74	2.71	4	1.36
	Veta	0.6	1.95	2.3	1.37
	<i>Calidad</i>	<i>Mala</i>	<i>Mala</i>	<i>Mala-</i>	<i>Mala</i>
	<i>Roca</i>			<i>Regular</i>	

Fuente: Tomado del área de geomecánica de U.M San Cristóbal

De acuerdo a la calidad de la roca el sostenimiento se realiza con shotcrete y pernos.

Operaciones mina

Minera San Cristóbal emplea tecnología de vanguardia en el sector minero. La mineralización de la mina es extensa, la ley es baja y es polimetálica, por lo que se utiliza el método de explotación de taladros largos y corte y relleno ascendente. Las operaciones unitarias garantizan el suministro de mineral dentro de los límites definidos para lograr la eficiencia en las operaciones.

Capacidad de producción

La mina San Cristóbal está situada en la Provincia de Yauli, en el Departamento de Junín, a una altura de 4700 metros sobre el nivel del mar. En un principio, las actividades de Volcan se limitaron a las minas Carahuacra, San Cristóbal y Ticlio, un grupo de 30 concesiones que vendían su mineral a la concentradora Mahr Túnel, en aquel entonces propiedad de la compañía de capitales estadounidense Cerro de Pasco "Copper Corporation", la cual fue despojada por el gobierno militar a principios de los años 70. Sus

actividades ocurren en cuatro áreas: Zona Alta, Zona Lidia. Los equipos de lanzamiento Alpha 20 de la marca Normet se encuentran distribuidos en Zona Baja y Carahuacra, donde se realizan tareas como frentes, breasting y resane.

Características de minado

- Antigüedad 71 Años
- Profundidad 1.17 km
- Mina Polimetálica Zn, Pb, Ag, Cu.
- Explotación Subterránea
- Método de Explotación C y RA y Sub Level Stopping
- Producción Mineral Anual 1'532,000 TMS.
- Producción Diaria 4,500 TM.
- Tonelaje de mineral tratado 4200 tpd.
- Recuperación alcanzada Zn: 92.7% y Ag 83.6%
- Avances Anual 28'800 m (Horiz y Vert)
- Perforación Anual 57'890 DDH
- Costo de Operación 32.7 US\$/t

Método de Explotación

El promedio de producción de la mina San Cristóbal es de 4,350 tm/día, con leyes proyectadas de 6.42 % de Zn, 1.01% de Pb, 4 Onzas de Ag y 0.15 % de Cu. La concentradora de la mina Andaychagua procesa el mineral de cobre para su concentración, en tanto que el resto de los minerales son procesados en la planta concentradora de Victoria y Marhr Túnel para su procesamiento.

La Mina San Cristóbal utiliza dos técnicas de extracción, la de hundimiento de subniveles cortos y la de corte y relleno ascendente, conocida como Veta, Manto o cuerpo. Para cubrir las fisuras generadas por la extracción del mineral, se emplea el relave obtenido de la planta concentradora, previamente clasificado en ciclones. Además, se utiliza el desmonte proveniente de sus desarrollos y exploraciones.

Para la aplicación de estos métodos se emplea equipos mecanizados, la perforación se realiza con jumbo electro hidráulico, acarreo con Scooptram y el transporte se realiza con Dumper y camiones volvos, el sostenimiento se realiza en un 80% en forma mecanizada empleando equipos robotizados (Hurón, Manba). Se viene realizando una variante en el método de explotación en casi todos los niveles se viene optando por el método de hundimiento de 85 subniveles con bancos de ocho metros, el cual se encuentra en la etapa de preparación de sub-Niveles, en este método se tiene que ejecutar dos rampas las cuales están distanciadas en trescientos metros y de ellas salen brazos o accesos para desarrollar los subniveles de explotación los cuales son ejecutados en mineral. (Méndez Huayta, 2012)

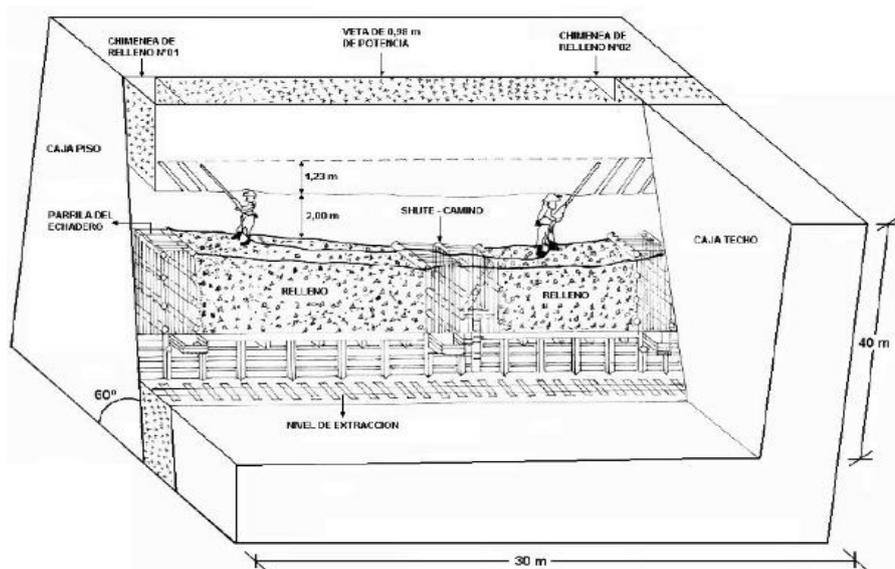
Por lo tanto, en San Cristóbal se han determinado dos métodos de minado:

- Método de Tajeo por Subniveles “Sublevel Stopping”.
- El método Corte y Relleno Ascendente u Over Cut and Fill (OCF)

1. Método de corte y relleno ascendente: Denominado como “Over Cut and Fill” es el más recomendable para el minado de vetas, mantos y en general estructuras mineralizadas cuyos ángulos de desplazamiento superen al de reposo del material fragmentado que albergen. La importancia de la implementación de este procedimiento en San Cristóbal radica en la perforación horizontal (breasting), o sea, tras un corte, se pasa a la fase del relleno detrítico e hidráulico, dejando un espacio libre para el corte superior.

El procedimiento implica efectuar cortes horizontales a través de un acceso que comienza con un gradiente negativo (-15%) y concluye con un gradiente positivo (+15%), y que se encuentran perpendiculares a la estructura mineral. La preparación comienza con la edificación de rampas largas o en espiral; usualmente estas se edifican hacia el nivel inferior de la estructura mineralizada. Desde las rampas surgen los By passes paralelos a las vetas, y de esta infraestructura surgen los accesos que están distanciados 100 metros, lo que posibilita tener espacios de 50 metros de longitud para cada sección (este y oeste).

Imagen: Esquema de minado corte y relleno ascendente

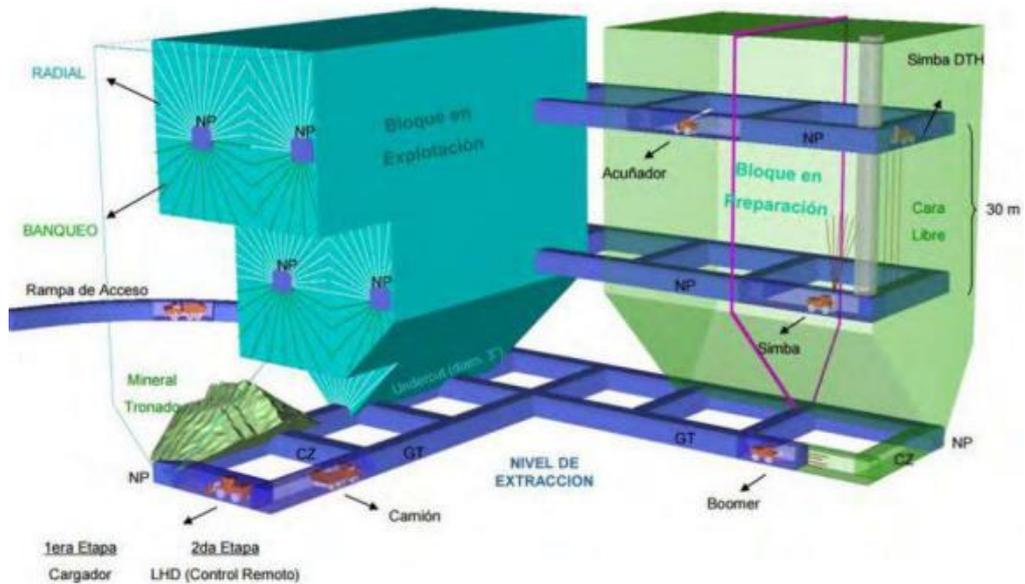


Fuente: Tomado "Minsus.net", 2024

2. Método de tajeo por subniveles con taladros largos: Este procedimiento, también conocido como "Sublevel Stopping" (SLS), implica segmentar el cuerpo mineral en áreas adecuadas para el laboreo y extraer el mineral de los subniveles de explotación a través de disparos realizados en planos verticales, con taladros paralelos y radiales. Luego, el tajeo queda vacío tras la explotación. Los subniveles se dirigen sobre la estructura, proporcionando acceso para la limpieza y perforación de los taladros de longitud que oscilan entre 15 y 25 metros.

Los bancos de minado varían entre 10 y 13.5 metros, y la perforación y el carguío deben llevarse a cabo previamente al diseño del área de Planeamiento. El procedimiento es ascendente y se asemeja al "bench and fill" o AVOCA, que emplea relleno detrítico para los desarrollos y preparaciones, el cual se vierte desde el subnivel superior a medida que se progresa con el minado. Es un procedimiento en masa que demanda un gran control operativo para prevenir diluciones excesivas, no se aconseja llevarlo a cabo en vetas muy estrechas y con escaso desplazamiento.

Imagen: Esquema de minado Sub level stoping



Fuente: Universidad de Chile

Operaciones unitarias del ciclo de minado en U.M San Cristóbal

Perforación

En el proceso de minería subterránea, se emplea la perforación para adelantar los frentes de explotación, además de la edificación de chimeneas y piques. Esta operación se lleva a cabo en condiciones húmedas para preservar la calidad del aire, reduciendo así el peligro de padecer enfermedades laborales.

Guevara-Bustamante. (2013) menciona que “Es una plataforma móvil, en donde todas las herramientas de perforación como sus operadores van montados sobre esta, permitiendo que la barrenación se realice simultáneamente en todas las perforadoras mediante taladros horizontales, verticales o inclinados, gracias a unos brazos articulados movidos por gatos hidráulicos pueden adoptar todas las posiciones. Pueden ir montados sobre llantas de hule o sobre orugas, y si es necesario sobre rieles Utilización: Rampas, Minas, túneles y galerías. Tiros de ventilación y Perforaciones mineras subterráneas”. En la unidad minera de San Cristóbal, se lleva a cabo la perforación en frentes utilizando equipos Jumbo de un solo brazo y la perforación en tajos utilizando equipos Zimba (Taladros de longitud amplia).

El jumbo alude a una máquina de perforación que posee uno o varios martillos

perforadores sujetos a brazos hidráulicos, donde pueden ser instalados un martillo de perforación o una cesta donde pueden ubicarse uno o dos trabajadores, permitiendo así el acceso a cualquier zona del frontal. Se trata de una máquina creada para llevar a cabo tareas subterráneas de manera rápida y automatizada: desarrollo de túneles y galerías, bulonaje y perforación transversal, banqueo con barreras horizontales y minería de corte y relleno, entre otras. Normalmente, el sistema de transporte de los jumbos se realiza de manera autónoma por medio de un tractor apoyado en neumáticos, cadenas o carriles, aunque hay modelos que se mueven con remolque, aunque hay modelos que se mueven con remolque. Cuando operan, se estacionan y su funcionamiento es eléctrico, aunque podrían contar con un motor diésel para su movimiento. Los martillos perforadores utilizan hidráulicos para alcanzar potencias superiores a las de los neumáticos, operando en modo de rotopercusión: la barrena rota constantemente, provocando simultáneamente un impacto en el fondo del taladro. Es necesario suministrar agua para arrastrar los desechos y refrigerar la boca de perforación.

Imagen: Perforadora jumbo de 1 brazo



Fuente: Tomado de "Epiroc" /<https://www.epiroc.com/>

Imagen: Equipo perforadora simba



Fuente: Tomado de "Epiroc", /<https://www.epiroc.com/>

Voladura

Esta metodología implica la realización del empleo de explosivos en las perforaciones realizadas en la roca, en las que luego se ubican explosivos para su detonación, a través de una mecha lenta. El nitrato de amonio con petróleo (ANFO), GUIA, guía blanca, mecha rápida y como cebo, la dinamita de 45 (EXSA). El trazo de la malla perforadora afecta la fragmentación del mineral, además de la densidad de la carga explosiva, la secuencia de inicio y otros factores. El FANEL es un sistema de inicio eficiente para la minería subterránea, superficial y obras civiles, brindando las ventajas de sincronización segura, suprimiendo cualquier riesgo de conexiones incorrectas.

El FANEL está formado por los siguientes componentes:

Fulminante de retardo: Consiste de un Fulminante N° 12 que contiene en su interior un explosivo primario muy sensible, uno secundario de alto poder explosivo y un elemento de retardo de acuerdo a su número de serie, que permite detonarlo a diferentes intervalos de tiempo. Para ello se ofrece al mercado dos (2) escalas: período corto y período largo. (MS y LP)

Manguera Fanel o tubo de choque: Fabricado con materiales termoplásticos de alta resistencia mecánica, la cual en su interior está uniformemente cubierto por una sustancia

reactiva que al ser activada conduce una onda de choque cuya presión y temperatura son suficientes para iniciar al fulminante de retardo. En uno de sus extremos está sellado por ultrasonido y en el otro extremo ensamblado con el Fulminante de retardo. El color de la Manguera Fanel permite identificar la escala de tiempo de retardo del FANEL, así tenemos que: Para el período corto la Manguera Fanel es de color rojo o naranja. (MS). Para el período largo la Manguera Fanel es de color amarillo. (LP).

Etiqueta: Indica el número de serie y el tiempo de retardo en milisegundos o segundos. Adicionalmente, tenemos un código de barras que permite la trazabilidad del producto. Conector plástico tipo “J”: Es un bloque plástico especialmente diseñado para facilitar la conexión y asegurar el contacto entre la Manguera Fanel y el Cordón Detonante. Adicionalmente, el color del conector plástico permite identificar el período de tiempo de retardo del FANEL, así tenemos: Para el 36 período corto el conector plástico tipo “J” es de color rojo. Para el período largo el conector plástico tipo “J” es de color azul.

Carguío y transporte

El traslado y transporte de minerales es uno de los aspectos relevantes en la estructura de costos de la operación minera, que constituyen el ciclo de minado para alcanzar los objetivos de la compañía minera. En la actividad de carguío y extracción se requiere de equipos sofisticados ya que es una de las actividades más vitales para lograr la mejora continua, para el carguío se utiliza equipos de bajo perfil con capacidad de cuchara de 6 yd³ es por ello que se utiliza los equipos LHD los cuales están diseñados para realizar trabajos en mina subterránea, estos equipos son los más sofisticados y muy cotizado a nivel mundial. Estos cargadores se encargan de extraer el mineral de los frentes y tajeos de explotación y descargan el mineral directamente en un echadero o acumulación el material en la cámara

Para el transporte de materiales se cuenta con equipos en variedades y colores de distintas capacidades por lo que es una actividad en donde se requiere de volquetes de diferentes capacidades según estándares establecidos en la unidad minera, también

dependerá de las dimensiones que se tienen en mina. En las unidades de grupo VOLCAN se realiza el carguío con equipos SCOOP de distintas capacidades y el transporte con volquetes de diferentes marcas y capacidades.

Imagen : Equipo caterpillar scoop



Fuente: Tomado del catálogo de "Caterpillar ",2024.

Transporte de mineral se realiza del interior mina a las canchas de la planta concentradora, para lo cual se trabajan con una flota de volquetes Volvos de 4 ejes. El transporte de mineral que se realiza en mina San Cristóbal se realiza tanto desde interior mina a superficie y el otro tramo desde superficie a planta. El transporte de mineral desde interior mina hacia superficie (cancha 600) se realiza con camiones de 32 TM de capacidad de 4 ejes dentro de los cuales son en numero 18 volquetes en interior mina.

Imagen: Equipo volquete Volvo



Fuente: Tomado de manual de "Volvo Group Peru", 2019

Ventilación

La Mina San Cristóbal está conformada por tres zonas de explotación denominadas: Zona Alta, Zona Baja y Zona Lidia. El circuito principal de ventilación tiene ingreso común de aire limpio para las tres zonas, siendo estos ingresos los siguientes: - Bocamina RP-300 (Nv-500) - Bocamina RP-995 (Nv-500) - Bocamina Nv-390 - Bocamina RP-578 (Nv-500) - Chimeneas varias que llegan a superficie El circuito de extracción aire viciado es independiente para cada zona. La extracción de aire viciado se realiza a través de chimeneas, las cuales tienen ventiladores de 100K-CFM, 110K-CFM y 400K- CFM. Ventiladores trabajan como extractores; la extracción para cada zona se realiza de la siguiente manera:

Zona Lidia: - RB-742, 8 pies de diámetro (Ventilador de 100K-CFM).

Zona alta: - RB-999, de 10 pies de diámetro (Dos ventiladores en paralelo de 110KCFM). - RB-206, 8 pies diámetro.

Imagen: Ventilador axial de 110K-CFM



Fuente: Productos AIRTEC / <https://www.airtec.com.pe/>

Sostenimiento

Existen diferentes tipos de elementos de sostenimiento, el uso de uno u otro tipo depende de la evaluación geomecánica, el más utilizado es el lanzado de concreto y colocación de pernos hydrabolt para lo cual se cuenta con seis equipos emperadores (Boltec y Bolter). El armado de cimbras o cuadros es otro tipo de sostenimiento cada vez menos usado en zonas de mayor inestabilidad.

Maquinarias y equipos

Equipos Trackless.

El sistema Trackless se refiere a la aplicación de equipos mecanizados de bajo perfil que se movilizan sobre llantas, los cuales están especialmente diseñados para su uso en minería subterránea. Normalmente al hablar de Trackless Mining se nos viene a la mente el uso de equipos sobre neumáticos para la limpieza y transporte; pero actualmente debemos tener presente que Trackless significa también todas las operaciones de minado, pero mecanizado desde las fases de minería, exploración, desarrollo, preparación, y explotación.

Scooptram (LHD).

Son equipos de bajo perfil, equipos pesados cuyo principal objetivo es la extracción

y transporte de mineral. Puede considerarse como un volquete articulado que está diseñado para minado de vetas angostas y ofrece alta maniobrabilidad en lugares confinados. Su alta relación potencia/peso asegura la subida veloz en rampas empinadas.

El significado de equipo LHD (Load Haul Dump), traducido al español es:

Load: Cargar una cantidad grande de material.

Haul: Transportar el material a un área específica.

Dump: Descargar la carga en un camión o en un área específica.

Imagen: Equipo Scoop o LHD



Fuente: Tomado de "Epiroc", / <https://www.cat.com>, 2024

Jumbo Empernador.

Es un equipo que se utiliza en minería subterránea, cuya aplicación se da en el sostenimiento mecanizado de rocas, cuyas secciones deben ser adecuadas para el tamaño del equipo. Hoy en día las minas modernas están en la capacidad de utilizar este tipo de equipo y así cumplir los objetivos de las empresas en cuanto a lograr mayor producción en menor tiempo y sobre todo con mayor seguridad.

Imagen: Equipo jumbo empernador



Fuente: Productos HUATAI, /<http://htdrillingmachines.com/>

Jumbo Frontonero electrohidráulico.

Un Jumbo Frontonero Electrohidráulico es un equipo de bajo perfil diseñado sobre todo para realizar trabajos en mina subterránea y en zonas confinadas debido al tamaño limitado de esta. Este equipo está diseñado para perforar frentes de avances y labores de producción (tajos). La longitud de perforación es variable. El trabajo de perforación en un frente implica que el equipo no puede ser muy grande para que pueda ingresar a las labores más pequeñas de la mina. Se diseñan especialmente para el trabajo que realizaran, tales como la perforación para avances horizontales, para cámaras y pilares, corte y relleno ascendente, perforación en Breasting y realce.

Imagen: Equipo jumbo frontonero hidraulico



Fuente: Tomado de "RESEMIN" /<https://www.resemin.com/>

Planta de tratamiento.

Planta Concentradora Victoria.

La Planta Concentradora (Victoria) se encuentra a una distancia de 4 Km de Yauli, se tiene como acceso desde la carretera central del km 18- Pachachaca. La planta concentradora a través de los años se ha incrementado el tonelaje de tratamiento gracias a la renovación de los equipos instalados inicialmente. Se detallará a continuación todo lo relacionado a la planta concentradora.

Capacidad de tratamiento

La Planta concentradora trata el 60% lo que equivale a 3200 T por día de mineral proveniente de U.E. San Cristóbal y el 40% de Carahuacra la planta tiene de capacidad 5200 TM.

Proceso metalúrgico

El proceso metalúrgico se divide en 5 fases: Chancado, molienda, flotación, filtrado y disposición de relaves.

Chancado: La recepción de mineral: El mineral proveniente de interior mina se realiza con carros de línea con capacidad de 10 TMH por cada uno y con volquetes por superficie. Se posee dos tolvas de almacenamiento de mineral grueso con capacidad de 100 TMH con una parrilla de 10" de abertura. Molienda: Molienda primaria: se tiene un molino de barras (MARCY 10.5' x 17') y molienda secundaria un molino (ALLIS CHALMERS 9.5' X 17'), un KOOPERS 9.5' X 12', cuyo producto es descargado en una bomba (MCC200), la cual envía el flujo de hidrociclón (KREBS 26 Ø) esto ayuda a la clasificación en circuito cerrado. Los finos del ciclón son enviados a flotación (Rougher I) de plomo. En el circuito de remolienda, el relave (Rougher I) de flotación de plomo se bombea al nido de 06 ciclones D-15. Con respecto a los gruesos, luego de la clasificación, son alimentados en forma paralela al molino COMESA 8' x 8' y el molino Mearcy 8' x 6' por otro lado el producto de los finos se envía a flotación Rougher II de plomo. El producto de los molinos se descarga a la bomba MCC 200, el cual es bombeado al nido de ciclones D-

15 con este proceso se cierra el circuito de molienda.

Flotación: concentradora Victoria Trata mineral que contiene mayor contenido de sulfuros de cobre, plomo, zinc y Plata. Estos sulfuros se separan mediante una flotación diferencial que sigue la siguiente secuencia, primero se flotan los sulfuros de cobre-plomo la cual tiene contenido de plata y por último se flota los sulfuros de zinc.

Planta Concentradora Marh Tunel

La Planta Concentradora Marh Tunel se encuentra ubicada a 165 km de Lima y a 22 km de la provincia de la Oroya, La planta concentradora se encuentra en el distrito y provincia de Yauli la cual empezó a operar desde 1938. Se detallará a continuación todo lo relacionado a la planta concentradora.

Capacidad de tratamiento La Planta trata mineral proveniente de San Cristóbal, Ticlio y Tajo Gavilan, con capacidad de tratamiento es de 2750 TMSD, netamente de Mina San Cristóbal recibirá 1300 tpd para el plan a largo plazo base.

Proceso metalúrgico

La Planta concentradora emplea el método de flotación selectiva o diferencial para el tratamiento de mineral, el material que ingresa a la planta es chancado y molido a una granulometría de 48% - malla 200 (75 micrones) y el proceso de flotación realiza la separación de los valores de cobre, plomo, zinc y plata mediante una pulpa acuosa por medio de burbujas que son generados por la propiedad hidrofílicas e hidrofóbicas del mineral. El proceso metalúrgico se divide en 5 fases: Chancado, molienda, flotación, filtrado y disposición de relaves