

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación del análisis de modo y efecto de falla para
controlar el ciclo de minado, Rampa 5965-SE
Unidad Minera Yauricocha**

Joseph Anthony Romero Espinoza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento sincero a los directivos de la empresa unidad minera Yauricocha por facilitarme la información y permitirme realizar la investigación para culminar con éxito esta tesis

Bach: Joseph Anthony Romero Espinoza

DEDICATORIA

Deseo brindar mis agradecimientos a mis padres, por todo el apoyo incondicional que me han brindado, a mi asesor por su guía durante todo este trabajo de investigación.

A mi hermana, impulso de sueños.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Problema general	14
1.1.2. Problemas específicos.....	14
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Justificación e importancia	14
1.3.1. Justificación	14
1.3.2. Importancia	15
1.4. Hipótesis y descripción de variables	15
1.4.1. Hipótesis general	15
1.4.2. Hipótesis específicas	15
1.4.3. Descripción de variables.....	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes del problema	17
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	17
2.1.3 Antecedentes internacionales	19
2.2. Bases teóricas	20
2.3. Información general de la unidad minera Yauricocha	64
2.4. Definición de términos básicos	70

CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	72
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	72
3.1.1. Método de investigación	72
3.1.2. Alcance de la investigación.....	72
3.2. Diseño de la investigación	72
3.3. Población y muestra	73
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	73
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.1. Resultado del tratamiento y análisis de la información	74
4.2. Prueba de hipótesis	81
4.3. Discusión de resultados	83
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modo de falla del proceso de sostenimiento	25
Tabla 2. Cuadro de puntuación de severidades del efecto de falla	26
Tabla 3. Puntuación de las ocurrencias de las causas potenciales.....	27
Tabla 4. Puntuación de la detectabilidad de la falla	28
Tabla 5. Cálculo del Burden a partir del arranque	40
Tabla 6. Distancia entre taladros.....	41
Tabla 7. Coeficiente de roca.....	41
Tabla 8. Plantilla de cálculo de Bieniawski	54
Tabla 9. Corrección por orientación de discontinuidades.....	55
Tabla 10. Orientación de discontinuidades en el túnel	55
Tabla 11. Clasificación del macizo rocoso según RMR.....	55
Tabla 12. Rutas de acceso a la unidad minera Acumulación Yauricocha	65
Tabla 13. Cálculo de los índices de NPR previo a la aplicación del AMEF	78
Tabla 14. Cálculo de los índices de NPR posterior a la aplicación del AMEF	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de elaboración del AMEF	22
Figura 2. Matriz de características especiales.....	29
Figura 3. Terreno compacto	33
Figura 4. Terreno fracturado.....	33
Figura 5. Terreno Suelto	34
Figura 6. Terreno empanizado	34
Figura 7. Formación de caras libres	35
Figura 8. Fallo por alivios de menor diámetro	37
Figura 9. Fallo por desviación de taladros.....	37
Figura 10: Fallo por intersección de taladros	37
Figura 11. Fallo por espaciamiento irregular	38
Figura 12. Falla por longitud irregular.....	38
Figura 13. Malla de perforación.....	39
Figura 14. Esquema de arranque basado en el Burden	40
Figura 15. Agrietamiento Radial	42
Figura 16. Agrietamiento radial y rotura por reflexión de la onda de choque	43
Figura 17. Preparación de cebos con detonadores comunes	47
Figura 18. Preparación de cebos con detonadores eléctricos.....	48
Figura 19. Carguío del cebo en el taladro	48
Figura 20. Código de retardos europeo de LS y DS.....	51
Figura 21. Código de retardos americanos de LD y SD	51
Figura 22. Secuencia de salida en voladura subterránea	52
Figura 23. Secuencia de salida con corte al piso	52
Figura 24. Orientación de la excavación acorde a la discontinuidad	55
Figura 25. GSI modificado (Vallejo, 2002).....	56
Figura 26. Excavación con avance favorable a las discontinuidades	57
Figura 27. Ejemplos de sobre excavaciones	58
Figura 28. Macizo rocoso con alta presencia de cuñas.....	58
Figura 29. Alternancia de roca de buena calidad a mala calidad	59
Figura 30. Alternancia de roca buena hacia estructura principal.....	59

Figura 31. Alternancia de roca mala a roca buena.....	60
Figura 32. Avance desfavorable en presencia de falla.....	60
Figura 33. Avance favorable en presencia de falla.....	61
Figura 34. Excavación con geometría favorable	61
Figura 35. Excavación con geometría desfavorable.....	62
Figura 36. Ubicación de la unidad minera Yauricocha y sus vías de acceso	66
Figura 37. Vista aérea de la unidad minera Acumulación Yauricocha	67
Figura 38. Prueba de normalidad de la sobre voladura en la pre - prueba	74
Figura 39. Prueba de normalidad de la sobre voladura en la post prueba	75
Figura 40. Pareto de causas de sobre rotura durante la ejecución de la rampa 5965 SE.....	75
Figura 41. Pareto de causas de mala instalación de los elementos de sostenimiento	77
Figura 42. Gráfico de cajas y bigotes de la prueba t	83

RESUMEN

La presente investigación propuso como objetivo general: Establecer la influencia del análisis de modo y efecto de falla en el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE, y la hipótesis a contrastar fue: La aplicación del análisis de modo y efecto de falla de proceso permite el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE mediante el seguimiento constante en base a la detección de fallas en el proceso, su evaluación y corrección.

El método de investigación general fue el científico, tipo aplicada, nivel correlacional y de diseño experimental; la población estuvo constituida por las rampas de desarrollo 5965 SE en el cuerpo Contacto Sur Medio, la muestra no probabilística; conformada por la rampa 5965 SE, cuerpo Contacto Sur Medio del nivel 1120 piso 05 en un tramo de 270 metros, unidad minera Yauricocha en la zona V.

Se concluye así que la aplicación del análisis de modo y efecto de falla tiene una influencia positiva en el control del ciclo de minado de la Rp.5965 SE con la determinación de las fallas más comunes en el ciclo y sus causas, al permitir proponer soluciones correctivas y preventivas para evitar su re incidencia; sin embargo, para que esto sea exitoso se requiere del compromiso de todos los participantes del ciclo de minado, de forma directa o indirecta, para tener una referencia en las causas y soluciones propuestas para ser aplicadas de forma eficiente.

Palabras claves: análisis de modo, efecto de falla y ciclo de minado.

ABSTRACT

The present research was proposed as a general objective: To establish the influence of the failure mode and effect analysis in the control of the 5965 SE ramp mining cycle, and the hypothesis to be tested was: The application of the failure mode and effect analysis Process allows the control of the mining cycle of the 5965 SE ramp through constant monitoring based on the detection of faults in the process, their evaluation and correction.

The general research method was scientific, applied type, correlational level and experimental design; the population was constituted by Development Ramps 5965 SE in the Middle South Contact body, the non-probabilistic sample; made up of ramp 5965 SE, South-Middle contact body of level 1120 floor 05 in a section of 270 meters, Yauricocha mining unit in zone V.

It is thus concluded that: The application of the failure mode and effect analysis has a positive influence on the control of the mining cycle of Rp. 5965 SE with the determination of the most common failures in the cycle and their causes and by allowing to propose corrective and preventive solutions to avoid its re-incidence; However, for this to be successful, the commitment of all the participants in the mining cycle is required, directly or indirectly, to have a reference on the causes and proposed solutions to be applied efficiently.

Keywords: Analysis of mode, failure effect and mining cycle

INTRODUCCIÓN

La presente investigación muestra el estudio realizado al control ciclo de minado de la rampa 5965 SE tras la aplicación del análisis de modo y efecto de falla y describe como esta herramienta de gestión logró actuar sobre el proceso. De esta forma, se plantea como objetivo determinar cómo logró influir el análisis de modo y efecto de falla y cuáles son las causas principales de dos de los fallos más ocurrentes en el ciclo de minado: la sobre rotura y la mala instalación de elementos de sostenimientos. A partir de estos elementos se generó como hipótesis principal que el análisis de modo y efecto de falla permite el control del ciclo de minado basado en la detección de fallas en el proceso, su evaluación y corrección; mientras que como objetivo específico se planteó determinar las causas principales de la sobre rotura y el mal sostenimiento.

Con esto, buscamos evitar la ocurrencia constante de fallas que puedan afectar al proceso de ciclo de minado y, por ende, al rendimiento de la operación para evitar desde penalidades hasta accidentes mientras se realiza una búsqueda de la inserción de la mejora continua en los procesos realizados por medio de controles más estrictos.

En el capítulo I se detalla: el planteamiento y formulación del problema dando a conocer el problema general y específico, del mismo modo se cita el objetivo general y específico seguidamente de la justificación práctica y metodológica; para culminar este capítulo se exponen la hipótesis general, específica y las variables de esta investigación.

El capítulo II trata de los antecedentes nacionales e internacionales, así como de las bases teóricas y la definición de términos básicos de la investigación.

El capítulo III está destinado para la metodología de la investigación, donde se resalta el método general, tipo, nivel, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el capítulo IV titulado resultados y discusión se exponen los datos que se obtuvieron de la investigación.

Finalmente, se dan a conocer las conclusiones recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad, la minería exige resultados de excelencia para poder subsistir en un mercado cada vez más competitivo; las empresas mineras buscan incrementar su productividad y mejorar la calidad del mineral que producen, además de asegurar el acceso a nuevas reservas con la ejecución de labores de preparación y desarrollo.

Esto no es una excepción en las labores de preparación y desarrollo que se ejecutan en la unidad minera Yauricocha; donde toda labor minera debe cumplir con los estándares mínimos de calidad y seguridad antes, durante y después de su ejecución. Sin embargo, en el desarrollo de dichas labores no se llevan a cabo los controles adecuados lo que ha ocasionado de manera casi constante una incorrecta instalación de los elementos de sostenimiento en las rampas, sobre rotura de la sección y en ocasiones no mantener la pendiente indicada.

Lo más grave de la situación es que al aplicar una medida correctiva soluciona el problema a un corto periodo de tiempo tras el cual el problema vuelve a suscitarse. Esto demuestra que las soluciones que se deciden implementar son insuficientes e inadecuados o muchas veces no se consigue desarrollar una cultura de control hacia las operaciones que son realizadas; siendo necesario entonces

aplicar herramientas de gestión que permitan un mayor control. Este contexto llevo a la formulación de los siguientes problemas:

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del análisis de modo y efecto de falla en el ciclo de minado de la rampa 5965 SE?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la causa principal de sobre rotura de la rampa 5965 SE?
- b) ¿Cuál es la causa principal del mal sostenimiento de la rampa 5965 SE?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Establecer la influencia del análisis de modo y efecto de falla en el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Identificar con la aplicación del análisis de modo y efecto de falla la causa principal de sobre rotura de la rampa 5965 SE.
- b) Reconocer con la aplicación del análisis de modo y efecto de falla la causa principal del mal sostenimiento de la rampa 5965 SE.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

La alta competitividad en el mundo minero actual ha implicado que las empresas mineras de servicio especializado requieran mejorar su productividad para así mantenerse e incluso superar las expectativas de sus empleadores; lo cual implica la búsqueda de herramientas de gestión que un mejor control de sus operaciones. A su vez, se busca que las fallas en el proceso sean mínimas, es así que se opta por el AMEF (Análisis de Modo y efecto de falla potencial) aplicado a los procesos. (P-AMEF) con el cual se buscará la implementación de una herramienta de gestión

que permita un control más exhaustivo de los procesos y que las fallas que se presenten en ellos lleguen a ser minimizados.

1.3.2. Importancia

El control de las operaciones mineras requiere de la implementación de un sistema de control organizado, detallado y del cual se tenga constancia escrita para poder tener un efecto positivo y de corrección en las operaciones; logrando así tener una constancia del número de incidencias corregidas. De esta manera, el empleo del AMEF permitirá una mejor detección de las fallas y sus efectos para así eliminarlas o reducirlas del ciclo operativo, además de identificar los inductores de fallas más críticas y actuar sobre ellas preventivamente antes de la ocurrencia de algún defecto al detectar la causa de los mismos.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación del análisis de modo y efecto de falla de proceso permite el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE mediante el seguimiento constante en base a la detección de fallas en el proceso, su evaluación y corrección.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) La aplicación del análisis de modo y efecto de falla permite identificar la causa principal de sobre rotura de la rampa 5965 SE por medio de su número prioritario de riesgo.
- b) La aplicación del análisis de modo y efecto de falla permite identificar la causa principal del mal sostenimiento de la rampa 5965 SE por medio de su número prioritario de riesgo.

1.4.3. Descripción de variables

- **Variable independiente**

X = Herramienta AMEF

Indicadores:

X₁= % de Fallas en el sostenimiento

X_2 = % de Fallas en la perforación.

X_3 = % de Fallas en la voladura

- **Variable dependiente**

Y = Ciclo de minado

Y_1 = Sección de la labor

Y_2 = Elementos de sostenimiento de labor

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

- Tesis titulada: *“Determinación de fallas funcionales de los equipos críticos del transporte de mineral grueso en minera Las Bambas S.A.”*. El principal y único objetivo busca determinar las fallas funcionales de los equipos críticos del transporte de mineral, para lo cual emplea el AMEF como principal herramienta de análisis principalmente enfocado en subsistemas o componentes mecánicos. Una de sus conclusiones indica que “Según el AMEF y la clasificación obtenida del NPR (Número de Prioridad de Riesgo) detecto que de los 63 modos de fallas que la faja transportadora; 25 de ellas eran inaceptables, 26 fallas de reducción y 12 fallas aceptables. (1)

- Tesis titulada: *“Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora 60”x113” de minera Chinalco”*. El objetivo principal de la investigación fue el implementar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad; centrándose exclusivamente en los subsistemas o componentes mecánicos. Entre sus conclusiones más resaltantes destacan el aumento de la disponibilidad de la chancadora 60” x 113” en un 3.17% y que la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad ayudo en la determinación de fallas críticas y aumentar la vida útil de los componentes de la chancadora. (2)

- Tesis titulada: *“El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa EMTRAFESA SAC”*. El principal objetivo de la investigación es buscar la elaboración de un plan de mantenimiento basado en el AMEF, para aumentar la disponibilidad de la flota de la empresa EMTRAFESA SAC. En su última conclusión menciona que tanto sus indicadores de disponibilidad, confiabilidad y eficiencia mecánica aumentaron en un 16 %, 12 % y 16 % respectivamente al aplicarse la mejora en comparación a los indicadores iniciales. (3)
- Tesis titulada: *“Reducción del índice de riesgo y su efecto sobre el nivel de reclamos en la recarga de extintores”*. El objetivo principal de la investigación es determinar la influencia del número prioritario de riesgos (NPR) en la ocurrencia de reclamos en el proceso de recarga de extintores y uno de sus objetivos específicos desea “cuantificar la relación costo – beneficio de la implementación de mejora en el proceso de recarga de extintores que permitirá reducir el NPR. Entre sus conclusiones tenemos” que se evidencia la reducción de reclamos por extintor sin presión al reducir el NPR en el proceso de recarga de extintores de PQS”; además se comprobó que la implementación del AMEF no solo redujo los reclamos, sino también se consiguió un retorno económico en beneficio de la empresa. (4)
- Tesis titulada: *“Aplicación de la herramienta AMEF para mejorar la productividad de la línea HC-1 de yogurt en una empresa láctea,2017”*. La investigación presentó como objeto de estudio la aplicación del AMEF para la mejora de la productividad, eficacia y eficiencia de la línea HC-1 de una empresa láctea; llegando a demostrar que la aplicación del AMEF incrementa de forma significativa la productividad (7.6 % en la empresa láctea) mientras que la eficacia aumento en un 3.2 % y la eficiencia un 4.8 %. (5)

2.1.3 Antecedentes internacionales

- Tesis titulada: *“Desarrollo de una estrategia de confiabilidad en planta chancado división Gabriela Mistral”*. Indica la importancia de tener activos con una alta confiabilidad para el logro de objetivos; ante ello se propone como objetivo principal el “desarrollar una estrategia de confiabilidad en la planta de chancado, que permita aumentar la disponibilidad y disminuir los costos en el área de mantenimiento”; concluyendo en el empleo de una estrategia de confiabilidad mixta lo que permitió que todos los subprocesos involucrados fuesen confiables al reducir su probabilidad de falla, entre sus resultado económico destaca la reducción de los costos de mantenimiento en un 29.44 %. (6)
- Tesis titulada: *“Análisis del modelo de producción en una empresa fundidora”*. El objetivo principal de la investigación es la de “proponer mejoras adecuadas al contexto de la empresa, diagnosticando y analizando el modelo y sistemas de producción para incrementar la eficiencia de sus procesos productivos. De sus conclusiones tenemos que tras el análisis y diagnóstico de la empresa fundidora se encontró las causas de su baja eficiencia, permitiendo la detección de diversas áreas de oportunidad para la generación de propuestas que permitan tomar acciones correctivas y preventivas que permitirán la mejora de la producción. (7)
- Tesis titulada: *“Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura de juguetes”*. Postgrado. La investigación tiene por objetivo el minimizar las quejas y retorno de producto por parte de sus clientes; razón por la cual se requirió el análisis de causas potenciales y la reducción de la incidencia de fallas o su eliminación en el proceso de manufactura lo que llevo al empleo del AMEF. Entre sus conclusiones se nota que la aplicación del AMEF trajo enormes beneficios, lo cual se demostró en las acciones de contingencia, correctivas y preventivas, la mejora de los procesos y una mayor integración de los departamentos partícipes. (8)
-

2.2. Bases teóricas

2.2.1 AMEF (Análisis de modo y efecto de falla)

El AMEF es una herramienta de análisis de prevención, la cual es empleada para la detección de un modo (llamado también causante) de falla, para así determinar controles eficientes que logren evitar la ocurrencia de fallos o minimizar sus riesgos. (9)

Considerada a su vez como una técnica analítica, la cual combina tecnología y la experiencia de los involucrados para la identificación de los modos de fallas de los procesos, productos o servicios y así planear su eliminación. (10); sin embargo el concepto que hace justicia al AMEF es que se trata de una metodología que permite el identificar fallas potenciales de un proceso o producto y por medio de un análisis de ocurrencia, forma de detección y el efecto que producen; las fallas son jerarquizadas, eliminando o reduciendo aquellas que vulneren más la confiabilidad del proceso. (11)

2.2.1.1 Historia del análisis de modo y efecto de falla

Desarrollado en un principio por el ejército de los Estados Unidos a finales de la década de 1940 (durante la segunda guerra mundial) con el fin de reducir las grandes cantidades de munición que fallaban al momento de ser usadas. Es así como nace el Procedimiento para realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad MIL – P – 1629; un procedimiento que clasificaba las fallas empleando como criterio base su impacto en el éxito de la misión y la seguridad del personal y los equipos y que termino funcionando a tal punto que fue aceptado por la NASA y empleado en el proceso de alunizajes. (12)

Su verdadero potencial en la industria no militarizada se da en la década de los 70, cuando Ford introduce al mercado automovilístico su modelo Ford Pinto. Dicho modelo se presentó como un producto de competencia directa contra los compactos japoneses que ingresaban a Estados Unidos en dichos años. Su diseño y fabricación se realizó de forma tan apresurada que termino volviéndose un auto que ante el menor choque en la parte trasera (donde se encontraba el tanque de

combustible) este terminaba incendiándose y termino con la vida estimada de 180 personas al año. (13) Con el fin de eliminar estos y otras fallas en la fabricación de sus autos Ford comenzó a emplear el análisis de modo y efecto de falla en las etapas de diseño y manufacturación.

Esto impulso a otras empresas del rubro automotriz a ir empleando también; es así que para 1993 y hasta la actualidad la AIAG (Automotive Industry Action Group) emplea el análisis de modo y efecto de falla (AMEF o FMEA en sus siglas en inglés) en un principio la norma QS 9000 y posteriormente en la TS16949. (12)

2.2.1.2 Clasificación del análisis de modo y efecto de falla

- AMEF de diseño (AMEFD): analiza los componentes de diseño antes que los productos sean ensamblados; tiende a enfocarse en la funcionalidad de los componentes y sus modos de falla.
- AMEF de proceso (AMEFP): analiza los procesos implicados en la elaboración de un producto o servicio, enfocándose en los defectos producidos y sus modos de falla.

El AMEF aplicado a esta investigación es el AMEF de proceso, esto se debe a que la investigación se aplicará al ciclo de minado de las labores de avance, lo cual permitirá realizar los distintos procesos implicados de la forma más limpia posible.

2.2.1.3 Procedimiento de elaboración del AMEF

Tomado como base lo expresado por Reyes (2006) y Besterfield (2009) al procedimiento de elaboración del AMEF, tenemos lo siguiente:



Figura 1. Proceso de elaboración del AMEF

2.2.1.4 Requerimientos del AMEF

- El equipo asignado al AMEF debe tener una consideración a un miembro de las áreas involucradas en el proceso (supervisión, seguridad, logística y productividad) para generar un enfoque de equipo.
- Asumir que el producto, tal como está diseñado, cumple con la intención del diseño en si, por lo cual en el proceso se puede identificar oportunidades de diseño que permitan la reducción de fallas.
- Tener información sobre la manufactura y el ensamble para la definición de sus requerimientos propios.
- Establecer las expectativas que el proceso realice y aquellas que no debe realizar.

2.2.1.5 Limitaciones del AMEF

- El entrenamiento de los empleados no cumple con el mínimo requerido en el diseño.
- No presenta un gran impacto inicial en los procesos.

- Puede generar un impacto financiero para conseguir un proceso de alta calidad. (Equipos, herramientas, capacitación, salarios)
- La falta de información y del trabajo de equipo puede repercutir en un AMEF poco efectivo.

2.2.1.6 Condiciones propensas al error

Según Shingo (1960) las condiciones propensas al error son aquellas que inducen o permiten la ocurrencia de un error. Los ejemplos típicos a estas condiciones son:

- Ajustes
- Carencia o ausencia de especificaciones adecuadas.
- Complejidad de los procesos.
- Programación esporádica. (Falta de continuidad en la supervisión)
- Procedimientos estándar de operación inadecuados.
- Simetría/Asimetría
- Muy rápido/Muy lento
- Condiciones de trabajo

2.2.1.7 Errores causados por el factor humano

Para Shingo (1960) el factor humano es muy determinante en la causa de errores durante los procesos productivos; estos son:

- **Olvidar.** Tiende a afectar los tiempos de operaciones y a su calidad (Retrasos operativos, falta de materiales, ensambles incompletos).
- **Mal entendimiento.** Una orden o proceso mal comprendido puede afectar de sobremanera a la calidad del proceso.
- **Identificación.** Ya sea de las áreas o lugares de trabajo, esta debe ser clara y adecuada para evitar confusiones.
- **Principiante/Novatez.** La falta de experiencia puede darse por ser el primer empleo de este tipo del colaborador o por la actualización de los procesos.

- **Errores a propósito por ignorar reglas o políticas.** Es crucial capacitar al colaborador en los reglamentos y políticas de la empresa para así evitar sanciones innecesarias y consecuencias no deseadas.
- **Desapercibido.** El descuido durante el desarrollo de las actividades o el exceso de confianza permite desapercibir condiciones subestándares en la operación.
- **Lentitud.** Retrasos en la operación.
- **Falta de estándares.** La ausencia de procedimientos y parámetros permite una operación de baja calidad.
- **Sorpresas.** Falta de análisis de las situaciones, lo cual decanta en hechos inesperados.
- **Intencionales.** Por la falta de compromiso, conocimiento o capacitación del colaborador.

2.2.1.8 Fallas comunes en las líneas de producción

Para Martínez (2004) las fallas más comunes en una industria manufacturera son las siguientes:

- **El descuido del operador:** es un alto generador de ocurrencias; por lo cual recomienda la automatización del proceso como medida correctiva ante la comparación de costos de la automatización con el entrenamiento constante y la destreza del operador.
- **El mal funcionamiento del equipo:** esto repercute en el paro de la línea de producción, por lo cual se requiere que los equipos y máquinas siempre se encuentren en óptimas condiciones.
- **El surtimiento de materiales incorrectos:** la consecuencia de esto se refleja en los programas de producción e incluso en el desabastecimiento temprano de ciertos materiales.

2.2.1.9 Elementos del AMEF

Los elementos que hacen posible el desarrollo de la AMEF se encuentran detallados en el manual de referencia “Análisis de modos y efectos de fallas potenciales” de Chrysler LLC, Ford Motor Company y General Motors Corporation (2008) los cuales indican los siguientes elementos:

- **Modo de falla potencial:** es la manera en la que un proceso puede fallar, lo cual provoca que la productividad disminuya, pero que no necesariamente ocurrirá. Estos modos de falla deben ser descritos en términos técnicos. Se identifican con la pregunta: ¿Cómo el proceso puede fallar en su desempeño o cumplimiento de especificaciones?

Tabla 1. Modo de falla del proceso de sostenimiento

Paso del proceso / función	Requerimiento	Modo de falla potencial
Sostenimiento de la labor con Split set	Split set de 7' y 2'	Elemento de sostenimiento de largo equivocado
	Distancia de instalación del Split set a 85cm	Instalación del Split set a menor distancia del estándar
	Traslape de malla electrosoldada a 30cm	Traslapes a distancias mayores o menores a 30 cm
	La chapa del Split set debe hacer contacto perpendicular con el terreno	La chapa del Split set se encuentra suspendida en relación al terreno.

- **Efecto potencial de falla:** son el efecto producido por los modos de fallas, este puede darse sobre el proceso mismo, en una operación posterior o ser detectado por el cliente. Se identifica con las preguntas: ¿Qué ocasionara el modo de falla identificado? ¿Cuál es el impacto final en el cliente? ¿Qué pasaría si es detectado antes de su entrega?

Además, se debe identificar el área, operación o proceso donde se presentaría el efecto de falla.

- **Severidad:** es la representación de la gravedad del efecto de falla sobre el cliente y/o el proceso actual o consecuente, los valores más altos presentan un riesgo crítico capaces de lastimar al operador o detener los procesos productivos

mientras que los de menor valor generan pequeños retrasos a la operación o presentan defectos en el producto durante su elaboración o inspección; la severidad es evaluado en escala del 1 al 10.

Tabla 2. Cuadro de puntuación de severidades del efecto de falla

Rango	Efecto	Severidad del efecto en el proceso
10	Falla en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Puede exponer al peligro al operador sin advertencia alguna; este incidente afecta a la operación o la inconformidad con las regulaciones del gobierno.
9		Puede exponer al peligro al operador con advertencia alguna; este incidente afecta a la operación o la inconformidad con las regulaciones del gobierno.
8	Interrupción Mayor	El producto es inoperable con pérdida de su función primaria, la línea de producción se detiene totalmente y el 100% del producto puede ser desechado.
7	Interrupción significativa	Desviación del proceso primario de producción, incluyendo una reducción de la velocidad de producción o adición de mano de obra.
6	Interrupción Moderada	Puede que el 100% del lote de producción deba retrabajarse fuera de la línea de producción, el producto es operable, pero es inaceptable en términos de comodidad o conveniencia.
5		Una Porción del lote de producción deberá retrabajarse fuera de la línea de producción, el producto es operable, pero muestra un desempeño reducido.
4	Interrupción menor	Un posible 100% del lote de producción deberá ser retrabajado en la estación antes de ser procesado, los defectos en el producto son notados por más del 75% de clientes.
3		Una porción del lote de producción deberá ser retrabajado en la estación antes de ser procesado, los defectos en el producto son notados por el 50% de clientes.
2	Interrupción de poca importancia	Leve o ligera inconveniencia al proceso, operación u operador; los defectos en el producto son detectados solo por clientes exhaustivos (menor al 25%).
1	Sin efecto	Sin efectos discernibles.

Tomado de AMEF 2008

- **Causas potenciales del modo de falla:** son muestras de debilidad del proceso productivo, cada modo de falla puede tener una o más causas las cuales deben ser detalladas lo más completa y concisamente posible; con el fin de determinar mejor las causas probables se recomienda la aplicación del diagrama de Ishikawa.
- **Ocurrencia:** es la probabilidad con la que una causa de falla ocurra, es estimada en una escala del 1 al 10. Puede reconocerse con la pregunta ¿Con qué frecuencia se activa tal mecanismo de falla?; así mismo, la ocurrencia de la falla puede determinarse por la relación ítem/producto.

Tabla 3. Puntuación de las ocurrencias de las causas potenciales.

Probabilidad de ocurrencia de falla	Ocurrencia de la causa	Rango
Muy alta	>= 1 de 10	10
	>= 1 de 20	9
Alta	>= 1 de 50	8
	>= 1 de 100	7
Moderada	>= 1 de 500	6
	>= 1 de 2000	5
	>= 1 de 10000	4
Baja	>= 1 de 100000	3
	>= 1 de 1000000	2
Muy Baja	La falla es eliminada a través de controles preventivos	1

Tomado de AMEF 2008

- **Detectabilidad:** nos permite conocer cuan eficientes son los controles operativos al detectar modos de falla o su causa, su ponderación se determina por una escala del 1 al 10 donde el menor valor se le asigna a los mejores controles y el mayor valor al peor control existente.

Tabla 4. Puntuación de la detectabilidad de la falla

Oportunidad para la detección	Criterios de detección	Rango	Probabilidad de detección
Ninguna oportunidad de detección	No hay controles de procesos, no puede detectarse ni analizarse.	10	Casi imposible
Sin probabilidad de detección en ninguna etapa	Los controles actuales tienen poca posibilidad de detectar los modos de falla o sus causas.	9	Muy remota
Detección del problema tras el procesamiento	La detección se realiza después del proceso por el operador por medio de la vista olfato u oído.	8	Remota
Detección del problema en la fuente	La detección se realiza en la estación de trabajo por el operador o después al emplear instrumentos de medición a los atributos del producto	7	Muy baja
Detección del problema tras el procesamiento	La detección se realiza después del proceso por el operador al emplear instrumentos de medición de atributos del producto	6	Baja
Detección del problema en la fuente	La detección se realiza en la estación de trabajo por el operador mediante equipos de medición continua o controles automáticos (luz, sonidos, etc.)	5	Moderada
Detección del problema tras el procesamiento	La detección se realiza después del proceso por equipos de medición continua.	4	Moderadamente alta
Detección del problema en la fuente	La detección se realiza en la estación de trabajo por equipos de medición continua, evitando que se trabajen en un proceso posterior.	3	Alta
Detección del error y/o prevención del problema	La detección se realiza en la estación de trabajo por equipos de medición continua, previniendo que más partes defectuosas sean elaboradas	2	Muy Alta
No se aplica detección, se previene el error	Se previenen errores por parte del diseño, el cual hace el producto a prueba de errores	1	Casi Segura

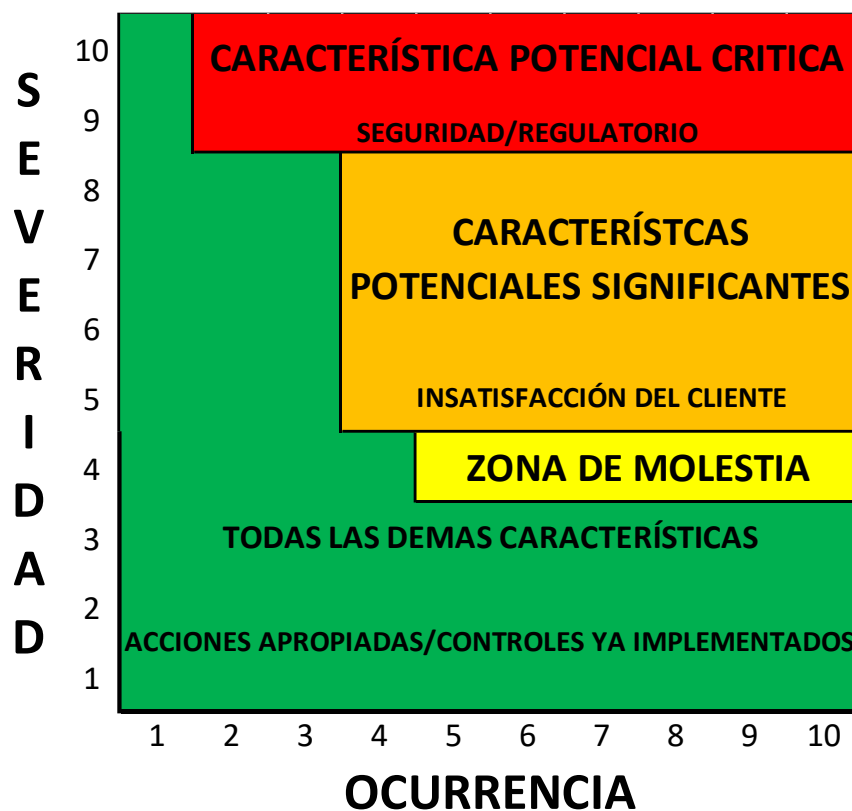
Tomado de AMEF 2008

- **Numero de prioridad de riesgo:** este valor permite priorizar la toma de acción y es calculado de la siguiente manera:

$$\text{NPR} = \text{Severidad (S)} \times \text{Ocurrencia (O)} \times \text{Detección (D)}$$

Toma valores entre 1 y 1000; razón por la cual la severidad, ocurrencia o detección nunca tendrá un valor igual a cero o mayor a 11.

- **Matriz de características especiales:** Martínez (2004) introduce esta matriz en su investigación con el fin de expresar mejor el funcionamiento de la severidad, ocurrencia y detección para la priorización de decisiones. Mientras la ocurrencia sea de 1 a pesar de tener una severidad de 10 esto no implica un problema mayor porque no ha pasado nada todavía, pero a medida que la severidad y la ocurrencia se incrementan más rápido se presentaran casos de características potenciales críticas.



*Figura 2. Matriz de características especiales
Tomado de Martinez, 2004*

2.2.1.10 El formato AMEF y sus elementos

Es presentado por el AMEF (2008) con el fin de recolectar los resultados y la documentación necesaria para realizar el AMEF. Las partes del formato se dividen en dos:

a) Encabezados del formato AMEF (de A – H)

- **Número del AMEF (A):** para el control documentario, todos los formatos AMEF deben contar con una serie alfanumérica.
- **Ítem/Artículo/Proceso (B):** se asigna el nombre del elemento a ser analizado. Como ejemplo tenemos el proceso “Perforación del frente”.
- **Responsable del proceso (C):** escribir el nombre de la organización, grupo o departamento responsable del diseño del proceso, si es necesario también del proveedor.
- **Año/Programa del Modelo (D):** registrar el año y programa del modelo de producto a usar o que se verá afectado por el análisis AMEF.
- **Fecha clave (E):** asignar la fecha de inicio del AMEF, la cual no debe ser anterior a la fecha de arranque de la producción.
- **Fecha AMEF (original) (F):** de tener un AMEF como antecedente al actual, colocar la fecha del mismo como indicador de la última revisión formal.
- **Equipo principal (G):** adjuntar el nombre de los responsables de desarrollo del AMEF y las tareas que esta requiera.
- **Preparado por (H):** anotar el nombre del líder de equipo o responsable de preparar el AMEF.

b) Cuerpo del formato AMEF (de a - n)

- **Etapas/Función del proceso/Requerimiento (a):** puede dividirse en dos columnas, separando la etapa/función del requerimiento del mismo, para la etapa se registra el proceso a analizar, en requerimiento registramos aquellas entradas necesarias para iniciar un proceso.

- **Modo de falla potencial (b):** una vez determinado las etapas y sus requerimientos, se analiza los modos de falla que pueden afectar al proceso antes, durante y después.
- **Efecto de modo de falla (c):** se debe describir los efectos al ocurrir la falla sobre el proceso.
- **Severidad (d):** es la valorización del grado de efecto y se estima en valores del 1 al 10. (Véase tabla 2 para más detalles) El valor de la severidad no varía tras las revisiones de diferentes AMEF a menos que se cambie el diseño del producto.
- **Clasificación (e):** en esta columna se resaltan los modos de falla o causa a través de una escala cualitativa determinada por la ponderación de la severidad. Estos pueden ser defectos críticos (C), defectos mayores (M) y defectos menores (m).
- **Causas o mecanismos potenciales de falla (f):** identificar la forma en la que se originan los modos de falla, se puede incluir todas las posibles causas junto a la causa raíz.
- **Ocurrencia (g):** probabilidad que un modo de falla se produzca, pueden emplearse datos estadísticos previos y esta escalado del 1 al 10 (véase tabla 3)
- **Controles actuales del proceso (h):** se describen los controles que se tienen para prevenir o detectar una falla en el proceso; los controles preventivos y de detección deben distinguirse claramente entre sí.
- **Detección (i):** se evalúa la probabilidad de detección de los controles listados al detectar la falla, su estimación se basa en la tabla de detectabilidad (ver tabla 4).
- **Número de prioridad de riesgo (j):** es el producto de las estimaciones de severidad, ocurrencia y detección. Se emplea para dar prioridad a los potenciales diseños débiles del proceso.

- **Acciones recomendadas (k):** estas deben reducir la evaluación de los riesgos enfocándose en el siguiente orden de prioridad de los factores: Severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Reducir la severidad implica la revisión del proceso o el diseño y la tecnología del mismo; sobre todo al aplicarse al iniciarse el diseño. Mientras que reducir la ocurrencia requiere la eliminación o mayor control del modo de falla con la revisión de todo el proceso.

Por su parte, la reducción de la ocurrencia requiere la eliminación o un control más estricto de los posibles modos de falla por medio de la revisión del proceso y el diseño.

Mientras que la reducción del valor de detección depende del entendimiento total de las causas comunes y causas especiales del proceso para la elaboración de un sistema a prueba de errores.

- **Responsabilidad y fecha de culminación (l):** escribir el nombre del responsable de implementar las acciones **recomendadas y su fecha de cumplimiento.**
- **Acciones tomadas y fecha de finalización (m):** realizar una breve descripción de las acciones tomadas y la fecha exacta en las que fueron concluidas.
- **Severidad, Ocurrencia, Detección y NPR (n):** tras aplicar las medidas correctivas, se evaluarán nuevamente los NPR pasado un tiempo considerado para observar los resultados.

2.2.2 Factores de diseño de la malla de perforación

La siguiente información tiene como referencia lo expresado por el centro de entrenamiento de Centromin en su Manual de voladura: (14)

2.2.2.1. Clase de terreno

El terreno a perforar se puede clasificar según el grado de compactación presente en la muestra in situ; generando así una clasificación de cuatro tipos:

- **Terreno masivo:** no muestra indicios de rotura o alteración; ofreciendo una resistencia a la perforación uniforme por su dureza constante.

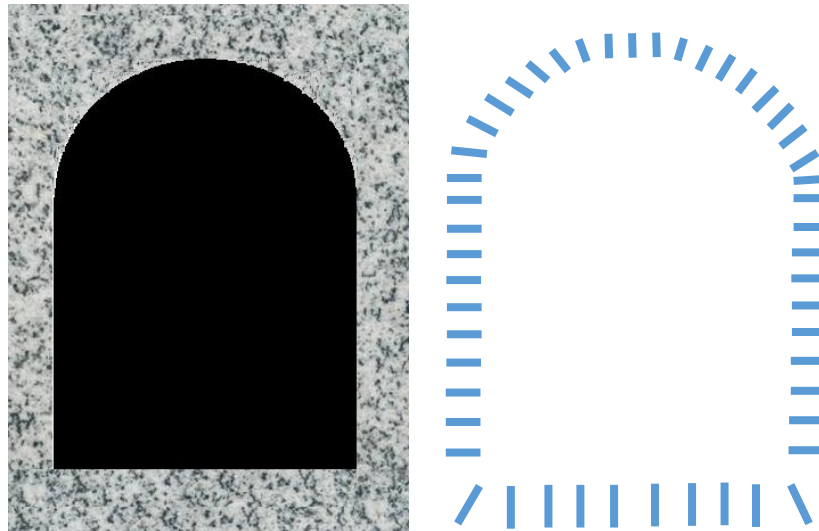


Figura 3. Terreno compacto

- **Terreno fracturado:** el terreno muestra fractura en diferentes distancias y/o direcciones; este tipo de terrenos ocasiona el desvío de taladros, pérdida de potencia del explosivo, tomar un mayor cuidado de la corona de la labor y fallos en la malla de perforación estándar.

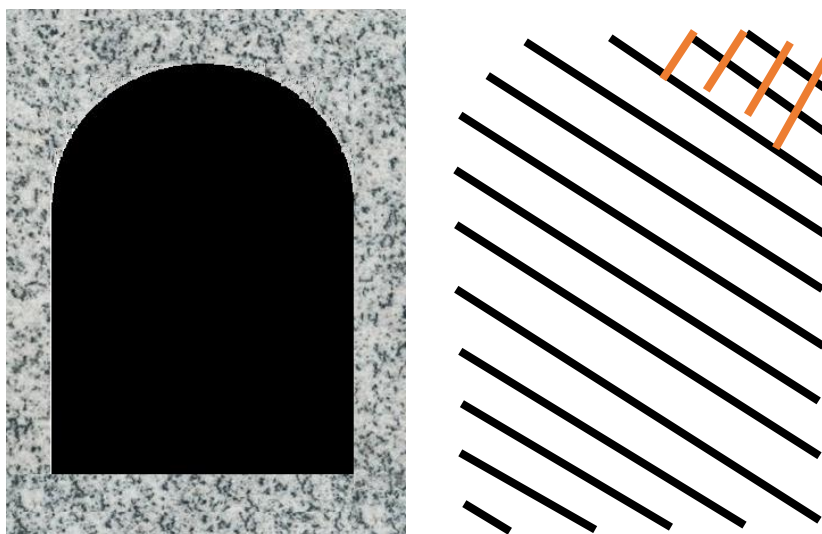


Figura 4. Terreno fracturado

- **Terreno suelto:** no presenta consistencia y requiere sostenimiento inmediato a la excavación. En este terreno el burden de los taladros de contorno debe ser adecuado para evitar sobre excavaciones, reducir el número de taladros, su profundidad y la carga explosiva empleada comúnmente.

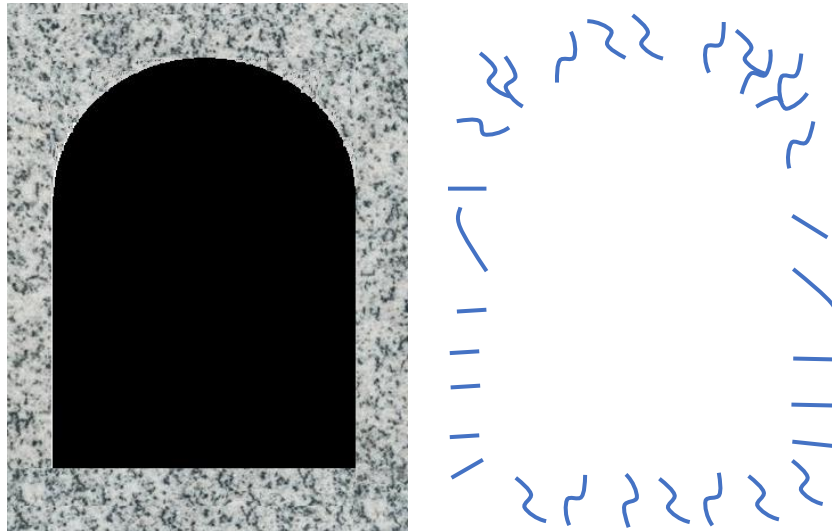


Figura 5. Terreno Suelto

- **Terreno empanizado:** presenta panizo entre dos mantos de terreno consistente. La perforación es solo en la roca consistente, de ser inevitable la perforación del panizo, se hará con poca precisión y agua en abundancia

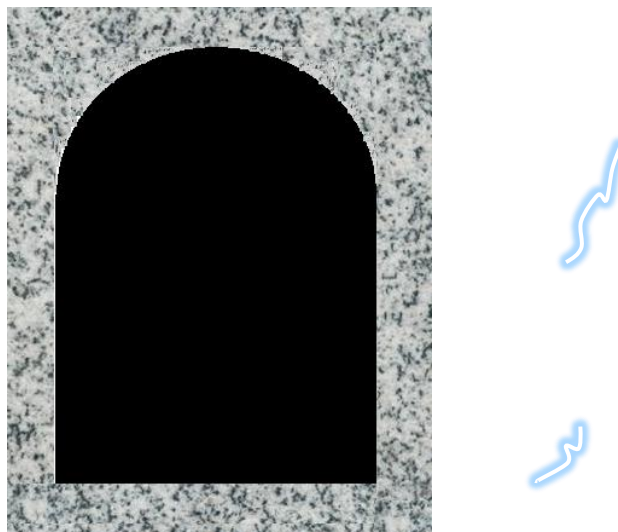
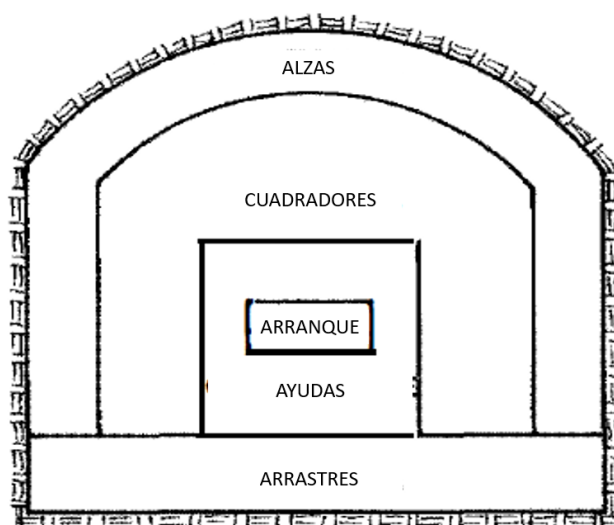


Figura 6. Terreno empanizado

2.2.2.2. Tamaño del frente y número de caras libres

Las dimensiones del frente influyen en el número de taladros a perforar en la voladura, mientras que el número de caras libres presentes se traduce en la resistencia del terreno a ser fragmentada por la voladura; a mayor cantidad de caras libres es mayor la fragmentabilidad de la roca. Al realizarse la excavación de frentes con una sola cara libre toda la voladura dependerá de los taladros de arranque para generar más caras libres; esto implica:

- Si el arranque fue diseñado correctamente (distribución, dirección y carga explosiva) la voladura posterior será exitosa.
- El carguío de las primeras ayudas y cuadradores debe ser el adecuado para aumentar las caras libres generadas por el arranque detonado.
- La secuencia de disparo de los taladros debe ser adecuada a fin de garantizar el éxito de la voladura.



*Figura 7. Formación de caras libres
Tomado de López, 2003*

2.2.2.3. Explosivo

La selección del explosivo se determina en base a sus propiedades: velocidad de detonación, potencia, poder rompedor, densidad, resistencia al agua, etc. Todas y cada una de ellas deben ir acorde a los requerimientos necesarios del macizo rocoso para ser fragmentados de la mejor forma posible.

2.2.2.4. Grado de fragmentación

Referido al tamaño del material volado; para el caso de frentes se pide que se encuentre lo suficientemente fragmentado para facilitar la limpieza de la labor con los equipos respectivos. Esto depende tanto de la potencia del explosivo como del burden de los taladros y su espaciamiento.

2.2.3 Condiciones de perforación

Siempre se ha considerado que el éxito de una buena voladura depende tanto del explosivo seleccionado como del diseño de la malla de perforación y su respectiva perforación. Es así que según el Manual de voladura de EXSA (15) se toman en cuenta cuatro condiciones de perforación que influyen en su calidad:

- **Diámetro del taladro**

La regla clásica para esta condición es emplear el de “*menor diámetro factible*” por ser el más adecuado y económico a realizar.

- **Longitud de perforación del taladro**

Según las características de la máquina perforadora y el avance de disparo programado.

- **Rectitud del taladro**

Determina la distribución del explosivo a cargar el taladro; dependiendo mucho del tipo de roca perforado, método de perforación y las características de la perforadora junto al paralelismo de los taladros para evitar la intersección de taladros.

- **Estabilidad del taladro**

Depende de la clase del terreno perforado, el cual influye en el tiempo de apertura de la perforación. Para terreno suelto se suele colocar tras la perforación un tubo de PVC para evitar el colapso del taladro.

2.2.4 Fallas en la perforación

El manual de voladura de EXSA (2010) reúne un listado de errores significativos en las perforaciones realizadas que terminan afectando a los resultados de la voladura; estos son:

- El arranque no tiene suficientes diámetros de alivio o el diámetro no es el correcto.

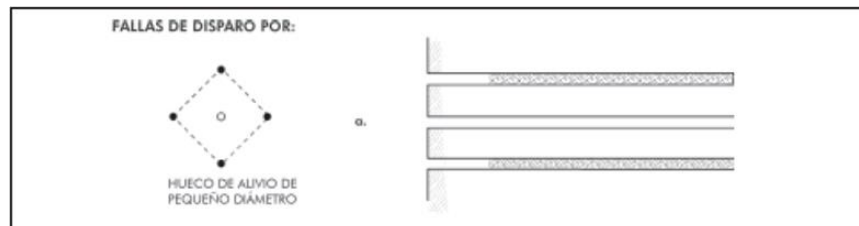


Figura 8. Fallo por alivios de menor diámetro
Tomado de EXSA, 2000

- Desviación e intersección de taladros: los taladros presentan inclinación lo cual reduce en el fondo el burden programado para la voladura e incluso que se intercepten entre ellos, potenciando la carga explosiva de fondo del taladro.

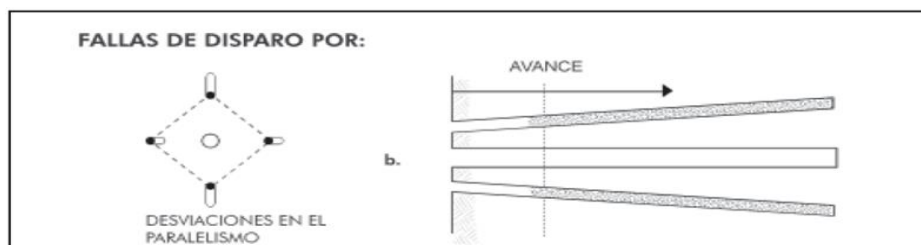


Figura 9. Fallo por desviación de taladros
Tomado de EXSA, 2000

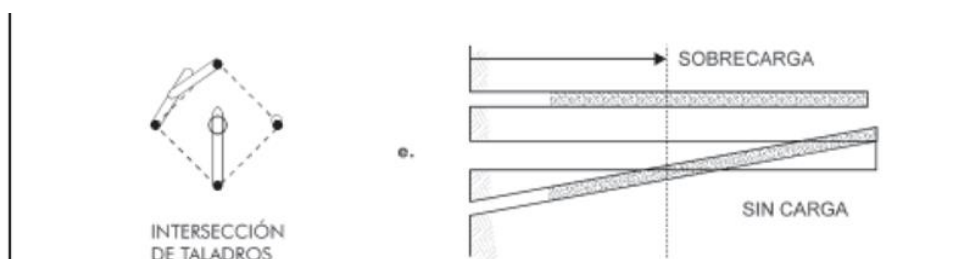


Figura 10: Fallo por intersección de taladros
Tomado de EXSA, 2000

- Espaciamiento y longitud irregular del taladro: el mal espaciamiento genera una mala fragmentación o peor. Que el explosivo no llegue a detonar mientras que las longitudes irregulares ocasionan que la nueva cara obtenida tras la voladura sea muy irregular presentando sobre excavaciones.

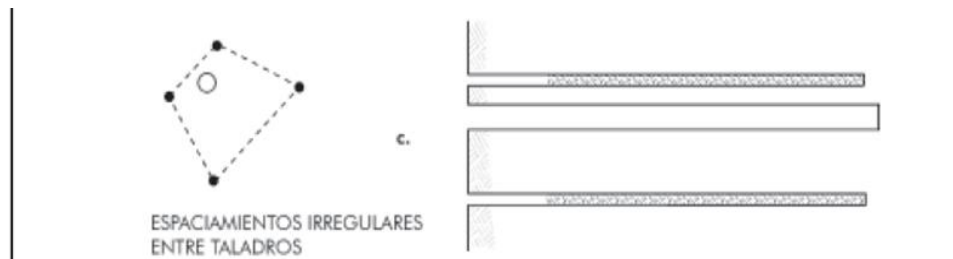


Figura 11. Fallo por espaciamiento irregular
Tomado de EXSA, 2000

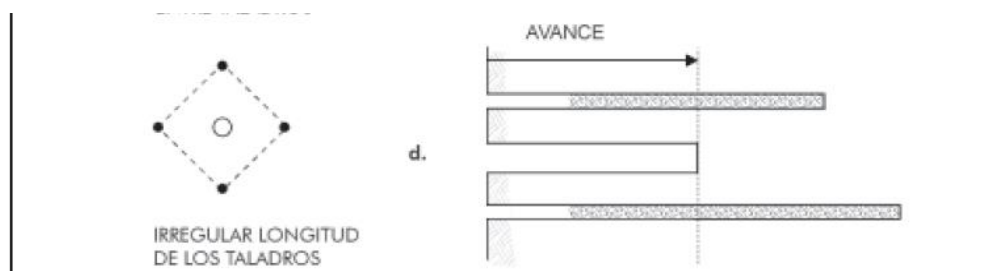


Figura 12. Fallo por longitud irregular
Tomado de EXSA, 2000

- Densidad de carga excesiva del taladro: genera una sobrecarga que termina en daños a los contornos de la excavación o poca capacidad rompedora en la voladura.

2.2.5 Denominación de los taladros

La denominación de los taladros se ha realizado principalmente por la función que cumplen en la malla de perforación al realizar la voladura. Siendo la denominación básica la siguiente:

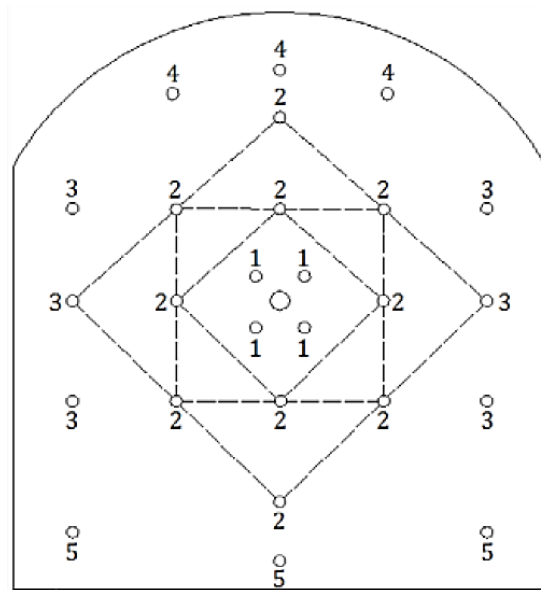


Figura 13. Malla de perforación
Tomado de Manual de Voladura - Centromín

Correspondiendo la denominación a lo siguiente:

- Arranque: llevan el número 1, se encargan de realizar la primera rotura en la roca para formar una nueva cara libre en el frente.
- Ayudas: llevan el número 2, se encargan de ensanchar la cara libre generada por el arranque.
- Cuadradores: llevan el número 3, dan forma a los hastiales y delimitan el ancho de la excavación.
- Alzas: llevan el número 4, dan forma a la corona de la excavación y delimitan la altura de la excavación.
- Arrastres: llevan el número 5, determinan la pendiente del piso de la excavación.

2.2.6 Fórmulas para determinar la perforación

Según el manual de perforación y voladura de EXSA (2000), se tiene fórmulas según los siguientes parámetros a determinar:

- **Cálculo del Burden**

Conocida como la distancia máxima entre taladros perforados, su cálculo se realiza en base a la siguiente fórmula acorde a la sección del corte:

Tabla 5. Cálculo del Burden a partir del arranque

Sección del corte	Fórmula de Burden	Lado de la sección
Primera	$B_1 = 1.5 \varnothing$	$B_1\sqrt{2}$
Segunda	$B_2 = B_1\sqrt{2}$	$1.5 * B_2\sqrt{2}$
Tercera	$B_3 = 1.5 * B_2\sqrt{2}$	$1.5 * B_3\sqrt{2}$
Cuarta	$B_4 = 1.5 * B_3\sqrt{2}$	$1.5 * B_3\sqrt{2}$

Tomado de EXSA, 2000

Donde:

B = Burden máximo (m)

$\varnothing$ = Diámetro del taladro de alivio o taladro más grande empleado.

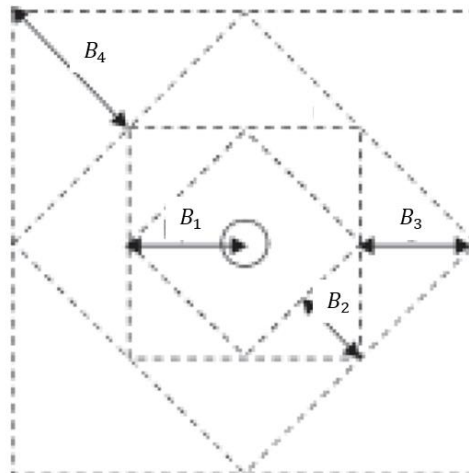


Figura 14. Esquema de arranque basado en el Burden
Tomado de EXSA, 2000

- **Cálculo de la desviación de taladros**

$$F = B(0.1 \pm 0.03H)$$

Donde:

F = Desviación del taladro perforado (m)

B = Burden máximo (m)

H = Profundidad del taladro perforado (m)

- **Cálculo del número de taladros**

$$N^{\circ} Tal = \left(\frac{P}{dt} \right) + (c * S)$$

Donde:

P = Perímetro de la sección a excavar en metros

$$P = \sqrt{S} * 4$$

dt = distancia entre los taladros periféricos en metros

Tabla 6. Distancia entre taladros

Dureza de roca	Distancia entre taladros (m)
Tenaz	0.50 – 0.55
Intermedia	0.60 – 0.65
Friable	0.70 – 0.75

Tomado de EXSA, 2000

c = coeficiente o factor de roca

Tabla 7. Coeficiente de roca

Dureza de roca	Coeficiente de roca (m)
Tenaz	2.00
Intermedia	1.50
Friable	1.00

Tomado de EXSA, 2000

S = Sección del túnel (m²)

2.2.7 Mecanismo de rotura de roca

Para la rotura de rocas por medio del uso de explosivos, López (2003) plantea un total de 8 mecanismos de rotura que participan de forma activa, aunque de menor o mayor impacto en la misma, al mismo tiempo. Dichos mecanismos de rotura son los siguientes:

2.2.7.1. Trituración de la roca

A los pocos milisegundos de iniciada la detonación, la onda de choque producto de la explosión toma la forma cilíndrica del taladro y se expande dentro del mismo hasta superar incluso la resistencia dinámica a la compresión de la roca; esto genera una rotura de forma circular alrededor del taladro. El tamaño de la roca triturada dependerá de la presión de detonación aplicada y el acoplamiento de carga de los taladros. (16)

2.2.7.2. Agrietamiento radial

Se forma producto de la propagación de la onda de choque en el barreno, lo cual genera una zona densa de grietas radiales alrededor de la zona triturada en el barreno. La longitud y el número de grietas depende directamente de la potencia de la onda de choque y la disminución de la resistencia dinámica de la roca. Otros agrietamientos pueden darse debido a fracturas naturales en la roca. (16)

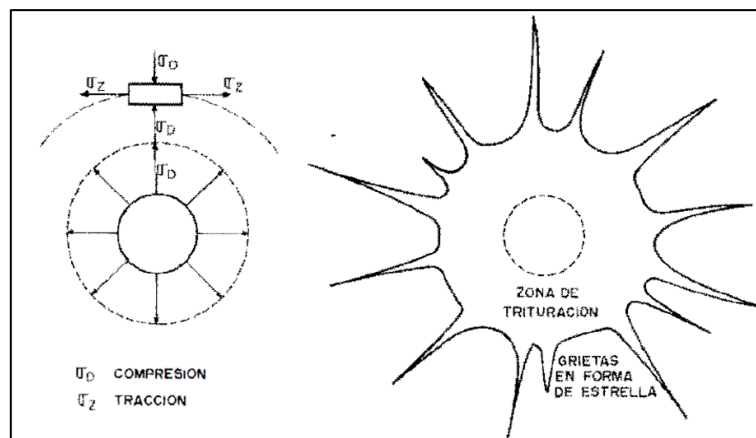


Figura 15. Agrietamiento Radial
Tomado de López, 2003

2.2.7.3. Reflexión de la onda de choque

El choque de la onda de choque con una superficie de cara libre genera que la onda se divida en dos ondas: una de tracción y otra de cizallamiento; además que están se reflejen en dirección al origen de la onda de choque.

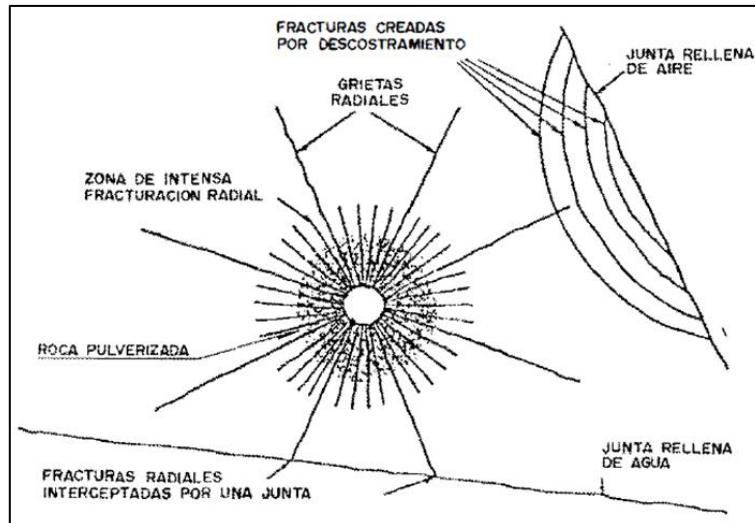


Figura 16. Agrietamiento radial y rotura por reflexión de la onda de choque
Tomado de López, 2003

2.2.7.4. Extensión y apertura de grietas radiales

Se da producto de la presión de los gases de la voladura, los cuales se expanden a través de las grietas radiales producidas por la onda de choque y aumenta la fracturación en las mismas. Un escape precoz de los gases a causa de un retardo deficiente puede terminar en un desaprovechamiento de la energía de la voladura. (16)

2.2.7.5. Fractura por cizallamiento

Se nota fácilmente en rocas sedimentaria, cuando la rotura se produce en los planos de separación de la onda de choque a causa de las tensiones (ya sean diferenciales o cortantes) en dichos planos. (16)

2.2.7.6. Rotura por flexión

El agrietamiento radial y su posterior extensión y apertura genera en el fondo del barreno y la zona del retacado que la roca actúe como una viga, la cual termina deformándose y agrietándose por la flexión.

2.2.7.7. Rotura por colisión

Los fragmentos creados por el agrietamiento y la rotura junto a la expansión de los gases son proyectados hacia la cara libre mientras chocan entre sí, generando una fragmentación adicional producto de la colisión.

2.2.8 Variables controlables de la voladura

2.2.8.1. Diámetro de taladro

El diámetro del taladro dependerá de las características del macizo rocoso, el grado de fragmentación deseado, la sección del frente, el presupuesto designado a la perforación y voladura y las especificaciones del equipo de perforación. (16)

2.2.8.2. Longitud de perforación

Dependerá del avance deseado y de las propiedades del macizo rocoso para mantener el taladro perforado y que el mismo no se bloquee por la caída de escombros en el mismo; también se considera una longitud variable cuando una labor tomará una curvatura, para ello se emplea planos con tabulación en donde se especifica la longitud de los taladros.

2.2.8.3. Inclinação de taladros

Se realizan para mantener la pendiente establecida de la labor para mantener de forma constante la corona y el piso de la labor. Para el caso de las voladuras en bancos la inclinación puede favorecer a una mejor fragmentación, desplazamiento, y esponjamiento del material, menor descabezamiento de los taladros y la creación de taludes más sanos y seguros para los nuevos bancos. (16)

2.2.8.4. Retacado

Longitud del taladro en la parte superior donde se rellena con material inerte. Su función es retener dentro del taladro los gases producto de la voladura para alcanzar el desarrollo completo del proceso de fragmentación de la roca. Un retacado deficiente producirá el riesgo de protección de material a causa de una salida prematura de los gases mientras que el retacado excesivo puede provocar el poco esponjamiento de la pila de material y un alto nivel de vibración.

2.2.8.5. Sobre perforación

Es la longitud del barreno por debajo del nivel del piso para realizar la rotura a la altura requerida, lograr una buena fragmentación y el desplazamiento de la carga (16). Un exceso de la sobre perforación produce:

- Aumento del coste de perforación y voladura
- Incremento del nivel de vibración
- Aumento del riesgo de sobre excavación.

2.2.8.6. Burden y espaciamiento

El burden es la distancia mínima del eje del taladro hasta la cara libre, mientras el espaciamiento es la distancia entre taladros de la misma fila. Ambos dependen del diámetro de perforación, la propiedad de la roca, el explosivo a emplear, el grado de fragmentación y desplazamiento deseado. (16)

Cuando el burden es demasiado largo, los gases de la voladura enfrentarán mayor resistencia por parte de la roca para agrietarla y desplazarla mientras que la energía se desperdiciará como energía sísmica. Por otro lado, si el burden es muy pequeña los gases escaparán, expandiéndose hacia la cara libre e impulsando los fragmentos de forma incontrolada.

Cuando el espaciamiento es muy pequeño, se produce exceso en la trituración, entre cargas y repies mientras que una distancia excesiva de separación genera una fracturación deficiente entre cargas y la formación de resaltes de roca y repies. (16)

2.2.8.7. Geometría del frente

Una equidistancia existente desde la cara libre al centro de los taladros es considerada como una de las geometrías más efectivas. Esta puede conseguirse de la siguiente manera:

- La cara libre formada por el arranque y los taladros se dispondrán de forma paralela o formen un ángulo lo más pequeño posible.
- La roca de la superficie debe presentar algunas fracturas precedentes de la voladura anterior.

- La secuencia de voladura de los taladros debe ser diseñado de forma que cada taladro disponga de un frente que forme una superficie biplanar convexa o una cara libre plana.

Es así que para conseguir esto la distancia entre los primeros barrenos sea más pequeña para disponer de una cara libre tras la voladura del arranque. Además, se debe tener en consideración que el frente debe estar limpio y sin repies. (16) Trabajar con un frente fuera de estas condiciones:

- Mayor intensidad de vibración, sobre excavación y aumenta el riesgo de inestabilidad.
- Se requiere un diseño de malla más cerrado y mayor consumo de explosivo con el objetivo de obtener los grados de fragmentación y esponjamiento del frente ya descubierto.
- Posible formación de repiés, lo cual implica el aumento del coste de carga y la necesidad de realizar desquinces.

2.2.8.8. Tamaño y forma de la voladura

El tamaño de nuestra voladura dependerá principalmente de la sección con la cual se desarrolla la labor minera; así mismo la forma de la misma dependerá de la función que cumplirá dicha labor. (Arco principalmente para rampas, galerías y refugios; cuadrados para chimeneas).

2.2.8.9. Volumen de expansión disponible

Para voladuras subterráneas de gran tamaño se sugiere que el volumen de expansión sea de un 25 % para garantizar el flujo de carga en las chimeneas para evitar acampanamientos. En caso que el arranque sea muy pequeño esto provocará la sinterización del material fino. De ahí que se plantee un volumen de expansión útil de 15 % del propio volumen del arranque.

2.2.8.10. Explosivos y su distribución

La elección del explosivo se basará en las propiedades de la roca a volar y los explosivos disponibles en el mercado. Es así que para rocas del tipo masivo se

recomienda explosivos con una alta velocidad de potencia y velocidad de detonación, mientras que en rocas fracturadas se optará por explosivos de baja densidad y velocidad de detonación. (16)

Asimismo, para rocas masivas duras o donde no se requiera mucho desplazamiento del material volado, se puede usar emulsiones o hidrogeles, pero en rocas donde la voladura puede generar demasiados finos se puede emplear agentes de baja densidad como el ANFO. (16)

2.2.8.11. Iniciación y cebado

Los cebos son por lo general un elemento explosivo (ya sea dinamita, hidrogel o emulsión) sensible al fulminante el cual tiene un fulminante, detonador eléctrico o cordón detonante insertado. Su función es activar o iniciar la voladura de la carga explosiva principal en el taladro. Su forma usual de instalación consta de ubicar el cebo con su carga iniciadora orientada en dirección a la boca del taladro para aprovechar el efecto de impacto puntual que proporciona el mismo. (15)

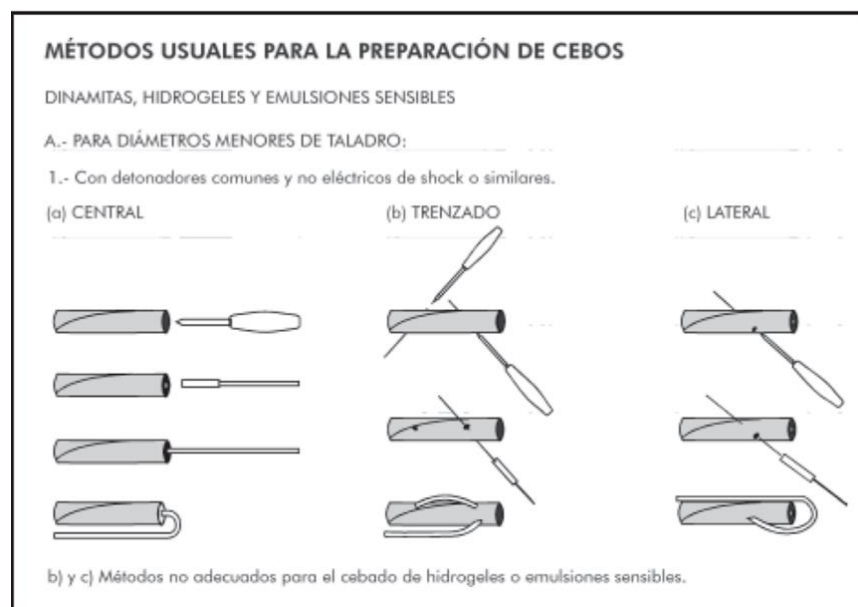


Figura 17. Preparación de cebos con detonadores comunes
Tomado de EXSA, 2000

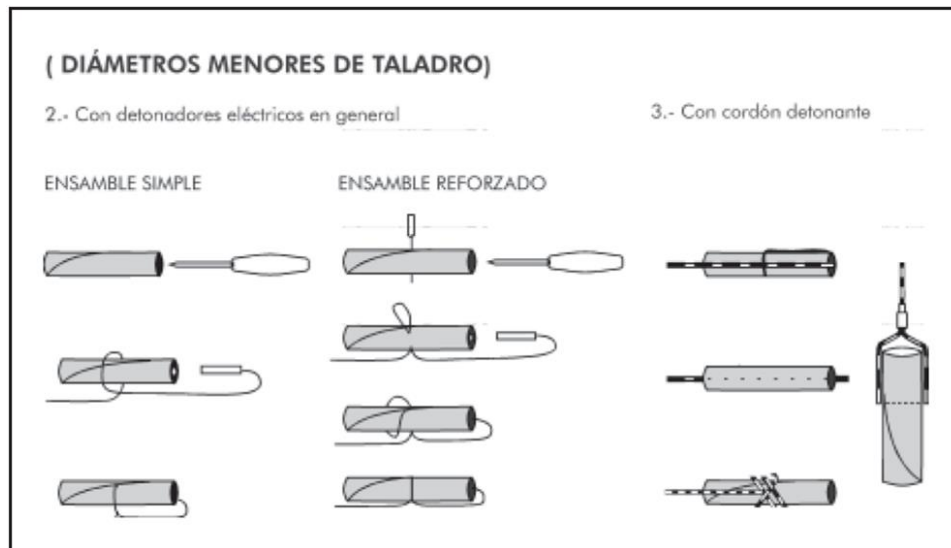


Figura 18. Preparación de cebos con detonadores eléctricos
Tomado de EXSA, 2000

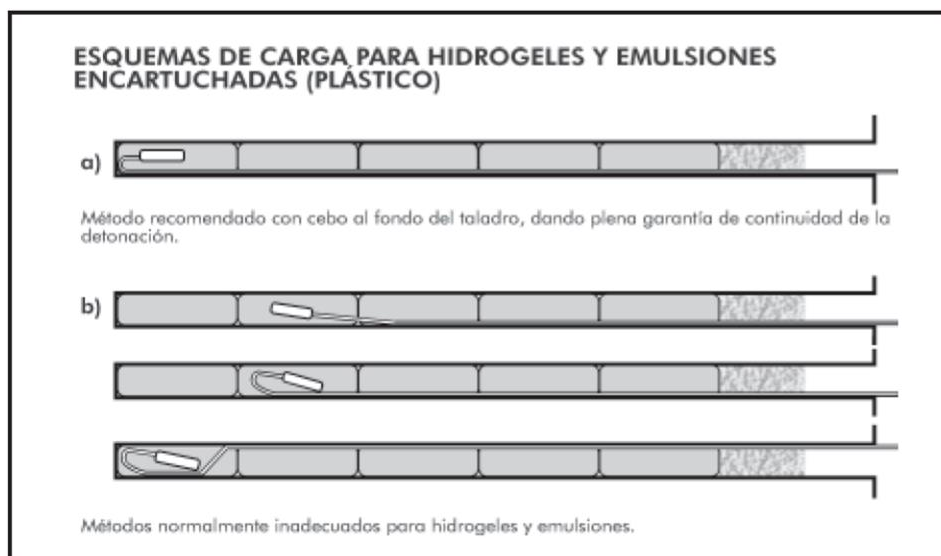


Figura 19. Carguío del cebo en el taladro
Tomado de EXSA, 2000

Los iniciadores, valga la redundancia, permiten iniciar la voladura en el taladro; estos se componen de fulminantes o detonadores, mecha de seguridad y rápida, cordón detonante, retardadores, conectores y otros según su clasificación: (15)

a) Sistema convencional. Se compone del uso de la mecha lenta (también llamada mecha de seguridad) y el fulminante. Este sistema se ha mejorado con el encendido previo de las mechas de los taladros usando la mecha rápida.

b) Sistema eléctrico comercial. Se compone de detonadores con puentes de alambre de resistencia eléctrica. Pueden subdividirse en convencional el cual emplea detonadores con retardo largo, los de micro retardo que usan retardos de milisegundos y los sísmicos que son instantáneos y se usan por lo general en los taladros de exploración sísmográfica por hidrocarburos. Todos incluyen un sistema de alta resistencia a corrientes estáticas para evitar una detonación no deseada.

c) Sistemas no eléctricos. Cuenta con detonadores instantáneos y de retardo no eléctricos y con un tren de transmisión al detonador mediante alguno de los siguientes:

- **Detonación:** uso de cordón detonante de bajo gramaje.
- **Shock: uso de tubos plásticos flexibles** (suelen ser las mangueras reactivas tipo NONEL)
- **Inflamación:** mediante gas inflamable contenido en los tubos flexibles sellados.

d) Sistemas especiales para aplicaciones definidas: aquí se encuentran los detonadores dominó para voladura subacuática y otros.

El método de iniciación para voladura subterránea es aplicado a frentes de túneles, pique, chimeneas, tajos, etc. En los cuales se preparan cebos de dinamita, emulsiones o hidrogeles de diámetros pequeños con los siguientes elementos (15):

- Fulminante simple (usualmente el N° 8) y mecha de seguridad, fulminante simple y mecha de seguridad más mecha rápida y conectores. Es encendido con una llama.
- Detonador eléctrico instantáneo o de retardo, cable empalme y explosor. Se enciende con una descarga eléctrica.
- Detonador no eléctrico (nonel o similares) con empalme de mangueras transmisoras o cordón detonante de bajo gramaje. Es encendido con un fulminante simple, detonador eléctrico o pistola de fogeo especial.

- Cordón detonante simple, que a su vez actúa como detonador, con retardos para dar secuencia a las salidas. Es encendido con un fulminante simple o detonador eléctrico.

Al utilizar iniciadores y cebos podemos variar el equilibrio de energía de tensión y la energía de gases en la voladura. Esta variación está sujeta a los parámetros de resistencia estructural de la roca. (16)

2.2.8.12. Tiempo de retardo y secuencia de encendido

Permiten disminuir las cargas operantes, lo que a su vez permite reducir los niveles de vibración de la voladura y obtener una mejor rotura, mayor control de desplazamiento de la roca volada, la sobre rotura y las proyecciones. (16) La selección de los retardos dependerá de los siguientes dos tipos: (15)

- **Retardo de periodo largo (LD)**

Presentan intervalos de medio segundo entre números. Pueden ser 0.5, 1.0, 1.5 segundos sucesivamente.

- **Retardo de periodo corto (SD)**

Vienen denominados en milisegundos y microsegundos y suelen estar graduados en intervalos de 0.025 segundos. Dando valores de la secuencia de detonación de 0.025, 0.05, 0.75 segundos sucesivamente después de iniciada la voladura.

Debemos mencionar también que los retardos suelen ser etiquetados con un código o número clasificándose según la siguiente figura:

Nº de Retardo Largo (500 ms)	Microretardos Grupo 1		Microretardos Grupo 2	
	Serie 1 (25ms)	Serie 2 (42ms)	Serie 3 (20ms)	Serie 4 (30 ms)
Instantáneo	0	0	0	0
1 - 0,5 s	1 - 25 ms (+25)	41 ms	1 - 20 ms	30 ms
2 - 1 s	2 - 50	83	2 - 40	60
3 - 1,5 s	3 - 75	125	3 - 60	90
4 - 2 s	4 - 100	167	4 - 80	120
5 - 2,5 s	5 - 125	209	5 - 100	150
6 - 3 s	6 - 150	251	6 - 120	180
7 - 3,5 s	7 - 200	293	7 - 140	210
8 - 4 s	8 - 225	335	8 - 160	240
9 - 4,5 s	9 - 250	377	9 - 180	270
10 - 5 s	10 - 300	419	10 - 200	300
11 - 5,5 s	11 - 325	469	11 - 220	330
12 - 6 s	12 - 350	519	12 - 240	360
	13 - 382 (+32)	569 (+50)	13 - 260	390
	14 - 414	619	14 - 280	420
	15 - 446	669	15 - 300 ms	450
	18 - 542	819	16 - 480	
	20 - 612	919	17 - 510	
	25 - 787 ms	1169 ms	18 - 540 ms	

Figura 20. Código de retardos europeo de LS y DS
Tomado de EXSA, 2000

Retardo Largo LD	Microretardo SD	Permisibles (para carbón)
0 instantáneo	0 instantáneo	0 instantáneo
1 500 ms (0,5 s)	1 25 ms	1 25 ms
2 1 000	2 50	2 100
3 1 500	3 75	3 175
		4 250
		5 300
16 8 000 ms	30 1 000 ms	9 500 ms

Figura 21. Código de retardos americanos de LD y SD
Tomado de EXSA, 2000

El aplicar los retardos correctamente puede asegurar una voladura exitosa y eficiente, tal como se muestran en las siguientes figuras:

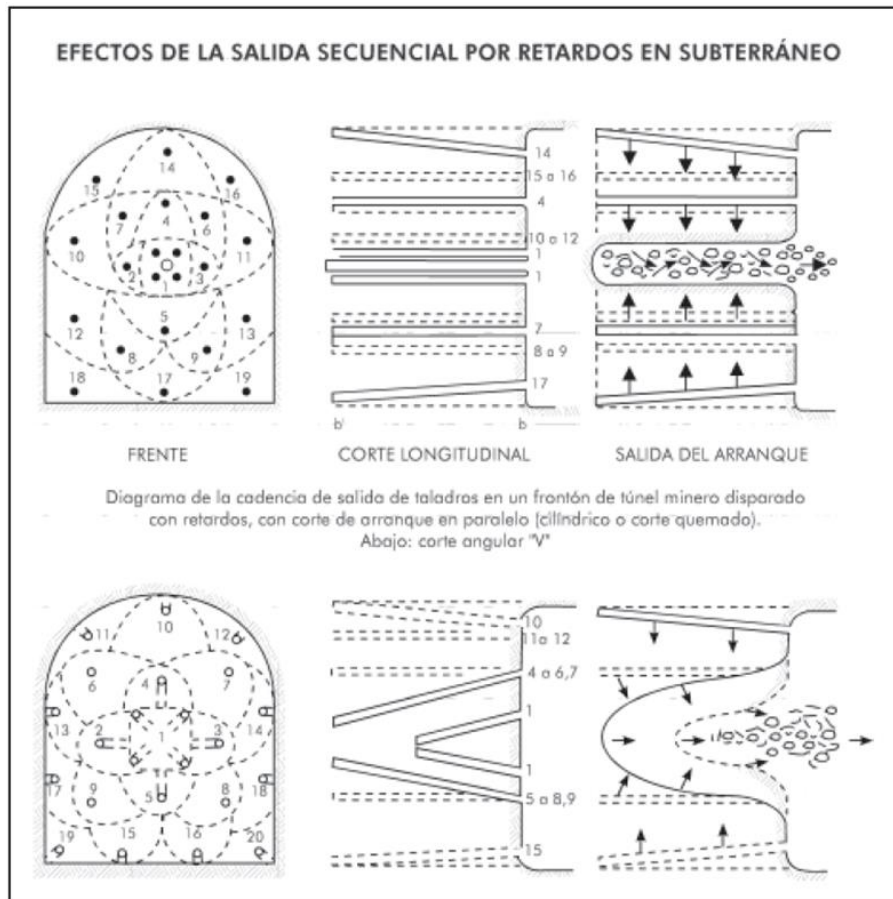


Figura 22. Secuencia de salida en voladura subterránea
Tomado de EXSA, 2000

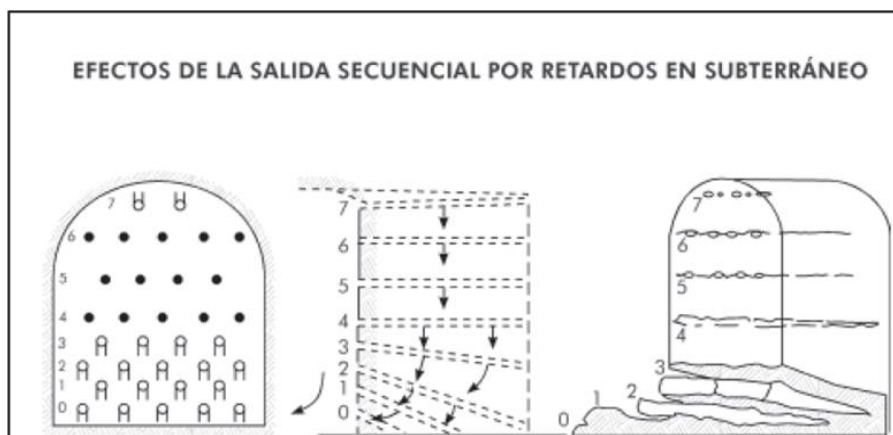


Figura 23. Secuencia de salida con corte al piso
Tomado de EXSA, 2000

2.2.8.13. Desviación del taladro

Pueden ser ocasionados por las siguientes razones: (16)

- Las propiedades estructurales de la roca (sean diaclasas, juntas abiertas con relleno, cambios litológicos, etc.) sobre todo cuando la perforación es oblicua a los ya mencionados.
- Error de alineación y emboquille, estos pueden ser provocados por un mal posicionamiento de las deslizaderas.

2.2.9 Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Como es mencionado en mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes (17), los sistemas de clasificación del macizo rocoso buscan evaluar al macizo rocoso en base a ciertas características para brindar su calidad de manera cuantitativa.

2.2.9.1. Clasificación de Bieniawski

Este sistema de clasificación propuesto por Bieniawski (1973), se basa en seis parámetros para evaluar la calidad del macizo rocoso. Estos son:

- **Resistencia a la compresión uniaxial de la roca:** puede ser determinado por medio de pruebas en el laboratorio; sin embargo, Bieniawski presentó en 1973 una estimación media de la resistencia a la compresión de ciertas rocas.
- **Designación de la calidad de roca o RQD:** parámetro referido a la calidad de la roca *in situ* al ser extraído por una perforación diamantina, fue propuesta como la clasificación de Deere (1967).
- **Espaciado de juntas:** toma como juntas a las distintas discontinuidades estructurales: diaclasas, fallas, planos de estratificación, etc. En base al espaciado que presenten.
- **Naturaleza de las juntas:** toma en cuenta las características geomecánicas de las discontinuidades.

- **Presencia de agua:** cuenta con una subclasificación de flujo de agua, goteo, muy húmedo, húmedo y seco, así como el flujo de agua en l/min por cada 10 metros de túnel
- **Orientación de las discontinuidades:** basado en esto con referencia a la orientación de la excavación permite reajustar el valor RMR obtenido para determinar el tipo de sostenimiento a emplear.

Dichos parámetros obtienen una valoración numérica de acuerdo a su condición. Estos valores se pueden observar en la plantilla de cálculo del RMR de Bieniawski:

Tabla 8. Plantilla de cálculo de Bieniawski

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión Simple		
		Compresión Simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	50 - 25	< 25		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
3	Separación entre diaclasas (m)		> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.5	< 0.06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Longitud de la discontinuidad (m)		< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20		
	Puntuación		6	4	2	1	0		
	Abertura (mm)		Ninguna	< 0.1	0.1 - 1.0	1.0 - 5.0	> 5.0		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
	Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
	Relleno (mm)		Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5		
	Puntuación		6	4	2	2	0		
	Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min		
		Relación Agua/tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Tomado de MIET, 2015

Estos parámetros, a su vez, cuentan con un factor de corrección basado en las discontinuidades y la orientación de la excavación según dichas discontinuidades.

Tabla 9. Corrección por orientación de discontinuidades

Dirección y buzamiento	Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntuación	0	-2	-5	-10	-12

Tomado de MIET, 2015

Tabla 10. Orientación de discontinuidades en el túnel

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0 - 20 en cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz 45- 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Tomado de MIET, 2015



Figura 24. Orientación de la excavación acorde a la discontinuidad

Tomado de MIET, 2015

La suma de los valores de los parámetros nos da un valor que oscila entre 0 y 100, lo cual permite clasificar la calidad de la roca y un tiempo de autosoporte aproximado del macizo rocoso. (18)

Tabla 11. Clasificación del macizo rocoso según RMR

RMR	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	< 20
CLASE	I	II	III	IV	V
DESCRIPCIÓN	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
TIEMPO DE AUTO SOPORTE	10 años para 5 m	6 meses para 4 m	1 semana para 3 m	5 horas para 1.5 m	10 min para 0.5 m
COHESIÓN (kPa)	> 300	200 - 300	150 - 200	100 - 150	< 100
ÁNGULO DE FRICCIÓN	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

Tomado de MIET, 2015

2.2.9.2. Índice GSI (índice de resistencia geológica)

Es un índice que evalúa el macizo rocoso en base a dos criterios: la estructura geológica del macizo rocoso y la condición de la superficie de sus juntas. (19) Fue propuesto por Hoek en 1995. La caracterización se vuelve simple con el empleo de un diagnóstico visual al nivel de bloques y condición superficial de las discontinuidades proporciona la base practica de la descripción de macizos rocosos en un rango amplio. (18)

Con su modificación por Vallejo (2002) se obtiene un índice de uso práctico y una forma sencilla de clasificar al macizo rocoso y el sostenimiento recomendado a emplear. Dichas tablas modificadas son sencillas de usar para los trabajadores; pero su adecuación, evaluación y revisión de aplicación es responsabilidad del área especializada de geomecánica. (19)

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN GSI MODIFICADO		CONDICIÓN SUPERFICIAL					
Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal medidas in situ con un filarómetro, la más vulnerable afecta esta condición. Para la resistencia se toma en cuenta la condición de fracturas (apertura, alteración, rugosidad, relleno y recubrimiento).		MUY BUENA (MB) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS O IRREGULARES (ONDULADAS, INALTERADAS, CERRADAS (Rc>250 MPa) (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA))					
Si las fracturas están cerradas o levemente abiertas, se determina la resistencia golpeando o indentando la roca (resistencia de la roca intacta).		BUENA (B) DISCONTINUIDADES RUGOSAS Y ONDULADAS, PRESENTA SUPERFICIE CON OXIDACIÓN, LUER: ABIERTA 1-2mm. (Rc 100-250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)					
En la caracterización del macizo rocoso no se toma en cuenta la presencia de agua, estado tensional y los métodos constructivos.		REGULAR (R) DISCONTINUIDADES LISAS, ONDULADAS CON RECUBRIMIENTO DE SERRITA Y CLORITA, MODERADAMENTE ABIERTA DE 2-5mm. (Rc 50-100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)					
CLASIFICACIÓN CUALITATIVA		POBRE (P) SUPERFICIE LISA, PLANAS CON ESTRÍAS, ABIERTA DE 5mm A 1cm, CON RECUBRIMIENTO DE SERRITA Y CAOLIN, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 25-50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)					
ESTRUCTURA		MUY POBRE (MP) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRÍADA, INTERNA, ALTERNADA Y MUY ABIERTA >1cm, RELLENO DE FRAGMENTOS EN MATRIZ BLANDA O PANZO (Rc < 25 MPa) (SE DESGARRA O INDENTA PROFUNDAMENTE)					
LEVEMENTE FRACTURADA (LF)		100cm	—	—	—	—	1m ³
TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SÍ. (RQD 75 - 100) (1 A 5 FRACT. POR METRO) 20cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<100cm.		50cm	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	—
MODERADAMENTE FRACTURADA (F)		20cm	—	—	—	—	—
TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MODERADAMENTE ESPACIADAS ENTRE SÍ (RQD 50 - 75) (6 A 10 FRACT. POR METRO) 10cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<20cm		15cm	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP
MUY FRACTURADA (MF)		10cm	—	—	—	—	—
CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25 - 50) (11 A 20 FRACT. POR METRO) 5cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<10cm.		8cm	—	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
INTENSAMENTE FRACTURADA (IF)		6cm	—	—	—	—	—
PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO FRAGMENTOS ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25) (MÁS DE 20 FRACT. POR METRO) 2cm<ESPAC. ENTRE DIACLASAS<5cm.		4cm	—	—	IF/R	IF/P	IF/MP
TRITURADA (T)		2cm	—	—	—	T/P	T/MP
MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DESGARRABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS EN MATRIZ ARCILLOSA (SIN RQD)		1cm	—	—	—	T/P	T/MP
C. VALLEJO, 2011		12	4.5	1.7	0.67	0.25	0.1
		FACTOR DE ESTADO DE LAS DIACLASAS, Jc					

Figura 25. GSI modificado (Vallejo, 2002)

2.2.9.1. Situaciones de riesgo en excavaciones

A continuación, indicamos lagunas de las situaciones de riesgo presentes durante la excavación de obras subterráneas y que pueden poner en riesgo la seguridad del personal que trabaja en las mismas, dichas situaciones son: (18)

- **Orientación desfavorable de la excavación**

Una excavación hecha contra el buzamiento presenta el riesgo de deslizamiento de los estratos del frente y hastial hacia la excavación por lo cual es necesario aplicar un sostenimiento provisional hasta la instalación del sostenimiento permanente. Se recomienda realizar el avance en sentido favorable al sistema principal de discontinuidades. (20)



*Figura 26. Excavación con avance favorable a las discontinuidades
Tomado de SNMPE, 2004*

- **Sobre excavación:** independientemente de las fracturas originadas de la voladura, el grado de fracturación del macizo es directamente proporcional a la probabilidad de formación de sobre excavación en el macizo rocoso. Se recomienda empleo de voladura de contorno y reducción de la longitud de perforación de ser necesario.

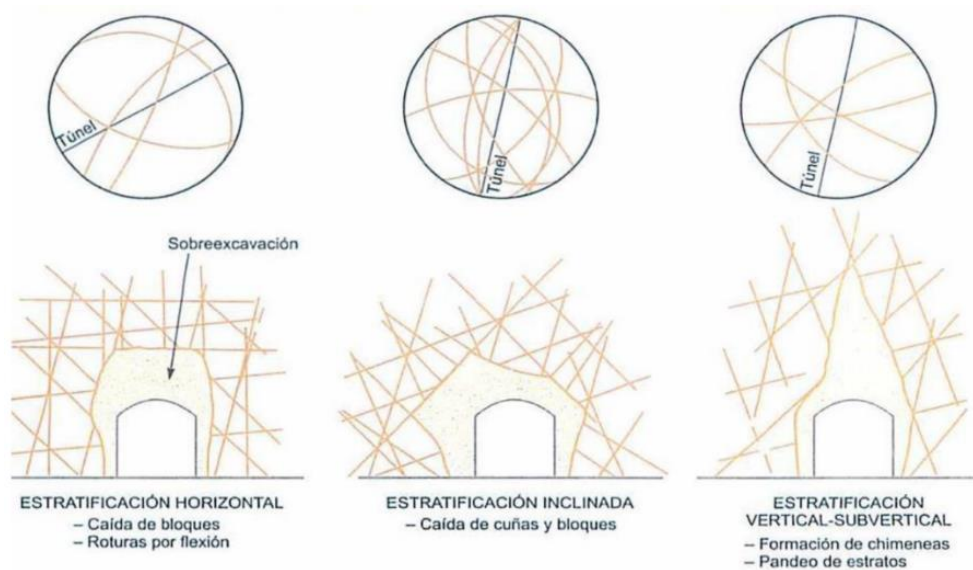


Figura 27. Ejemplos de sobre excavaciones
Tomado de Gonzales de Vallejo et al, 2004

- **Cuña de rocas**

Al cortarse 3 discontinuidades se forman cuñas en el macizo rocoso altamente inestables, donde las vibraciones originadas por la voladura pueden facilitar su caída.

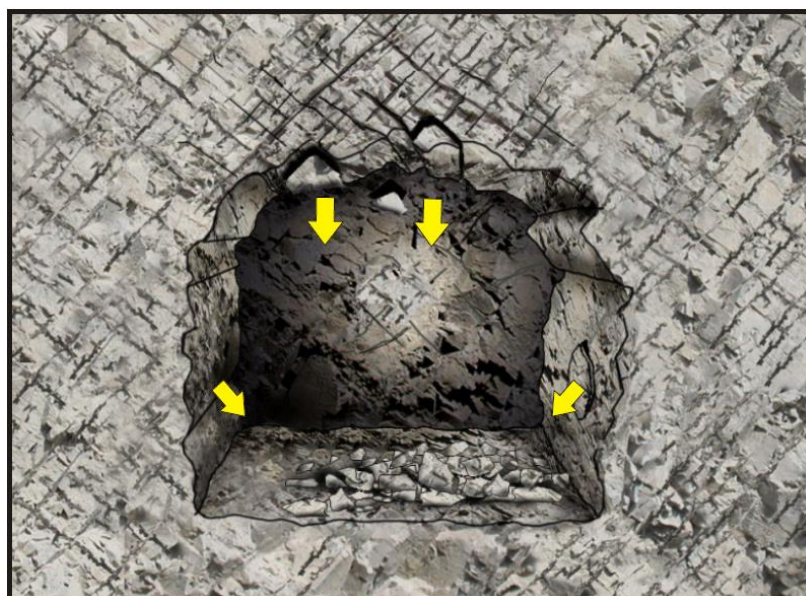


Figura 28. Macizo rocoso con alta presencia de cuñas
Tomado de SNMPE, 2004

- **Alternancia de rocas**

La excavación en terrenos que presentan distintas calidades geomecánicas requiere refuerzos en el sostenimiento cuando el avance se acerca a un cambio litológico. Los principales riesgos que presentan estas alternancias son: derrumbes por acumulación de tensiones, zonas fracturadas, presencia de agua, etc.

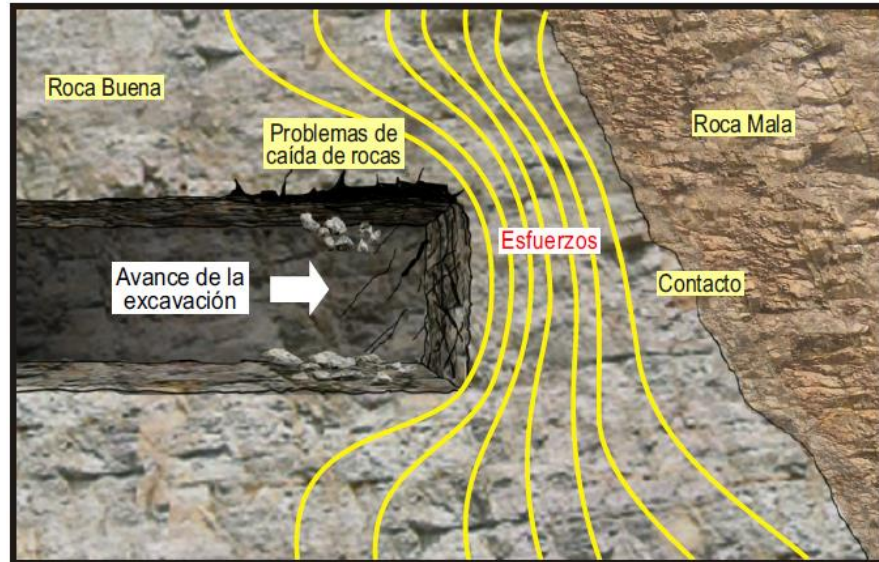


Figura 29. Alternancia de roca de buena calidad a mala calidad
Tomado de SNMPE, 2004

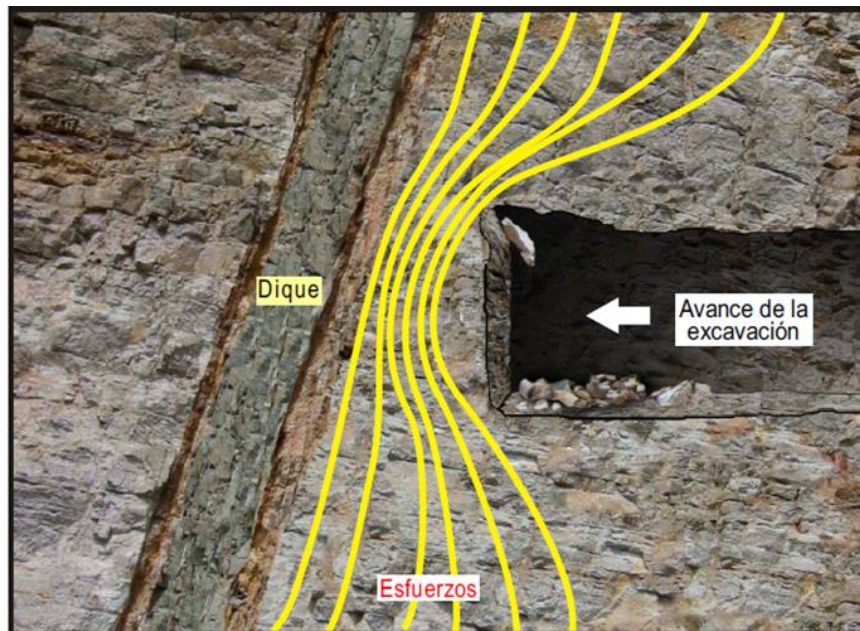


Figura 30. Alternancia de roca buena hacia estructura principal
Tomado de SNMPE, 2004

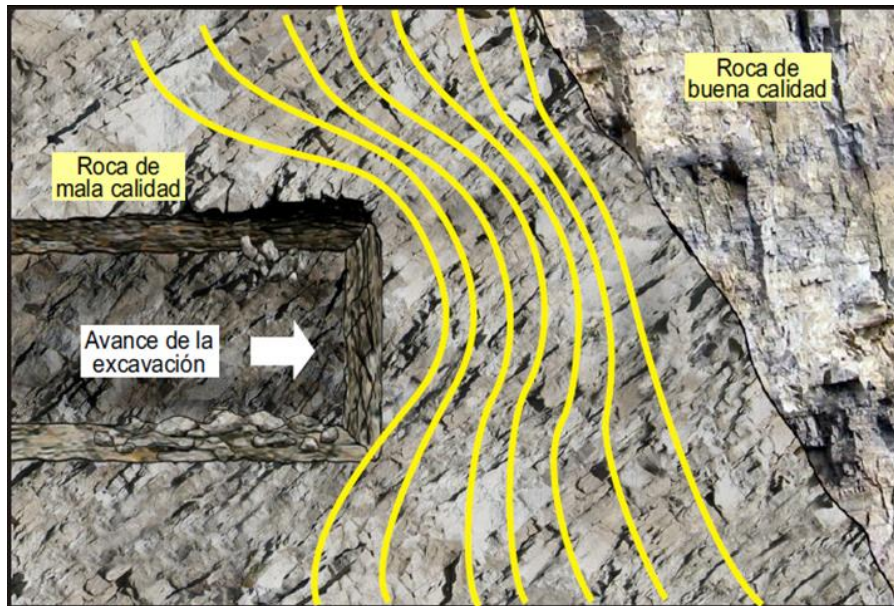


Figura 31. Alternancia de roca mala a roca buena
Tomado de SNMPE, 2004

- **Factores tectónicos**

La presencia de fallas en excavaciones mineras esté ligado a los principales incidentes en las mismas dado que existe la probabilidad que se desprendan bloques de roca del terreno existente entre la galería y la falla. Se recomienda alejar la excavación de la falla o realizar refuerzos en los tramos con la peor calidad geotécnica.

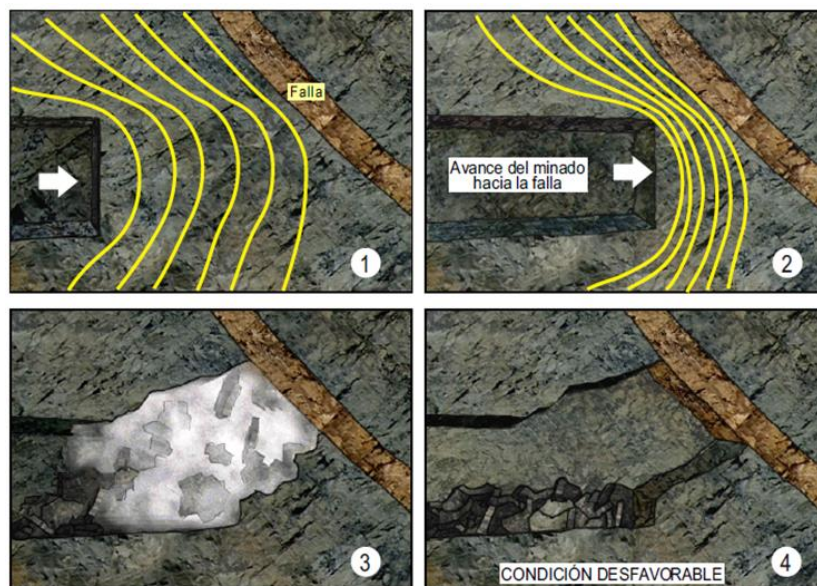


Figura 32. Avance desfavorable en presencia de falla
Tomado de SNMPE, 2004



Figura 33. Avance favorable en presencia de falla
Tomado de SNMPE, 2004

- **Factores geométricos**

Por la distribución de las presiones, la forma geométrica de mayor resistencia es la circular, seguida de las de arco en herradura y culminando en las cuadradas o rectangulares; siendo estas últimas no recomendables por su inestabilidad y tendencia a desarrollar fracturas.



Figura 34. Excavación con geometría favorable
Tomado de SNMPE, 2004



*Figura 35. Excavación con geometría desfavorable
Tomado de SNMPE, 2004*

2.2.9.2. Consideraciones geomecánicas

a) Efectos de la voladura en el macizo rocoso

La voladura tiene el objetivo principal de fragmentar la roca ocasionando daños menores a la roca remanente. Una voladura que no cumple esto genera sobre excavación, problemas de estabilidad, daño en equipos, mayor sostenimiento y dilución de mineral en zonas de tajeo (19). Osinergmin (2017) plantea las siguientes recomendaciones con respecto a la voladura:

- Determinar un factor de carga (Kg/m) y un factor de potencia (Kg/ton) a las labores que comparten un mismo tipo de macizo rocoso.
- Conocer las propiedades del macizo rocoso y las discontinuidades que presente y la presencia de agua para obtener un buen rendimiento de la voladura.
- Tener cuidado en la selección del diámetro de taladro, conseguir un correcto espaciamiento.
- Reducir los errores por emboquille y desviación de taladros, manteniendo la inclinación del diseño.

- Realizar una correcta selección del tiempo de retardo y secuencia de detonación adecuada para disminuir la vibración en los hastiales.
- Optimización del diseño de voladura debe incluir los detonadores, selección de explosivos, secuencia de iniciación, diámetro de taladro, geometría de la excavación y tiempo de voladura; todo ello basado en el macizo rocoso a volar.
- Realice revisiones continuas de la perforación y voladura, con el fin de asegurar que los daños al perímetro de la excavación sean mínimos.

b) Tamaño y geometría de excavación

Las dimensiones de la excavación deben mantener una compatibilidad con las condiciones geo estructurales del macizo rocoso; esto considera la forma del perímetro, orientación de discontinuidades y los esfuerzos influyendo así de sobremanera en la estabilidad de la excavación. (19)

- El efecto arco mejora considerablemente la estabilidad del macizo rocoso, mientras que las formas esquinadas presentan lugares de alta concentración de esfuerzos.
- La forma de la excavación debe ir acorde a la estructura del macizo rocoso, en caso contrario deberá usar un mayor sostenimiento y por lo tanto el costo de sostenimiento aumentará.
- En ambientes de altos esfuerzos no se recomienda avanzar cerca de fallas geológicas por los esfuerzos que se presenta, las cuales incluso en rocas competentes puede producirse estallido de rocas.
- No amplíe el tamaño de la excavación en rocas de mala calidad, además considere que aumentar dicho tamaño incrementa los riesgos de exponer las rocas encajonantes a los rasgos estructurales.

c) Desate de rocas

La roca suelta en el macizo rocoso son producto de los altos esfuerzos inducidos o por la voladura, siendo necesario realizar su caída de forma controlada para

generar un ambiente de trabajo seguro (19). Es así que Osinergmin (2017) da las siguientes recomendaciones:

- Al realizar el desate preste mucha atención a identificar discontinuidades en el macizo, así como seguir los procedimientos de desate de roca establecidos.
- En la presencia de roca débil aplique el principio de “labor avanzada, labor sostenida” así como en labores con techos mayores a 3.5 metros realizar el desate mecanizado.

d) Tiempo de auto sostenimiento

Por medio de la clasificación de Bieniawski podemos darnos una idea del tiempo de auto sostenimiento de una labor excavada sin el sostenimiento; todo daño al macizo rocoso producto de la voladura tiende a desestabilizar los hastiales de la labor y reducir el tiempo de auto sostenimiento. (19) Osinergmin (2017) recomienda lo siguiente:

- Uso e implementación del ábaco de auto sostenimiento en la tabla geomecánica de la labor. Dicho ábaco debe ser de conocimiento de los trabajadores.
- Toda instalación de sostenimiento se realizará antes del vencimiento del tiempo de auto sostenimiento.
- Ante colapsos o derrumbes, se verificará si la instalación del sostenimiento se realizó en el tiempo respectivo.
- Una vez realizado el sostenimiento, el ábaco de auto sostenimiento ya no es aplicable.

2.3. Información general de la unidad minera Yauricocha

2.3.1. Ubicación política, geográfica e hidrográfica

La unidad minera Acumulación Yauricocha se ubica políticamente en el departamento de Lima, provincia de Yauyos distrito de Alis/Tomas/Laraos a una altura de 4640 m.s.n.m. (bocamina de acceso). Sus coordenadas son 12°18'58" S, 75°43'26.9"W (-12.316110, -75.724140 para Google maps); geográficamente se

localiza en las regiones puna y janca entre los 4500 y 4800 m s. n. m. e hidrográficamente se ubica en la cuenca del río Cañete abarcando las subcuencas del río Alis, la subcuenca del río Medio Alto Cañete y las microcuencas de las quebradas de Chumpe, Añe, Quillcasca y Pampamarca. (21)

2.3.2. Accesibilidad

Las principales rutas de acceso a la mina desde la ciudad de Lima tienen por vía principal la carretera central y la panamericana sur. Dichas rutas se detallan a continuación:

Tabla 12. Rutas de acceso a la unidad minera Acumulación Yauricocha

Ruta	Tramo	Distancia (Km)
Ruta 1	Lima – La Oroya – Pachacayo - Yauricocha	330
Ruta 2	Lima – La Oroya – Huancayo - Yauricocha	420
Ruta 3	Lima – Cañete – Lunahuana - Yauricocha	343

Tomado de Acevedo, 2019

La ruta 1 es asfaltada desde Lima a Pachacayo, desde este punto es afirmada hasta coincidir con la carretera Cañete – Yauyos donde retorna a ser asfaltada hasta el centro poblado de Tinco, de aquí a la mina es vía afirmada.

La ruta 2 es vía asfaltada desde la ciudad de Lima a Huancayo (carretera central) y de aquí hasta el poblado de Tinco.

La ruta 3 es vía asfaltada desde Lima hasta Cañete (panamericana sur) de aquí se toma la carretera Cañete – Yauyos hasta el poblado de Tinco.



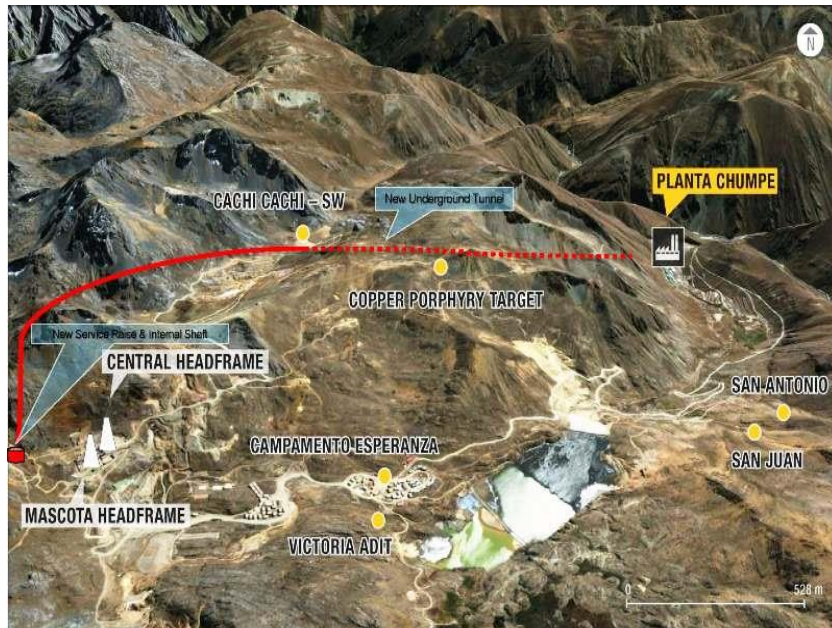
Figura 36. Ubicación de la unidad minera Yauricocha y sus vías de acceso
Tomado de Google Maps

2.3.3. Clima

Al encontrarse entre las regiones puna y janca, el clima lleva una tendencia a ser frío y seco. Durante la estación fría, la cual abarca del mes de mayo a octubre, la temperatura puede variar desde los 15°C durante el día hasta los 0°C durante la noche producto de las heladas mientras el periodo de lluvias, comprendido del mes de noviembre hasta abril, presenta lluvias, granizo y nieve durante la tarde y/o noche. (22)

2.3.4. Topografía

El terreno que comprende la unidad minera Acumulación Yauricocha presenta un aspecto empinado, cubierto principalmente por ichu y musgo típico de la región puna mientras en los picos escarpados de las montañas que rodean el valle principal el terreno es completamente escarpado llegando a una altitud promedio de 5000 m.s.n.m. (22)



**Figura 37. Vista aérea de la unidad minera Acumulación Yauricocha
Tomado de Revista ProActivo**

2.3.5. Geología local de Yauricocha

Ubicado en el cuadrángulo de Yauyos, las rocas más antiguas expuestas en Yauricocha son areniscas Goyllarisquizga, sobre estas se encuentra la caliza Machay del Cretáceo Medio, seguido de lutitas silificadas intercaladas de calizas recrystalizadas de la formación Celendín. Las intrusiones datan en su mayoría del Plioceno, los cuales presentan contactos definidos que tienden al rumbo regional de los planos de estratificación; su composición es principalmente granodiorítica y han producido aureolas metamórficas de gran desarrollo. (23)

2.3.5.1. Resumen estratigráfico

Tomando como referencia a Del Castillo (2006) la estratigrafía correspondiente al área de la mina es la siguiente:

Cuaternario	: Depósitos glaciares
Terciario	: Intrusivos (Complejo granodiorita, cuarzo monzodiorita) Capas Rojas Casapalca
Cretáceo Superior	: Formación Celendín (France-Chert)
Cretáceo Medio	: Calizas Jumasha
Cretáceo Inferior	: Formación Goyllarisquizga

a) Depósitos glaciares

Dichos depósitos se fueron dando tras el deshielo de la glaciación Punrun quedando con la denominación g1, la misma que comparten los valles del alto Cañete (nevados Ticlla y Llongote), río Yauli (macizos de la zona Ticlio – Morococha y domo Yauli) así como algunos ríos de la cordillera Oriental. (23)

b) Intrusivos

Granodiorita a cuarzo Monzonita componen principalmente los intrusivos, los cuales tienen contactos definidos y de gran ángulo con los sedimentos y de tendencia al rumbo regional y los planos de sedimentación.

c) Capas Rojas de Casapalca

Las capas rojas de Casapalca o también llamado Formación Casapalca sobreyace a la formación Celendín, componiéndose principalmente de lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojas. “Cerca a los sinclinales de Colca y Chongos alto las capas se intercalan con coladas de lava y piroclastos de composición andesítica.” (24)

d) Formación Celendín

Suele presentarse en afloramientos aislados en áreas cubiertas por suelos y vegetación. En ella pueden destacarse dos miembros: El miembro superior tiene un grosor variable entre los 300 m y 30 m producto de la erosión que precedió a la formación de las capas rojas; se compone de margas, calizas arcillosas, calizas y dolomitas en estratos delgados. El miembro inferior, sobre la base de la formación y contacto con la formación Jumasha presenta horizontes de yeso asociadas a calizas, lutitas rojas a beige y hasta areniscas. La edad de la formación Celendín esta datada como Coniaciense y Santoniense. (23)

e) Calizas Jumasha o formación Jumasha

Principalmente calcáreo, suele tener un grosor mayor a 400 m, siendo suprayacente a Celendín e infrayacente a la formación Pariatambo. En este contacto los cherts Pariatambo cambian bruscamente a calizas, dolomías y cherts

de Jumasha seguidos en la parte media de calizas en estratos delgados de un gris amarillento algo margosos y en la parte superior presenta calizas gris azulinas interestratificadas en estratos delgados y gruesos formando monoclinales. Destaca la descripción de von Hillebrandt en la zona del alto Cañete a la formación Jumasha en cuatro mega secuencias regresivas estratocrecientes cuyo grosor se incrementa secuencialmente en 50, 60, 130 y más de 150 metros, cada caliza se va alternando con margas y en su tope con calizas más macizas. Su edad probable es el Cenomaniano superior. (23)

f) Formación Pariatambo

Comparte similitudes con la formación Chulec, es suprayacente a esta y mucho más delgada (30 a 120 metros) Está representada por rocas de grano fino bituminosa o arcillo calcáreo bituminosas que suelen contener fósiles a veces parcialmente transformados en fosfato de calcio. También presenta intercalaciones de yeso de 10 a 30 cm asociadas a rocas de grano fino o dolomías claras. Su edad de formación se dio en el Albiano Medio.

g) Formación Chulec

Esta formación está compuesta de 5 secuencias grano crecientes: arcillas calcáreas de color gris oscuro y patina gris claro, lodolitas calcáreas arcillosas grises, limonitas calcáreas y *wackstones* bioturbados, *packstones* bioclásticos y *grainstones* oolíticos con bioclastos y algunos litoclastos. (23) Suele presentar *Sills* como intercalaciones volcánicas; además por la presencia de ciertos amonites su edad se establece en la mitad superior del Albiano Inferior.

h) Formación Pariahuanca

Presente en la cordillera occidental y las altiplanicies, su grosor disminuye en dirección al NE de forma paulatina. La columna principia con un lecho de arenisca cuarzo de grano grueso la cual tiene un fuerte contraste con las limonitas rojas del tope de la formación Carhuaz infrayacente (dicha formación es más notoria al suroeste del cuadrángulo de Yauyos), viene seguida de areniscas en bancos de 0.5 a 1 metro con cemento calcáreo y en ocasiones dolomitizado que se intercalan con

margas arenosas y estratificaciones oblicuas. Las calizas que siguen a estas se van tornando más calcáreas y la margarización se va haciendo más notoria, estas calizas son oolíticas con cemento micrítico esparídico con intraclastos y bioclastos; mientras que los 100 metros superiores de la formación son carbonatos con un 70% de calizas y un 30% de intercalaciones margosas. Por sus fósiles se le ha asignado en el Albiano Inferior.

i) Formación Goyllarisquizga

Presenta una discontinuidad basal sobresaliente y extensa, siendo una discordancia que sobreyace de manera paralela y erosiva a las formaciones Chaucha (cordillera Occidental) y al grupo Pucará (formación Condorsinga). En la zona inferior incluye conglomerados con cantos de calizas o cherts extendidas localmente de la base de formaciones infrayacentes y con longitudes entre 100 y 150 metros. Estos conglomerados se caracterizan por columnas de areniscas de grano fino de color blanco o gris claro con manchas de oxidación, limonitas y lutitas

2.3.6. Sobre la rampa 5965 SE

La rampa 5965 SE está clasificada como una rampa de desarrollo, se ejecuta en una sección de 3.5 metros por 3.5 metros a una pendiente de 14 %. Su sostenimiento se basa principalmente en pernos helicoidales de 7', malla electrosoldada de 3"; su función principal es la de rampa de acceso principal a los tajos de alta ley de la zona Contacto Sur Medio: TJ.8167, Tj.6060 y TJ.1590 y al piso 0 del nivel 1120 (Profundización).

2.4. Definición de términos básicos

- **AMEF.** Son las siglas del Análisis de Modo y Efecto de Falla; es un método analítico que permite identificar problemas potenciales y sus consecuencias para tenerlos en cuenta en el proceso y evitar su ocurrencia de ser posible. (25)
- **Labor.** Refiérase a todo trabajo de excavación hecho en la roca sin importar su dirección, inclinación o tamaño. (26)

- **Modo de falla.** Forma o manera en la que un proceso o producto podría fallar para cumplir con la intención de diseño o requerimientos del proceso. (25)
- **Efecto potencial de falla.** Son los efectos del modo de falla tal y como lo perciben los clientes o usuarios finales. (25)
- **Diseño de labor.** Parámetros establecidos a las labores con respecto a su dimensión y elementos (cunetas, gradiente, alcayatas de servicios, etc.) (26)
- **Sobre excavación.** Es el efecto de una voladura deficiente, se caracteriza por provocar un aumento no deseado de la sección de la labor. (19)
- **Pendiente.** Corresponde a la diferencia de la elevación en metros en base a 100 metros horizontales y se expresa en términos porcentuales. (27)
- **Elementos de sostenimiento.** Elementos estructurales que son colocados en la labor con el fin de estabilizar la presión y evitar su colapso. (28)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

Investigación aplicada a un nivel de investigación descriptivo; el cual especificará el fenómeno a estudiar y su comportamiento en un contexto particular. (29) Para realizar la descripción solo se requiere de medir o recoger información sobre las variables en estudio, más no estudia la relación de las mismas. (30)

3.1.2. Alcance de la investigación

La investigación tendrá un alcance descriptivo y causal; el primero, dado que busca medir o recoger información de la variable; mientras el causal se aplica netamente a variables dependientes como parte de los objetivos específicos del estudio. (30)

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será experimental con grupos de control con preprueba - posprueba; esto debido a la necesidad de un comparativo de resultados previo a la aplicación del AMEF con los resultados de la aplicación del AMEF con respecto a la productividad del ciclo de minado de frentes.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Rampas de desarrollo 5965 SE en el cuerpo Contacto Sur Medio en la unidad minera Yauricocha en la zona V.

3.3.2. Muestra:

Se optó por una muestra no probabilística; tomando para ello a la rampa 5965 SE ubicada en el cuerpo Contacto Sur Medio del nivel 1120 Piso 05 en un tramo de 270 metros.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La recolección de datos siempre tiende a realizarse por medio de instrumentos de medición que deben ir de acuerdo a las variables y su definición operacional con el fin de obtener datos confiables, válidos y objetivos, además de ser compatibles con los recursos disponibles. (30) Es así que el formato de muestra de AMEFP se convierte en un instrumento de recolección de datos que recopila de una forma precisa y confiable gran parte de los datos de las variables de estudio para el cumplimiento de los objetivos tanto en el antes y después de la aplicación del AMEF de proceso en el ciclo de minado de la rampa 5965 SE.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultado del tratamiento y análisis de la información

Los 270 metros designados como muestra se subdividen en los grupos de preprueba y posprueba a la aplicación del análisis de modo y efecto de falla en el proceso; los cuales tendrán un total de 45 muestras respectivamente con un valor de 3 metros de avance aproximado. Para el análisis de la información se procedió a realizar en primer lugar la prueba de Anderson – Darling para determinar que los datos presentaran una distribución normal con un valor $\alpha = 0.05$ (grado de confiabilidad al 95 %)

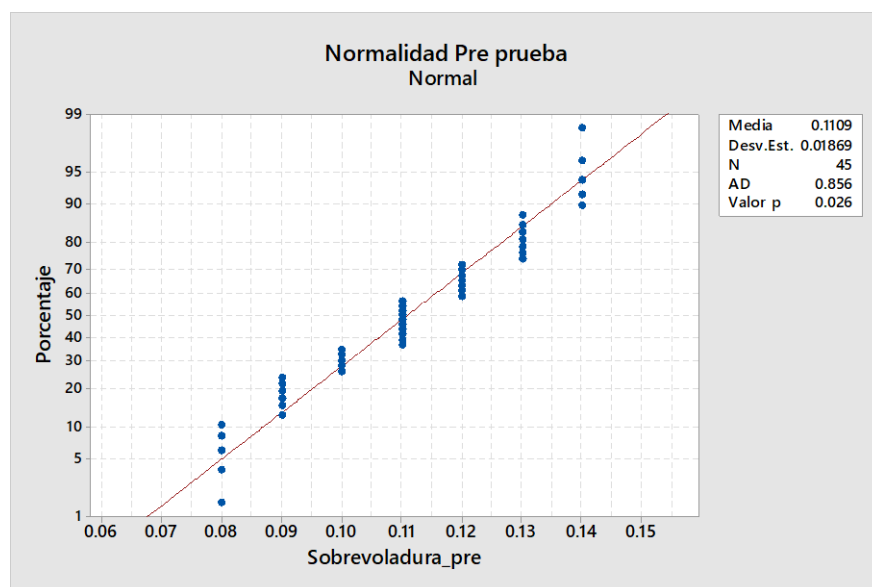


Figura 38. Prueba de normalidad de la sobre voladura en la pre - prueba

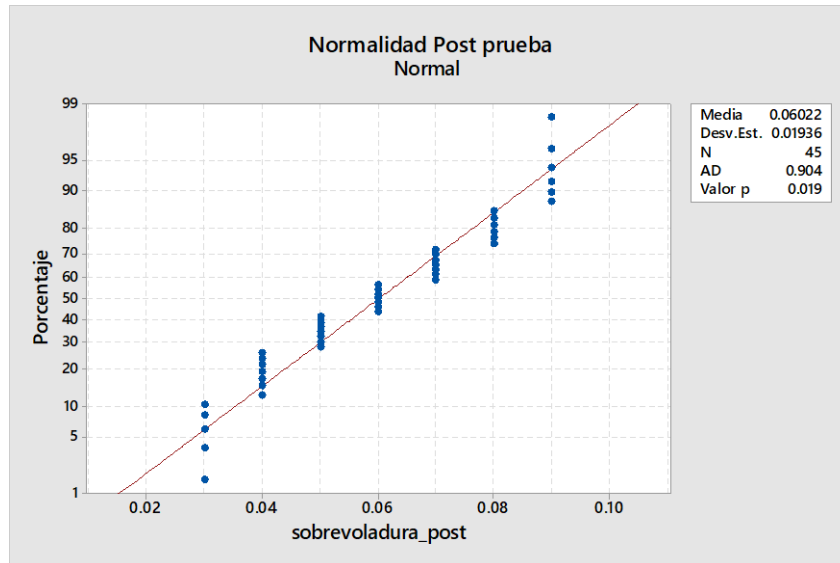


Figura 39. Prueba de normalidad de la sobre voladura en la post prueba

Para ambos casos, el valor p es menor al valor α , considerando así que ambas muestras presentan una distribución normal.

En cuanto a las causas de la sobre rotura y la mala instalación de los elementos de sostenimiento, por medio de la aplicación del AMEF se pudo constatar lo siguiente:

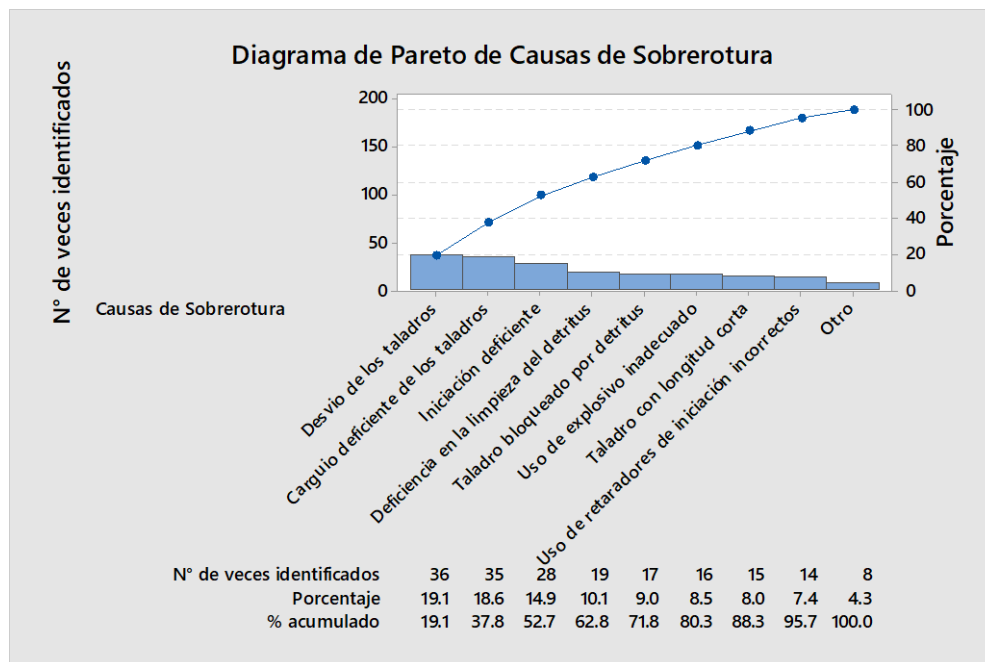


Figura 40. Pareto de causas de sobre rotura durante la ejecución de la rampa 5965 SE

La mayor causante de sobre rotura durante el proceso de minado de la Rp. 5965 SE es el desvío de los taladros durante la perforación representando un 19.1 % de las causas encontradas. En las ocasiones que se encontró este error se logró evidenciar que no se estaba realizando un correcto uso de los guiadores por omisión o por acelerar la perforación del frente.

En cuanto al carguío deficiente, este representa un 18.6 % de las causas encontradas; se logró determinar que los explosivos no habían sido atacados correctamente por la necesidad de realizar el disparo en esa misma guardia, esto en ocasiones por un retraso en el resto del ciclo de minado (limpieza y sostenimiento), el taladro se quedó trabado por los detritus (9 %) o por la falta de explosivos e iniciadores adecuados para la voladura acorde a los estándares (8.5 % y 7.4 % respectivamente). Estas dos últimas causas suelen aparecer en conjunto a causa del desabastecimiento en los polvorines o incluso por un sobre consumo en ciertos explosivos y accesorios (sobre todo en los retardadores).

La deficiencia de limpieza por detritus se denota en aquellas perforaciones tardías (aproximadamente de 2 a 3 horas antes del cambio de guardia) donde la presión de agua en la mina tiende a disminuir mientras que el bloqueo de los talador por detritus se presentó de forma constante en una determinada longitud de trabajo donde se atravesó un terreno inestable donde incluso se requirió el uso de shotcrete y por último los taladros de longitud corta, estos se presentaban durante los giros de la rampa y en ocasiones eran sobrecargados de forma accidental, generando una sobre rotura notable en comparación a la curva del proyecto.

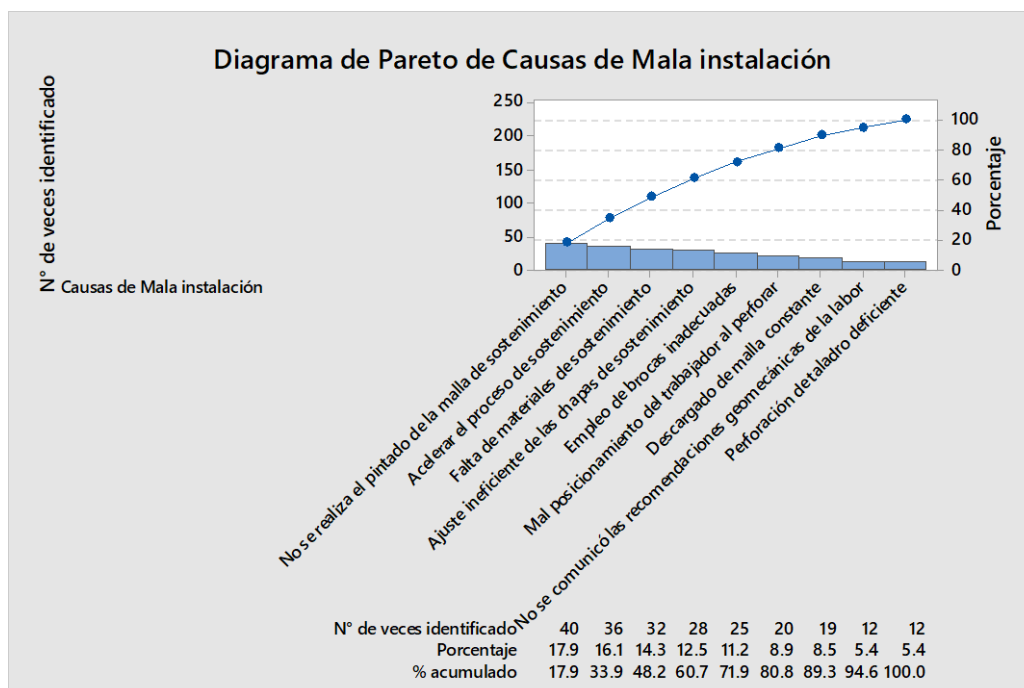


Figura 41. Pareto de causas de mala instalación de los elementos de sostenimiento

La causa principal de la mala instalación de los elementos de sostenimiento es la falta de pintado de la malla de sostenimiento (17.9 %); este hecho es algo muy repetitivo no solo en la Rp.5965 SE sino en otras labores de desarrollo o avance, por estándar la malla de perforación debe encontrarse por encima de la línea gradiente y sin embargo cada vez que se realiza la supervisión la malla llega a ubicarse hasta 0.5 m por debajo de dicha línea, la cual usualmente no llega a estar pintada y el espaciamiento no tiende a ser el correcto, sino que los operadores tienden a guiarse al tanteo.

En cuanto a la aceleración del proceso de sostenimiento (16.1 %), se debe a la necesidad de realizar el disparo en esa guardia o culminar sostener la labor tras la demora del proceso de limpieza de la labor o en ocasiones va de la mano con la falta de materiales de sostenimiento (14.3 %). Esto, en la temporada pre pandemia, solía ser un problema puntual que se daba rara vez por realizar sostenimiento de labores fuera del programa de trabajo semanal y fue aumentando su tendencia debido a la falta de operadores logísticos para el ingreso y distribución de los materiales (su traslado se realiza por locomotora y telehandler respectivamente)

4.1.1. Cálculo del número prioritario de riesgo previo al estudio

Para poder determinar las fallas que merecen una mayor atención sobre nuestro estudio, el análisis de modo de falla y sus efectos realiza un cálculo basado en la severidad, ocurrencia y detección de las fallas y sus causas, todo este cálculo se realizó previo a la aplicación del análisis de modo y efecto de falla en la rampa 5965 SE. Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 13. Cálculo de los índices de NPR previo a la aplicación del AMEF

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	PROCESO ACTUAL		RPN
					OCURRENCIA	DETECCIÓN	
1	LIMPIEZA	El equipo presenta desperfectos mecánicos	8	Interrupción mayor	6	3	144
2	LIMPIEZA	Camaras de acumulación llenas	7	Interrupción significativa	7	8	392
3	DESATE	Roca colgante de los hastiales o corona	9	Fallo en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	3	2	54
4	SOSTENIMIENTO	Elementos de sostenimiento mal instalados	9	Fallo en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	8	6	432
5			4	Interrupción menor	7	6	168
6			5	Interrupción moderada	4	6	120
7			2	Interrupción de poca importancia	3	6	36
8			7	Interrupción significativa	6	7	294
9			6	Interrupción moderada	5	3	90
10			4	Interrupción menor	2	4	32
11			4	Interrupción menor	2	6	48

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	PROCESO ACTUAL		RPN
					OCURRENCIA	DETECCIÓN	
12	SOSTENIMIENTO	Elementos de sostenimiento mal instalados	3	Interrupción menor	3	6	54
13	SOSTENIMIENTO	Malla por debajo de la línea razante	4	Interrupción menor	6	6	144
14	SOSTENIMIENTO	Cambio en el macizo rocoso	7	Interrupción significativa	2	6	84
15	SOSTENIMIENTO	Sobrerotura	6	Interrupción moderada	4	4	96
16	SOSTENIMIENTO	Sobre pasar el tiempo de autosostenimiento	7	Interrupción significativa	5	5	175
17	SOSTENIMIENTO	Retraso en el sostenimiento	7	Interrupción significativa	6	7	294
18	PERFORACIÓN	Desvío de taladros	6	Interrupción moderada	3	5	90
19	PERFORACIÓN	El equipo presenta desperfectos mecánicos	8	Interrupción mayor	6	3	144
20	PERFORACIÓN	Baja presión de agua	7	Interrupción significativa	6	5	210
21	PERFORACIÓN	Rotura de barrenos	7	Interrupción significativa	2	3	42
22	PERFORACIÓN	Fuga de aceite de la perforadora	8	Interrupción mayor	4	3	96
23	CARGUIO Y VOLADURA	Retraso en el carguío	8	Interrupción mayor	6	5	240
24	CARGUIO Y VOLADURA	La carguío no emplea los explosivos indicados	6	Interrupción moderada	6	6	216
25	CARGUIO Y VOLADURA	Carguío incompleto del taladro	6	Interrupción moderada	4	6	144
			6	Interrupción moderada	4	6	144
26	CARGUIO Y VOLADURA	La fuerza detonante se encuentra mal dirigida	6	Interrupción moderada	4	5	120

4.1.2. Cálculo del número prioritario de riesgo posterior al estudio

El cálculo de los siguientes NPR corresponde a las fallas y sus causas tras aplicar las soluciones propuestas que se determinaron tras la aplicación del análisis de modo y efecto de falla

Tabla 14. Cálculo de los índices de NPR posterior a la aplicación del AMEF

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	RESULTADO DE LAS ACCIONES			
			SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
1	LIMPIEZA	El equipo presenta desperfectos mecánicos	5	4	3	60
2	LIMPIEZA	Camaras de acumulación llenas	6	5	3	90
3	DESATE	Roca colgante de los hastiales o corona	8	2	2	32
4	SOSTENIMIENTO	Elementos de sostenimiento mal instalados	7	5	4	140
5			3	5	3	45
6			4	2	5	40
7			2	2	4	16
8			6	4	4	96
9			6	3	2	36
10			3	1	3	9
11			4	1	4	16
12			3	2	3	18
13	SOSTENIMIENTO	Malla por debajo de la linea razante	3	5	4	60
14	SOSTENIMIENTO	Cambio en el macizo rocoso	7	2	4	56
15	SOSTENIMIENTO	Sobrerotura	6	3	3	54
16	SOSTENIMIENTO	Sobre pasar el tiempo de autosostenimiento	7	4	4	112
17	SOSTENIMIENTO	Retraso en el sostenimiento	7	4	4	112

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	RESULTADO DE LAS ACCIONES			
			SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
18	PERFORACIÓN	Desvío de taladros	5	2	3	30
19	PERFORACIÓN	El equipo presenta desperfectos mecánicos	7	4	3	84
20	PERFORACIÓN	Baja presión de agua	6	5	4	120
21	PERFORACIÓN	Rotura de barrenos	6	2	2	24
22	PERFORACIÓN	Fuga de aceite de la perforadora	5	4	3	60
23	CARGUIO Y VOLADURA	Retraso en el carguío	5	4	4	80
24	CARGUIO Y VOLADURA	La carguío no emplea los explosivos indicados	5	4	4	80
25	CARGUIO Y VOLADURA	Carguío incompleto del taladro	5	2	4	40
			5	3	4	60
26	CARGUIO Y VOLADURA	La fuerza detonante se encuentra mal dirigida	5	2	4	40

Podemos notar la diferencia de NPR entre los mismos ítems en el antes y después de la aplicación del análisis de modo u efecto de falla; asimismo, esto indica que su aplicación resultó en ciertas mejoras al proceso.

4.2. Prueba de hipótesis

Con el fin de determinar la influencia del análisis de modo y efecto de falla, se procede a realizar la prueba de hipótesis por diferencia de medias o prueba t – student; esta prueba permite evaluar la diferencia de medias de dos grupos, de esta manera plantea que la hipótesis nula es aceptada si no hay una diferencia de medias significativa y la hipótesis alternativa plantea que si existe diferencia de medias significativa. (30)

Tomando esto como base, el planteamiento de la prueba de hipótesis es la siguiente:

H_0 = "La aplicación del análisis de modo y efecto de falla de proceso no permite el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE mediante el seguimiento constante en base a la detección de fallas en el proceso y su evaluación con el fin"

H_1 = "La aplicación del análisis de modo y efecto de falla de proceso permite el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE mediante el seguimiento constante en base a la detección de fallas en el proceso y su evaluación con el fin"

IC y Prueba T pareada: Sobrevoladura_pre; sobrevoladura_post

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Sobrevoladura_pre	45	0.11089	0.01869	0.00279
sobrevoladura_post	45	0.06022	0.01936	0.00289

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
0.05067	0.02734	0.00408	(0.04245; 0.05888)

diferencia_μ: media de (Sobrevoladura_pre - sobrevoladura_post)

Prueba

Hipótesis nula H_0 : diferencia_μ = 0
 Hipótesis alterna H_1 : diferencia_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
12.43	0.0000

Podemos notar que el valor p es menor al valor de α ; por lo tanto, se niega la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto puede comprobarse por medio del siguiente gráfico donde la H_0 es rechazada y a su vez se verifica la no presencia de datos atípicos:

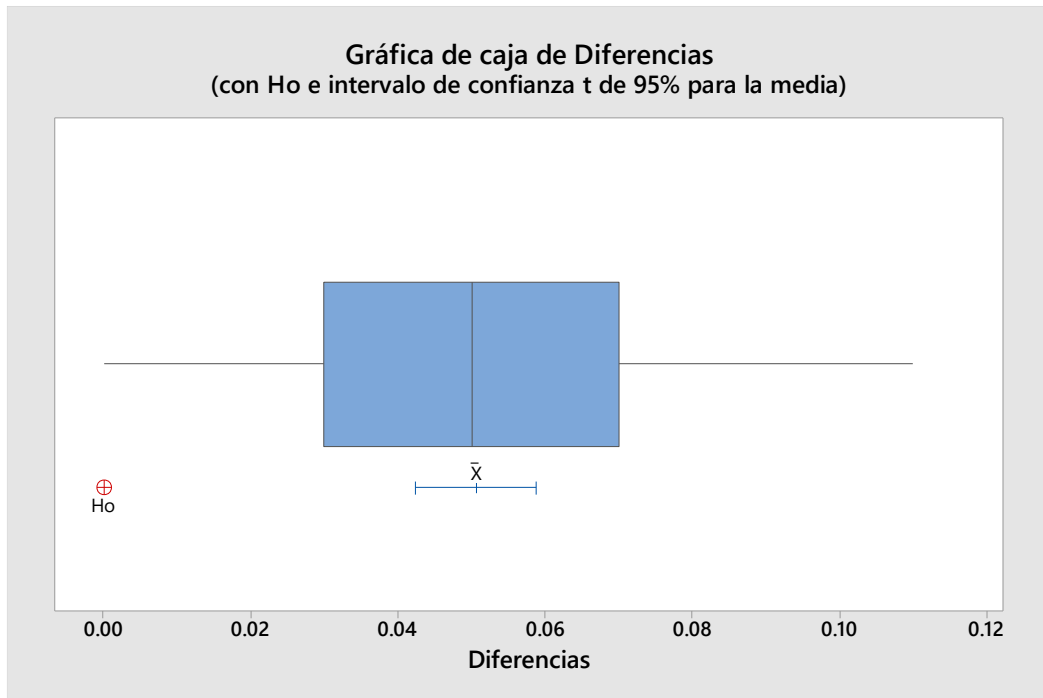


Figura 42. Gráfico de cajas y bigotes de la prueba t

4.3. Discusión de resultados

Tras la implementación del análisis de modo y efecto de falla para el control del ciclo de minado, se observó que la reducción de sobre rotura era significativa en comparación al escenario cuando no estaba implementado. Tenemos presente esto en la comparación de medias que se reduce de un 0.05067, lo cual representa un 45.69 % menos de la media inicial; además que por medio de la prueba de t – student se demostró que nuestra hipótesis alternativa es acertada.

En cuanto a los objetivos secundarios, se determinó que la causa principal de la sobre rotura es el desvío de taladros, seguido del carguío ineficiente y el tapado de los taladros por detritus como se detalla en la figura 8. Dichas causas se controlaron por medio de la re instrucción, la supervisión activa en la labor; las causas secundarias también presentaron un control (esto con el fin de evitar que generen un mayor perjuicio con el paso del tiempo como se vio con uno de ellos) más específico de acuerdo a las condiciones de los mismos. Todas estas acciones provocaron que se redujera la ocurrencia de los mismos.

Mientras que la causa principal de la mala instalación de los elementos de sostenimiento era la falta del pintado de la malla de sostenimiento, la aceleración del proceso de sostenimiento y la falta de materiales de sostenimiento son las causas principales de la mala instalación de los elementos de sostenimiento como se observa en la figura 9. Dichas causas se controlaron por medio de la supervisión activa en la labor, replanteo del proceso de sostenimiento, coordinación de trabajos con los encargados del ingreso de materiales y a su vez se presentó el control en las causas secundarias para evitar a largo plazo el desperdicio de materiales de sostenimiento. Podemos detallar esto en las tablas 8 y 9 del cálculo de los números de probabilidad de riesgo llevados a cabo antes y después de la aplicación del análisis de modo de falla y sus efectos.

En el estudio previo, se puede observar que los ítems con el mayor índice de número prioritario de riesgo son los ítems 2, 4, 8 y 17 (cámaras de acumulación llenas, elementos de sostenimiento mal instalados por acelerar el proceso y falta de materiales y el retraso en el sostenimiento respectivamente) con los siguientes valores respectivos: 392, 432, 294, y 294. Al analizados en el proceso, el mayor valor de todos representa un fallo en el cumplimiento de los requerimientos de seguridad y/o regulatorios establecidos; esto se establece al determinar la severidad que conlleva la mala instalación de los elementos de sostenimientos por el hecho de acelerar el proceso de sostenimiento en la labor que en sus efectos terminaba presentando fallos en el sostenimiento de la labor; mientras que los otros tres llegaban a presentar una interrupción significativa al proceso, lo cual se traduce en retrasos y deficiencia en el rendimiento de los trabajos dentro de la labor, siendo clasificados como los ítems más críticos en el proceso del ciclo de minado; es así que después de aplicar el análisis de modo de y efecto de falla dichos números prioritarios de riesgo se reducen en 90, 140, 96 y 112 respectivamente. Reducir estos números implicó reducir el valor de la ocurrencia y detección por medio de las acciones recomendadas y tomadas.

CONCLUSIONES

1. La aplicación del análisis de modo y efecto de falla en el ciclo de minado de la Rp.5965 SE ha traído mejoras en el control de dicho ciclo, esto se refleja en la reducción de los números prioritarios de riesgo críticos en la labor, la reducción de la sobre rotura y de la mala instalación de elementos de sostenimiento; además el análisis de modo de efecto de falla permitió identificar las causas de las fallas más comunes en el ciclo de minado y, en algunos casos, replantear las soluciones para evitar o por lo menos reducir su ocurrencia en el proceso.
2. Se determinó que la causa principal de la sobre rotura en la Rp.5965 SE es el desvío de taladros, seguido del carguío deficiente de los mismos y la iniciación deficiente; dichas causas llegaron a predominar por la presión del avance de dicha rampa dado la necesidad de realizar una preparación temprana de los tajos de explotación del nivel 1120 del cuerpo Contacto Sur Medio y el retraso en los procesos de limpieza y sostenimiento lo cual no hizo posible el correcto proceder del ciclo de minado y terminando por afectar al rendimiento del mismo.
3. Se identificó que la causa principal de la mala instalación de elementos de sostenimiento es la falta del pintado de la malla de sostenimiento, seguido de la necesidad de acelerar el proceso de sostenimiento para dar por cumplido el ciclo de minado y la falta de sostenimiento. La primera y la segunda se veían impulsada por la necesidad de terminar el trabajo lo más pronto posible, conllevando a una instalación apresurada y que tomaba en cuenta que el perno helicoidal se encontraba instalado, mas no si cumplía los estándares especificados. Por otra parte, la falta de materiales de sostenimiento se atribuye a la rotura de la cadena de abastecimiento por falta de personal a causa del COVID – 19, personal indispensable para el traslado de los materiales desde el exterior a interior mina.

RECOMENDACIONES

1. En aquellas labores mineras críticas se sugiere la implementación del análisis de modo y efecto de falla en el ciclo de minado con el fin de asegurar la ocurrencia del menor número de fallas durante los trabajos de minado.
2. Con el fin de reducir la sobre rotura en las labores, se recomienda un mayor control en la desviación de taladros y del cumplimiento de la malla de perforación; así como el cumplimiento de las tabulaciones en las curvas de las rampas y evitar los retrasos del ciclo de minado de la labor.
3. Con el fin de educir la mala instalación de los elementos de sostenimiento, se recomienda realizar el pintado de la malla de sostenimiento de forma obligatoria, evitar los retrasos y paralización en el sostenimiento de la labor al realizar la limpieza de las labores a tiempo y mantener la cadena de suministros de elementos de sostenimiento.
4. Para una correcta ejecución del análisis de modo y efecto de falla, se requiere el compromiso de todos los participantes del ciclo de minado, tanto directo como indirecto, con el objetivo de realizar una correcta identificación de las fallas, sus modos y efectos sobre el proceso, así como realizar un planteamiento adecuado y alcanzable para el mejoramiento del control.
5. La implementación y seguimiento del análisis de modo y efecto de falla en toda la mina requerirá de personal que se encargue del mismo; para lo cual con el fin de no incrementar los costos en la planilla y a su vez brindar facilidades a los miembros más recientes de la carrera de ingeniería de minas, hacer uso de practicantes ad honorem para dichos seguimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORTEGA, D. Determinación de fallas funcionales de los equipos crítico del transporte de mineral grueso en minera Las Bambas S.A. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017, 130 pp.
2. TORRES, A. Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora 60" x 113" de minera Chinalco. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017, 142 pp.
3. ALVAREZ, L. El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa EMTRAFESA SAC. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017, 189 pp.
4. CLARO, P. Reducción del índice de riesgo y su efecto sobre el nivel de reclamos en la recarga de extintores. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2017, 121 pp.
5. FERNÁNDEZ, W. Aplicación de la herramienta AMEF para mejorar la productividad de la línea HC-1 de yogurt en una empresa láctea, 2017. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017, 140 pp.
6. CABRERA, F. Desarrollo de una estrategia de confiabilidad en planta chancado división Gabriela Mistral. Tesis (Magister en Gestión y Dirección de Empresas). Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2019, 66 pp.
7. TORREJÓN, D. Análisis del modelo de producción en una empresa fundidora. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

8. MARTINEZ, C. Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura de juguetes. Tesis (Maestro en Ciencias de la Administración con Especialidad en Producción y Calidad). México : Universidad Autónoma de Nuevo León, 2004, 202 pp.
9. REYES, P. y BAHENA, M. *Curso de Seis Sigma*. Ciudad de México : Universidad Iberoamericana, 2006.
10. BESTERFIELD, D. *Control de Calidad*. 8° ed. Ciudad de México : Pearson Educación, 2009. ISBN: 978-607-442-121-7.
11. GUTIERREZ, H. y DE LA VARA, R. *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. 3° ed. Ciudad de México : MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2013. ISBN: 978-607-15-0929-1.
12. INTERNATIONAL, DATALYZER. DataLyzer International: ¿Qué es AMEF? *DataLyzer International Web Site*. [En línea] 2015. [Citado el: 30 de 05 de 2021.] <https://www.datalyzer.com/es/conocimiento/amef/>.
13. GALÁN, D. *elEconomista.es*. [En línea] 17 de 10 de 2016. [Citado el: 31 de 05 de 2021.] <https://www.eleconomista.es/ecomotor/reportajes/noticias/7896433/10/16/Ford-Pinto-el-coche-que-explotaba-con-un-leve-impacto-por-detras.html>.
14. DE LA CRUZ, E.y ROSAS, E. *Manual de Voladura*. s.l. : Centro de entrenamiento - área de minas CENTROMIN, 1980.
15. EXSA. *Manual Práctico de Voladura*. 3° ed. [En línea] Lima : s.n., 2000. [Citado el: 12 de 06 de 2021.] https://issuu.com/ccastilloma/docs/3._manual_practico_de_voladura_exsa
16. LÓPEZ, C. *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid : Instituto geológico y minero de España, 2003. ISBN: 84-505-7007-7.

17. RAMIREZ, P. y ALEJANO, L. *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid : E.T.S.I Minas, 2010.
18. MIET. *Guía sobre control geomecánico en minería subterránea*. Madrid : Laboratorio Oficial Madariaga (LOM), 2015. ISBN: 070-16-014-8.
19. OSINERGMIN. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Inversiones IAKOB S. A. C., 2017. 2017-05838.
20. SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA, PETRÓLEO Y ENERGÍA. *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Lima : Sociedad Nacional de minería, petróleo y energía, 2004.
21. ACEVEDO, E. y otros. *Evaluación Final de la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto de exploración minera "Geología Regional Yauricocha", presentada por Sociedad Minera Corona S.A.* Ministerio de Energía y Minas. Lima : s.n., 2019.
22. DEL CASTILLO, H. *Estudio geológico de la zona 1, mina Yauricocha Yauyos* Lima. Informe de Ingeniería (Título de Ingeniero Geólogo). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2006, 88 pp.
23. MEGARD, F., CALDAS, J., PAREDES, J. y DELA CRUZ, N.. *Geología de los cuadrangulos de Tarma, La Oroya y Yauyos*. Lima : INGEMMET, 1996.
24. MÉGARD, F. *Geología del cuadrángulo de Huancayo*. Lima : Servicio de Geología Minera, 1968.

25. LLC, CHRYSLER, COMPANY, FORD MOTOR Y CORPORATION, GENERAL MOTORS. *AMEF*. s.l. : Automotive Industries Action Group, 2008. ISBN: 9781605341361 1605341363
26. DUARTE, R. *Glosario minero*. [En línea] Rancagua, 1993. [Citado el: 15 de 06 de 2021.] <http://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/MC0047730.pdf>
27. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Glosario técnico minero*. [En línea] Bogotá : Agencia Nacional de Minería, 2015. [Citado el: 18 de 06 de 2021.] <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINAL+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e96>
28. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera 2016*. [En línea] Ciudad de México : SCT, 2016. [Citado el: 18 de 06 de 2021.] <https://es.scribd.com/document/359245202/Manual-de-Disenio-y-Construccion-de-Tuneles-de-Carretera>
29. CAMPOS, M. *Métodos de investigación académica*. [En línea] Universidad de Costa Rica, 2017. [Citado el: 25 de 06 de 2021.] [https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/76783/Campos%20Ocampo,%20Melvin.%202017.%20M%C3%A9todos%20de%20Investigaci%C3%B3n%20acad%C3%A9mica.%20\(versi%C3%B3n%201.1\).%20Sede%20de%20Occidente,%20UCR.pdf?sequence=1](https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/76783/Campos%20Ocampo,%20Melvin.%202017.%20M%C3%A9todos%20de%20Investigaci%C3%B3n%20acad%C3%A9mica.%20(versi%C3%B3n%201.1).%20Sede%20de%20Occidente,%20UCR.pdf?sequence=1)
30. SAMPIERI, R., HERNANDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. 6° ed.. Ciudad de México : McGraw-Hill Education, 2014. ISBN: 978-1-4562-2369-0.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	METODOLOGÍA	VARIABLES	Técnicas e instrumentación
General: ¿Cuál es la influencia del Análisis de Modo y Efecto de Falla en el ciclo de minado de la rampa 5965 SE?	General: La aplicación del análisis de modo y efecto de falla permite el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE mediante el seguimiento constante en base a la detección de fallas en el proceso, su evaluación y corrección.	General: Establecer la influencia del análisis de modo y efecto de falla en el control del ciclo de minado de la rampa 5965 SE		Variable X: Herramienta AMEF X ₁ = % de Fallas en el sostenimiento X ₂ = % de Fallas en la perforación. X ₃ = % de Fallas en la voladura	Formato AMEF.
Específicos: ¿Cuál es la causa principal de sobre rotura de la rampa 5965 SE? ¿Cuál es la causa principal del mal sostenimiento de la rampa 5965 SE?	Específicos: La aplicación del análisis de modo y efecto de falla permite identificar la causa principal de sobre rotura de la rampa 5965 SE por medio de su número prioritario de riesgo. La aplicación del análisis de modo y efecto de falla permite reconocer la causa principal del mal sostenimiento de la rampa 5965 SE por medio de su número prioritario de riesgo.	Específicos: Identificar con la aplicación del análisis de modo y efecto de falla la causa principal de sobre rotura de la rampa 5965 SE Reconocer con la aplicación del análisis de modo y efecto de falla la causa principal del mal sostenimiento de la rampa 5965 SE	Tipo de investigación: Básica Aplicada Nivel de Investigación: Descriptivo Diseño de investigación: Comparativo	Variable Y: Ciclo de minado. Y ₁ = Sección de la labor Y ₂ = Elementos de sostenimiento de labor	Técnica de recolección de datos Guía de revisión de datos, reportes técnicos.

Anexo 2

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES
Independiente: Herramienta AMEF	Herramienta de gestión que permite identificar y prever los modos de falla y sus efectos en los procesos operativos.	% de fallas detectadas en el proceso.	X ₁ = % de Fallas en el sostenimiento X ₂ = % de Fallas en la perforación. X ₃ = % de Fallas en la voladura
Dependiente: Ciclo de minado	Conjunto de operaciones unitarias necesarias para la ejecución de una labor minera.	% de cumplimiento de los parámetros del ciclo de minado.	Y ₁ = Sección de Labor Y ₂ = Elementos de sostenimiento de labor

Anexo 3

Tabla de análisis de modo y efecto de falla sin correctivos

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	EFECTO POTENCIAL DE FALLA	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	CAUSAS POTENCIALES DE FALLA	PROCESO ACTUAL				RPN
							CONTROLES DE PREVENCIÓN	OCURRENCIA	CONTROLES DE DETECCIÓN	DETECCIÓN	
1	LIMPIEZA	El equipo presenta desperfectos mecánicos	Retraso en la limpieza	8	Interrupción mayor	Los repuestos no alcanzan su tiempo de vida estandar	Mantenimiento Preventivo	6	Check List	3	144
2	LIMPIEZA	Camaras de acumulación llenas	La labor queda sin limpiar	7	Interrupción significativa	No se ha realizado la evacuación del desmonte	Evacuación de desmonte a los tajos en proceso de relleno	7	Ninguno	8	392
3	DESATE	Roca colgante de los hastiales o corona	Caída de roca	9	Fallo en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Desate deficiente	Desate despues de la limpieza	3	Golpe con la barretilla a los hastiales o corona	2	54
4	SOSTENIMIENTO	Elementos de sostenimiento mal instalados	Los elementos de sostenimiento no realizan correctamente su trabajo de diseño (fallas al realizar la prueba de pull test, el perno no es perpendicular a la superficie, área de sostenimiento ineficiente) Desperdicio de elementos de sostenimiento	9	Fallo en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Acelerar el proceso de sostenimiento	Revisión del avance del ciclo en la labor	8	Supervisión de la labor	6	432
5				4	Interrupción menor	No se realiza el pintado de la malla de sostenimiento		7	Supervisión de la labor	6	168
6				5	Interrupción moderada	Ajuste ineficiente de las chapas de sostenimiento		4	Supervisión de la labor	6	120
7				2	Interrupción de poca importancia	Perforación de taladro deficiente	Capacitación en PETs	3	Supervisión de la labor	6	36
8				7	Interrupción significativa	Falta de materiales de sostenimiento	Pedido de materiales acorde al programa semanal	6	Revisión de las cámaras de materiales	7	294
9				6	Interrupción moderada	No se comunicó las recomendaciones geomecánicas de la labor	Revisión de los cuadernos geomecánicos por parte del supervisor	5	Supervisión de la labor	3	90
10				4	Interrupción menor	Descargado de malla constante	Desate de la labor	2	Supervisión de la labor	4	32
11				4	Interrupción menor	Empleo de brocas inadecuadas	Entrega de brocas acorde al estándar	2	Supervisión de la labor	6	48
12				3	Interrupción menor	Mal posicionamiento del trabajador al perforar	Uso de la plataforma de perforación	3	Supervisión de la labor	6	54

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	EFECTO POTENCIAL DE FALLA	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	CAUSAS POTENCIALES DE FALLA	PROCESO ACTUAL				RPN
							CONTROLES DE PREVENCIÓN	OCURRENCIA	CONTROLES DE DETECCIÓN	DETECCIÓN	
13	SOSTENIMIENTO	Malla por debajo de la línea razante	Desperdicio de elementos de sostenimiento	4	Interrupción menor	Falta de rasante en la labor	Ninguno	6	Supervisión de la labor	6	144
14	SOSTENIMIENTO	Cambio en el macizo rocoso	Requerimiento de shotcrete para el sostenimiento	7	Interrupción significativa	La rampa atraviesa una falla	Ninguno	2	Estudio geomecánico	6	84
15	SOSTENIMIENTO	Sobrerotura	El terreno presenta debilitamiento tras la voladura	6	Interrupción moderada	Uso excesivo de explosivos	Vale de explosivo de la labor	4	Control de consumo de explosivo	4	96
16	SOSTENIMIENTO	Sobre pasar el tiempo de autosostenimiento	Debilitamiento del macizo rocoso en la labor	7	Interrupción significativa	Retraso en la limpieza	Reporte de equipos de limpieza y perforación	5	Inspección de la labor	5	175
17	SOSTENIMIENTO	Retraso en el sostenimiento	Sobre pasar el tiempo de autosostenimiento de la labor	7	Interrupción significativa	Falta de materiales de sostenimiento, retraso en la limpieza	Pedido de materiales acorde al programa semanal	6	Inspección de cámaras de materiales	7	294
18	PERFORACIÓN	Desvío de taladros	Los taladros realizados no siguen la dirección establecida	6	Interrupción moderada	No se dio uso a los guidores	Capacitación en el procedimiento	3	Supervisión de la labor	5	90
19	PERFORACIÓN	El equipo presenta desperfectos mecánicos	Retraso en la perforación	8	Interrupción mayor	Los repuestos no alcanzan su tiempo de vida estándar	Mantenimiento Preventivo	6	Check List	3	144
20	PERFORACIÓN	Baja presión de agua	Evacuación deficiente del detritus	7	Interrupción significativa	Perforación tardía en la labor	Realizar la perforación antes de las 3:00	6	Supervisión de la labor	5	210
21	PERFORACIÓN	Rotura de barrenos	Retraso en la perforación	7	Interrupción significativa	Desgaste de los barrenos	Revisión del tiempo de vida del barreno	2	Revisión del estado del barreno	3	42
22	PERFORACIÓN	Fuga de aceite de la perforadora	Equipo de perforación inoperativo	8	Interrupción mayor	La manguera de aceite no soporta la presión	Mantenimiento Preventivo	4	Check List	3	96
23	CARGUIO Y VOLADURA	Retraso en el carguío	No se realiza la voladura	8	Interrupción mayor	Perforación tardía en la labor	Ninguno	6	Supervisión de la labor	5	240
24	CARGUIO Y VOLADURA	La carguío no emplea los explosivos indicados	Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Uso de explosivos inadecuados e iniciadores incorrectos	Vale de explosivo de la labor	6	Supervisión de la labor	6	216
25	CARGUIO Y VOLADURA	Carguío incompleto del taladro	Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Taladro bloqueado por detritus	Uso de tubos de PVC	4	Supervisión de la labor	6	144
			Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Taladro de longitud incompleta	Uso de guidores	4	Supervisión de la labor	6	144
26	CARGUIO Y VOLADURA	La fuerza detonante se encuentra mal dirigida	Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Desvío de taladro	Uso de guidores	4	Supervisión de la labor	5	120

Anexo 4

Tabla de análisis de modo y efecto de falla con correctivos

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	EFECTO POTENCIAL DE FALLA	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	ACCIONES RECOMENDADAS	ACCIONES TOMADAS	RESULTADO DE LAS ACCIONES			
								SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
1	LIMPIEZA	El equipo presenta desperfectos mecánicos	Retraso en la limpieza	8	Interrupción mayor	Emplear repuesto de mejor calidad	Se cambio de proveedor para los respuestos de las máquinas	5	4	3	60
2	LIMPIEZA	Camaras de acumulación llenas	La labor queda sin limpiar	7	Interrupción significativa	Evacuación de desmonte por medio de pique de forma coordinada	Evacuación de desmonte por medio de pique de forma coordinada	6	5	3	90
3	DESATE	Roca colgante de los hastiales o corona	Caída de roca	9	Fallo en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Re - desate antes de iniciar el siguiente ciclo operativo	Re - desate antes de iniciar el siguiente ciclo operativo de ser necesario	8	2	2	32
4	SOSTENIMIENTO	Elementos de sostenimiento mal instalados	Los elementos de sostenimiento no realizan correctamente su trabajo de diseño (fallas al realizar la prueba de pull test, el perno no es perpendicular a la superficie, área de sostenimiento ineficiente) Desperdicio de elementos de sostenimiento	9	Fallo en el cumplimiento de requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Asegurar el ciclo de minado de la labor	Verificar el avance del ciclo de minado y proceder con seguridad en las operaciones	7	5	4	140
5				4	Interrupción menor	Asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos	Establecer el pintado de la malla de sostenimiento en los PETs y revisar su cumplimiento por medio de OPTs	3	5	3	45
6				5	Interrupción moderada	Asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos	Realizar la revisión del sostenimiento en la labor por medio de OPTs	4	2	5	40
7				2	Interrupción de poca importancia	Asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos	Realizar la revisión de la perforación en la labor por medio de OPTs	2	2	4	16
8				7	Interrupción significativa	Asegurar el abastecimiento de materiales	Asegurar la cadena de abastecimiento de materiales a la labor	6	4	4	96
9				6	Interrupción moderada	Comunicar las recomendaciones geomecánicas a los trabajadores	Comunicar los cambios de las recomendaciones geomecánicas en el reparto de guardia.	6	3	2	36
10				4	Interrupción menor	Identificar las áreas que requieren desate constante	Elaborar un plan de descarga de malla, incluyendo el material a emplear.	3	1	3	9
11				4	Interrupción menor	Identificar la entrega de brocas según orden de trabajo	Identificar la entrega de brocas según orden de trabajo y su revisión al supervisar la labor	4	1	4	16
12				3	Interrupción menor	Capacitar sobre ergonomía al trabajador	Realizar la revisión de la perforación en la labor por medio de OPTs	3	2	3	18

N°	FUNCIÓN DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	EFECTO POTENCIAL DE FALLA	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	ACCIONES RECOMENDADAS	ACCIONES TOMADAS	RESULTADO DE LAS ACCIONES			
								SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
13	SOSTENIMIENTO	Malla por debajo de la línea razante	Desperdicio de elementos de sostenimiento	4	Interrupción menor	Inspeccionar que la razante se encuentre dibujada	Establecer el pintado de la razante en los PETs y revisar su cumplimiento por medio de OPTs	3	5	4	60
14	SOSTENIMIENTO	Cambio en el macizo rocoso	Requerimiento de shotcrete para el sostenimiento	7	Interrupción significativa	Realizar el estudio geológico del macizo rocoso	Realizar el estudio geológico del macizo rocoso	7	2	4	56
15	SOSTENIMIENTO	Sobrerotura	El terreno presenta debilitamiento tras la voladura	6	Interrupción moderada	Revisión del vale de explosivo y stock de explosivos en polvorin	Revisión del vale de explosivo y determinar el cumplimiento de la malla	6	3	3	54
16	SOSTENIMIENTO	Sobre pasar el tiempo de autosostenimiento	Debilitamiento del macizo rocoso en la labor	7	Interrupción significativa	Asegurar la continuidad del ciclo de minado de la labor	Asegurar la limpieza de la labor en el menor tiempo posible para realizar el sostenimiento	7	4	4	112
17	SOSTENIMIENTO	Retraso en el sostenimiento	Sobre pasar el tiempo de autosostenimiento de la labor	7	Interrupción significativa	Asegurar el abastecimiento de materiales	Asegurar la cadena de abastecimiento de materiales a la labor	7	4	4	112
18	PERFORACIÓN	Desvío de taladros	Los taladros realizados no siguen la dirección establecida	6	Interrupción moderada	Capacitar sobre el uso de guías al trabajador	Realizar la revisión de la perforación en la labor por medio de OPTs	5	2	3	30
19	PERFORACIÓN	El equipo presenta desperfectos mecánicos	Retraso en la perforación	8	Interrupción mayor	Emplear repuesto de mejor calidad	Se cambio de proveedor para los respuestos de las máquinas	7	4	3	84
20	PERFORACIÓN	Baja presión de agua	Evacuación deficiente del detritus	7	Interrupción significativa	Asegurar la continuidad del ciclo de minado de la labor	Verificar el avance del ciclo de minado y proceder con seguridad en las operaciones	6	5	4	120
21	PERFORACIÓN	Rotura de barrenos	Retraso en la perforación	7	Interrupción significativa	Emplear repuesto de mejor calidad	Se cambio de proveedor para los respuestos de las máquinas	6	2	2	24
22	PERFORACIÓN	Fuga de aceite de la perforadora	Equipo de perforación inoperativo	8	Interrupción mayor	Emplear repuesto de mejor calidad	Se cambio de proveedor para los respuestos de las máquinas	5	4	3	60
23	CARGUIO Y VOLADURA	Retraso en el carguío	No se realiza la voladura	8	Interrupción mayor	Asegurar la continuidad del ciclo de minado de la labor	Verificar el avance del ciclo de minado y proceder con seguridad en las operaciones	5	4	4	80
24	CARGUIO Y VOLADURA	La carguío no emplea los explosivos indicados	Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Revisión del vale de explosivo y stock de explosivos en polvorin	Revisión del vale de explosivo y determinar el cumplimiento de la malla	5	4	4	80
25	CARGUIO Y VOLADURA	Carguío incompleto del taladro	Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Asegurar el correcto carguío de los taladros	Realizar la revisión del carguío en la labor por medio de OPTs	5	2	4	40
			Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Asegurar el correcto carguío de los taladros	Realizar la revisión del carguío en la labor por medio de OPTs	5	3	4	60
26	CARGUIO Y VOLADURA	La fuerza detonante se encuentra mal dirigida	Voladura deficiente	6	Interrupción moderada	Asegurar el correcto carguío de los taladros	Realizar la revisión del carguío en la labor por medio de OPTs	5	2	4	40

Anexo 5

Estándares y PETS

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		 UNIDAD DE ACUMULACIÓN YAUROCOCHA
	PROCEDIMIENTO: DESATADO DE ROCAS.		
	Area: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS- MIN-OPE-003	Página: 1/2	

1. PERSONAL:

- 1.1 Maestro.
- 1.2 Ayudante.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).

- 2.1 Protector de cabeza.
- 2.2 Barbiquejo.
- 2.3 Lámpara minera.
- 2.4 Correa portallámpara.
- 2.5 Respirador con filtro.
- 2.6 Protector auditivo.
- 2.7 Mameluco con cinta reflectiva.
- 2.8 Guantes de cuero / neopreno.
- 2.9 Lentes de seguridad.
- 2.10 Botas de jebe con punta de acero.

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- 3.1 Manguera de 1" de Ø.
- 3.2 Juego de barretilla de 6', 8', 10' y 12'.
- 3.3 Barretilla de 4' (solo trabajos en chimenea).
- 3.4 Tarjeta y candado de bloqueo (para línea trolley).
- 3.5 Reflector.

4. PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Antes de iniciar el desatado de rocas, se deberá inspeccionar y controlar los niveles de riesgo con las herramientas de gestión como son: IPERC, orden de trabajo, tomando en cuenta los riesgos relacionados a la falta de: Orden y limpieza, EPP, bloqueo de área de trabajo, ventilación de la labor, regado de carga, tiros cortados, estado de barretillas, altura de labor, estado de las vías, iluminación de la labor (máximo 5 metros del área de trabajo).
- 4.2 Maestro y/o ayudante se ubicará en piso firme y techo seguro para iniciar el desatado
- 4.3 El desatado se realizará en posición de cazador, la barretilla en un ángulo de 45° grados y se evitará sujetar la barretilla del extremo.
- 4.4 El desatado debe realizarse en avanzada, desde el acceso verificando el estado de las rocas mediante la prueba del sonido con el golpeteo de la barretilla (Sonido metálico o sonido vacío).
- 4.5 El desatado de rocas deberá ser realizada en forma obligatoria por dos (2) personas; uno de ellos desata las rocas sueltas, haciendo uso de la barretilla, el otro vigilará el área de desatado, alertando toda situación de riesgo.
- 4.6 El ayudante debe iluminar con su lámpara mientras el maestro desata o viceversa, evitando colocarse en la parte posterior de quien desata o en proyección de la caída de la roca a desatar.
- 4.7 Cuando no se pueda desatar (presencia de planchones), bloquear la labor y coordinar con el supervisor de turno para plastear.
- 4.8 Se realizará un desatado constante (antes, durante y después), en las labores y/o actividades donde se requiera (perforación, sostenimiento, entre otros).
- 4.9 Para secciones mayores a 4.0 metros de altura se procederá según estándar PETS-MIN-OPE-033.
- 4.10 En caso de encontrar elementos de sostenimiento sobresalidos fuera del estándar en la zona de desate se procederá a cortar estos elementos en avanzada.
- 4.11 Seccionar la energía de la línea trolley (ejecutado por personal autorizado), se colocarán los tag out y lock out en los seccionadores de la zona a desatar. Terminado el desate de rocas se repondrá la energía, retirando el tag out y lock out de los seccionadores.

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		
	PROCEDIMIENTO: DESATADO DE ROCAS.		
	Area: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS- MIN-OPE-003	Página: 2/2	

- 4.12 Maestro y ayudante antes de ingresar a la chimenea realizara el bloqueo de acuerdo con el estándar EST-MIN-OPE-014.
- 4.13 Verificar que la plataforma se encuentre correctamente instalada.
- 4.14 El maestro ingresara a desatar con la barretilla de acuerdo con la altura de la plataforma al techo.

5. RESTRICCIONES: No se realiza la tarea cuando:

- 5.1 El área de desate se encuentre con elementos energizados.
- 5.2 No se cuenta con el juego de barretillas completo y en buen estado.
- 5.3 No se cuente con la autorización para trabajos en altura (chimeneas).

PREPARADO POR:  Mercedes Balcázar CI* N° 206744 SUPERVISOR DE AREA Y TRABAJADORES	REVISADO POR:  Hidalgo Blais Jeffrey Ronald CI* N° 165437 RESIDENTE	REVISADO POR:  Paulina Cuatrecasas CI* N° 100037 GERENTE DE SEGURIDAD	APROBADO POR:  Haroldo Maza CI* N° 42257211 GERENTE GENERAL
FECHA DE ELABORACIÓN: 24 DE JUNIO DEL 2019			FECHA DE APROBACIÓN: 31 DE JULIO DEL 2019

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"	
	PROCEDIMIENTO: SOSTENIMIENTO CON PERNO HELICOIDAL Y MALLA ELECTROSOLDADA EN CAMARAS Y LABORES HORIZONTALES.	
	Area: MINA	Versión: 002
	Código: PETS-MIN-OPE-012	Página: 1/2



1. PERSONAL.

- 1.1 Maestro.
- 1.2 Ayudante.
- 1.3 Operador.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).

- 2.1 Protector de cabeza.
- 2.2 Barbiquejo.
- 2.3 Lámpara minera.
- 2.4 Correa portálámparas.
- 2.5 Respirador con filtro.
- 2.6 Protector auditivo.
- 2.7 Mameluco con cinta reflectiva.
- 2.8 Guantes de cuero / neoprene.
- 2.9 Lentes de seguridad.
- 2.10 Botas de jebe con punta de acero.
- 2.11 Ropa de jebe.

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS Y MATERIALES

- 3.1 Plataforma de perforación.
- 3.2 Máquina perforadora jack, eq. equipo hammer bolt y jumbo Muki.
- 3.3 Juego de barretillas de 6', 8', 10' y 12'.
- 3.4 Barrenos de perforación de 4', 6' y 8' cada uno con broca de 38 mm y 38 mm.
- 3.5 Adaptador para instalación de pernos helicoidales.
- 3.6 Pernos helicoidales de 7 pies, con sus respectivos pernos y placas de sujeción.
- 3.7 Cucharilla y atacador.
- 3.8 Resinas y cementos encartuchados.
- 3.9 Recipiente para agua.
- 3.10 Llave de ajuste para tuercas de pernos helicoidales.
- 3.11 Flexómetro.
- 3.12 Pintura.
- 3.13 Disco circular de jebe
- 3.14 Bastidores de acuerdo con la sección de la labor.
- 3.15 Manguera de 1" de diámetro para aire.
- 3.16 Manguera de 1/2" Ø.
- 3.17 Saca barreno.
- 3.18 Malla electrosoldada.
- 3.19 comba de 6 lbs.

4. PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Antes de iniciar el sostenimiento con perno helicoidal y malla electrosoldada en cámaras y labores horizontales, se deberá inspeccionar y controlar los niveles de riesgo con las herramientas de gestión como son: IPERC, check list equipo, orden de trabajo, tomando en cuenta los riesgos relacionados a la falta de: orden y limpieza, EPP, bloqueo del área de trabajo, ventilación de la labor, desate de rocas, estado operativo del equipo, altura de labor, filtración de agua, iluminación de la labor.
- 4.2 Para el sostenimiento se tendrá en consideración lo establecido en la tabla geomecánica respetando el tiempo de autosuporte de acuerdo a la calidad de roca.
- 4.3 En el caso que la instalación de sostenimiento deje una distancia menor a 1 metro del tope de la labor, se continuará el ciclo realizando un buen desate de rocas.
- 4.4 Se debe contar con stock de elementos de sostenimiento y disponibilidad de equipo para realizar disparo en un turno, de tal manera que el sostenimiento sea en el siguiente turno inmediato.
- 4.5 Si el disparo afectara el último sostenimiento dañándolo, no se continuará el avance hasta corregir el sostenimiento deficiente.

• CON EQUIPO CONVENCIONAL:

- 4.6 Realizar la instalación de la máquina perforadora, chequeando el correcto llenado de aceite, mangueras, empalmes; realizando la limpieza (soplado) de las mangueras antes instalar.
- 4.7 Instalar el andamio de perforación, posicionándolo nivelado y firme al piso.
- 4.8 Cuando se requiera sostener con el telehandler, se utilizará la canastilla como plataforma de perforación, y bastidores para sujetar la malla, todo movimiento para trabajos en

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		
	PROCEDIMIENTO: SOSTENIMIENTO CON PERNO HELICOIDAL Y MALLA ELECTROSOLDADA EN CAMARAS Y LABORES HORIZONTALES.		
	Área: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS- MIN-OPE-012	Página: 2/2	

altura debe ser coordinado entre el operador y el personal en la canastilla, debiéndose realizar movimientos lentos de posicionamiento.

- 4.9 El perforista instalara la máquina perforadora sobre la canastilla, e iniciara la perforación cumpliendo sus procedimientos.
- 4.10 Al finalizar la guardia el operador lavará el equipo y trasladará el equipo telehandler a la cámara asignada dejando parqueado con la plataforma al ras del piso con sus respectivos conos y tacos.
- 4.11 Marcar la malla de perforación para sostenimiento de acuerdo al EST-MIN-OPE-001.
- 4.12 Presentar la malla electrosoldada sujetando con los bastidores.
- 4.13 Iniciar la perforación desde la parte central de la corona hasta la gradiente, usando correctamente la plataforma de perforación, la longitud de taladro será de 10 cm menor a la longitud del perno como máximo.
- 4.14 Introducir la resina y/o cemento en las proporciones indicadas las mismas que ya han sido remojados en agua, luego introducir el perno en el taladro y girar con apoyo de la máquina perforadora para romper la bolsa, realizando el batido correcto.
- 4.15 Este procedimiento se repetirá para cada perno instalado.
- 4.16 El perno debe quedar expuesto 10 cm. como máximo para colocar la tuerca y la placa.
- 4.17 El reajuste de las tuercas se realizará una vez concluida la instalación del perno.
- **CON EQUIPO MECANIZADO:**
- 4.18 Realizar la instalación del equipo de sostenimiento, chequeando el correcto nivel de aceite, mangueras, empalmes, las instalaciones de agua y energía eléctrica.
- 4.19 Posicionamiento correcto del equipo.
- 4.20 Marcar la malla de perforación para sostenimiento de acuerdo al EST-MIN-OPE-001.
- 4.21 Presentar la malla electrosoldada sujetando con los bastidores.
- 4.22 Iniciar la perforación desde la parte central de la corona, con apoyo del brazo, la longitud de taladro será de 2 m para pernos de 7" y de 2.9 m para pernos de 10".
- 4.23 Lanzar la resina y/o cemento en las proporciones indicadas las mismas que ya han sido remojados en agua, luego introducir el perno en el taladro y girar con apoyo de la perforadora para romper la bolsa, realizando el batido correcto.
- 4.24 Este procedimiento se repetirá para cada perno instalado.
- 4.25 Por ningún motivo el ayudante debe pasar por debajo del brazo ni realizar trabajos mientras se esté realizando el sostenimiento. Siempre debe colocarse al costado de la cabina.
- 4.26 El perno debe quedar expuesto 10 cm. como máximo para colocar la tuerca y la placa.
- 4.27 El reajuste de las tuercas se realizará concluida la instalación del perno.

5. RESTRICCIONES. No se realiza la tarea cuando:

- 5.1 Las condiciones del terreno presenten riesgo por desprendimiento de rocas.
- 5.2 La máquina perforadora o equipo se encuentre en mal estado.
- 5.3 La ventilación es deficiente.

PREPARADO POR:  Meritosa (García) Jorge. CII* N° 208744 SUPERVISOR DE AREA Y TRABAJADORES	REVISADO POR:  Hidalgo Blas Jeffrey Ronald CII* N° 165437 RESIDENTE	REVISADO POR:  Paulina Estrella Wilder. CII* N° 100837 GERENTE DE SEGURIDAD	APROBADO POR:  Haroldo Maza Edgar. UNI N° 43257211 GERENTE GENERAL
FECHA DE ELABORACIÓN: 24 DE JUNIO DEL 2019			FECHA DE APROBACIÓN: 21 DE JUNIO DEL 2019

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		
	PROCEDIMIENTO: PERFORACIÓN CON JUMBO FRONTONERO.		
	Area: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS- MIN-OPE-014	Página: 1/2	

1. PERSONAL.

- 1.1 Operador.
- 1.2 Ayudante.

2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL (EPP).

- | | |
|--|---|
| 2.1 Protector de cabeza con barbiqueo. | 2.7 Botas dieléctricas |
| 2.2 Mameluco con cinta reflectiva. | 2.8 Protector auditivo |
| 2.3 Correa portálamparas. | 2.9 Lámpara minera. |
| 2.4 Respirador con filtro. | 2.10 Candado lockout y su etiqueta tagout personal. |
| 2.5 Lentes de seguridad. | |
| 2.6 Guantes de cuero/Neoprene/Dieléctrico. | |

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

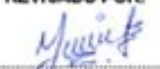
- | | |
|--|-----------------------------|
| 3.1 Jumbo frontonero | 3.7 Luminarias y escalera. |
| 3.2 Juego de barretillas de 6', 8', 10' y 12'. | 3.8 Lampa |
| 3.3 Brocas de 45 mm | 3.9 Pico |
| 3.4 Guiadores de madera y/o aluminio de 45 mm. | 3.10 Cucharilla. |
| 3.5 Rimadora de 72 mm con piloto. | 3.11 Comba 6 lbs |
| 3.6 Barra 8 pies, 10 pies y 12 pies. | 3.12 Flexometro. |
| | 3.13 Tubos de PVC 1 1/2". |

4. PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Antes de iniciar la operación de perforación de frentes con jumbo se deberá inspeccionar y controlar los niveles de riesgo con las herramientas de gestión como son: IPERC, check list de jumbo, orden de trabajo, tomando en cuenta los riesgos relacionados a la falta de: Orden y limpieza, EPP, ventilación de la labor, regado de carga, desatado, tiros cortados, estado operativo del equipo, sostenimiento, altura de labor, estado de las vías, accesorios de la tubería y mangueras, filtración de agua, iluminación de la labor.
- 4.2 Bloquear el área de trabajo desde la caja eléctrica. Según EST-MIN-OPE-014.
- 4.3 Por ningún motivo el ayudante debe pasar por debajo, ni al costado del brazo ni realizar trabajos mientras se esté realizando la perforación. Siempre debe colocarse al costado de la cabina. Para que el ayudante ingrese al frente, el operador deberá paralizar el equipo.
- 4.4 Inspeccionar las condiciones que se encuentran las mangueras. Desfogar la línea para agua antes de realizar la conexión. Ajustar bien las conexiones con su llave stilson.
- 4.5 Asegurar que las abrazaderas punch lock estén en buenas condiciones y con cantidad adecuada para el diámetro de manguera de 1".
- 4.6 El ayudante verificara que la labor se encuentre según estándar, antes de que el operador ingrese con el equipo.
 - El operador ingresará con el jumbo, posicionando el equipo en el frente de trabajo, para luego proceder a instalar el conector a la caja eléctrica del jumbo con los guantes dieléctricos, levantando todo el tramo de cable sobre las alcayatas y/o uso de las "S" a una altura mínima de 2.40 metros.
 - El operador iniciara la perforación después del marcado de malla de perforación de acuerdo al estándar PEST-MIN-OPE-001
 - La secuencia de perforación será en el siguiente orden:
 - Frente: Se iniciará por los arrastres.
 - ~~Breasting~~ De la cara libre hacia la corona.
 - Al realizar la perforación de los taladros de arrastre se entubará cada taladro y continuar con la perforación del frente debiendo usar los guiadores de madera y/o aluminio para controlar el paralelismo (mínimo 4).

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		
	PROCEDIMIENTO: PERFORACIÓN CON JUMBO FRONTERO.		
	Área: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS-MIN-OPE-014	Página: 2/2	

- El ayudante deberá posicionarse en un lugar visible a la posición del operador, al costado de la cabina, cuando el ayudante requiera ingresar al frente, el operador paralizará el equipo.
 - 4.7 Realizar el desate de roca constante, antes, durante y después de la perforación, cumpliendo el PETS-MIN-003.
 - 4.8 Cambiar la posición de la pluma para cada taladro.
 - 4.9 Para el control de la sobrerotura se realizará taladros de alivio, según diseño estándar EST-MIN-OPE-001.
 - 4.10 Una vez terminada la perforación del frente desconectar el suministro de agua, energía eléctrica usando guantes dieléctricos y accesorios.
 - 4.11 Retirar el Jumbo, manguera y accesorios del frente y trasladar a la cámara de estacionamiento con su respectiva señalización.
 - 4.12 En caso de perforación en rampas negativas se hará uso del sistema de bombeo de acuerdo al diseño, se deberá tener cámara para el guardado de la bomba de achique la cual será manipulada manualmente.
 - 4.13 Para el manipuleo de las bombas de mayor capacidad deberá realizarse con el apoyo de un equipo.
 - 4.14 Para el traslado de equipo por vías con línea trolley: Realizar PETAR, supervisión permanente y se coordinará con el área de mantenimiento eléctrico, supervisor de extracción, motoristas, para el corte de la línea trolley y/o uso del seccionador, colocando el bloqueo respectivo (**Lock out** y **tag out**).
 - 4.15 Una vez trasladado el equipo se repondrá la energía comunicando a los involucrados.
- 5. RESTRICCIONES.** Se paraliza la tarea cuando:
- 5.1. Haya presencia de tiros cortados.
 - 5.2. La labor esta fuera de estándar.

PREPARADO POR:  Mercedes Rodríguez CI* N° 236744 SUPERVISOR DE AREA Y TRABAJADORES	REVISADO POR:  Hidalgo Blas Jeffrey CI* N° 185437 RESIDENTE	REVISADO POR:  Paulina Estrella CI* N° 100857 GERENTE DE SEGURIDAD	APROBADO POR:  Hernán Mesa UNI N° 42257211 GERENTE GENERAL
FECHA DE ELABORACIÓN: 24 DE JUNIO DEL 2019			FECHA DE APROBACIÓN: 21 DE JULIO DEL 2019

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		
	PROCEDIMIENTO: CARGUIO Y VOLADURA.		
	Area: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS- MIN-OPE-004	Página: 1/3	

1. PERSONAL.

- 1.1 Maestro.
- 1.2 Ayudante.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 2.1 Protector de cabeza. | 2.7 Guantes de cuero / neoprene. |
| 2.2 Barbiquejo. | 2.8 Lentes de seguridad. |
| 2.3 Lámpara minera. | 2.9 Botas de jebe con punta de acero. |
| 2.4 Correa portalámpara. | 2.10 Protector auditivo. |
| 2.5 Mameluco con cinta reflectiva. | 2.11 Respirador con filtro. |
| 2.6 Ropa de jebe. | |

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

- | | |
|---|---|
| 3.1 Punzón de madera, cobre y/o polietileno. | 3.12 Tubos de PVC de 1 ½" de Ø y 2" de Ø. |
| 3.2 Manguera de 1" Ø. | 3.13 Arco de sierra. |
| 3.3 Manguera de 1/2" Ø. | 3.14 Escalera. |
| 3.4 Juego de barretilla de 6', 8', 10' y 12'. | 3.15 Plataforma de perforación. |
| 3.5 Lámpara. | 3.16 Explosivos. |
| 3.6 Pico. | 3.17 Accesorios de voladura. |
| 3.7 Soplete de tubo de fierro de ½ Ø con válvula. | 3.18 Fosforo. |
| 3.8 Atacadores de madera. | 3.19 Cinta aislante. |
| 3.9 Taco de material inerte. | 3.20 Mochila. |
| 3.10 Carrizos. | 3.21 Cúter. |
| 3.11 Tabla de 7'. | 3.22 Cucharillas. |

4. PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Antes de iniciar el carguío en los tajeos, frentes, taladros largos, bolsillos-SLCM, cachorro de bancos, se deberá inspeccionar y controlar los niveles de riesgo con las herramientas de gestión como son: IPERC, orden de trabajo, tomando en cuenta los riesgos de: Orden y limpieza, EPP, ventilación de la labor, desatado, estado de las vías, herramientas, filtración de agua, iluminación de la labor.
- 4.2 Limpiar los taladros con aire comprimido (sopleteo), en coordinación y comunicación constante.
- 4.3 Preparar el encebado del explosivo cerca de la labor, utilizando el punzón de cobre, bronce, madera o polietileno.
- 4.4 Todo disparo debe ser programado en retirada según protocolo de secuencia de disparo.
- 4.5 Para casos de voladuras en simultáneo que involucren a diferentes áreas y ECM, se realizará un protocolo de voladura indicando los controles bajo supervisión directa, el cual debe estar firmado por todos los involucrados.
- 4.6 El horario de disparo principal debe realizarse:
Turno día: 06:00 pm.
Turno noche: 06:00 am.

• PARA TAJEOS BREASTING, FRENTES Y BOLSILLOS:

- 4.7 Colocar los cebos de acuerdo a la secuencia de salida.
- 4.8 Iniciar el carguío de acuerdo al diseño de distribución de explosivo requerido por taladro con sus respectivos tacos de material inerte.
- 4.9 Para el contorno se realizará voladura controlada de acuerdo al anexo 1 del estándar EST-MIN-OPE-002, donde se utilizará carga desacoplada o cordón detonante P80, de acuerdo al tipo de terreno.

	"LA SEGURIDAD ES: PRODUCCION DE CALIDAD"		
	PROCEDIMIENTO: CARGUIO Y VOLADURA.		
	Area: MINA	Versión: 002	
	Código: PETS- MIN-OPE-004	Página: 2/3	

4.10 Asegurar el conector J-Clip del ~~panel~~ al cordón detonante (en forma de "T", tensados, protegiendo el detonador y cordón detonante de posibles cortes) realizar un puente como mínimo.

4.11 Seguidamente realizar el amarre del cordón detonante al fulminante (carmex) que estarán conectados a la mecha rápida.

• **PARA TALADROS LARGOS:**

4.12 Colocar la prima encebada en la boca del taladro y con apoyo del atacador de tubo de polietileno, se introducirá hasta el tope del taladro. Si la longitud del taladro es mayor a cinco metros se colocará un cebo intermedio adicional.

4.13 Ejecutar el carguió de los taladros largos con sus respectivos tacos de material inerte, utilizando el andamio (escaleras y 2 tablas de 7").

4.14 Se retirará las tablas de los bolsillos de las filas a disparar.

4.15 Asegurar el conector J-Clip del ~~panel~~ al cordón detonante (en forma de "T", tensados, protegiendo el detonador y cordón detonante de posibles cortes) realizar un puente como mínimo. Se podrá disparar taladros según la necesidad operativa.

4.16 Seguidamente realizar el amarre del cordón detonante al fulminante (carmex) que estarán conectados a la mecha rápida.

4.17 Dejar ordenado las herramientas, equipos y materiales fuera de la ventana a disparar.

• **PARA BOLSILLOS**

4.18 Iniciar el carguió de acuerdo al diseño de distribución de explosivo requerido por taladro, con sus respectivos tacos de arcilla. Se utilizará una escalera de aluminio (Tipo tijera) de ser necesario.

4.19 Seguidamente realizar el amarre del cordón detonante al fulminante (carmex) que estarán conectados a la mecha rápida.

• **AL FINALIZAR LA TAREA:**

4.20 Culminado el carguió se coordinará con las labores cercanas para realizar la voladura en el horario establecido, bloqueando el paso con señalización respectiva hacia todos los accesos a la labor.

4.21 Proceder al encendido de la mecha rápida en un solo punto (chispeo).

4.22 Maestro y ayudante harán vigía en los accesos hasta que detone el disparo, de haber más accesos se contará con más vigías.

4.23 En caso de haber explosivos y/o accesorios sobrantes se devolverá al polvorín auxiliar respectivo.

4.24 Para los casos de tajos sublevel caving y rampas de profundización se utilizará la caja de remanentes para el depósito temporal de explosivos y accesorios sobrantes, con su respectivo cuaderno de control.

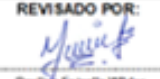
5. **RESTRICCIONES:** No se realiza la tarea cuando:

5.1 El personal de las labores cercanas, no hayan salido.

5.2 En las cámaras se encuentre algún equipo que no se puede retirar o las instalaciones de servicio no estén protegidos.

5.3 El personal no cuenta con autorización de SUCAMEC.

5.4 Esta fuera de horario de disparo.

PREPARADO POR:  Melchor DE la Cruz CIP N° 202744 SUPERVISOR DE AREA Y TRABAJADORES	REVISADO POR:  Hilda Vilas Jeffrey Ronald CIP N° 105437 RESIDENTE	REVISADO POR:  Paulino Estrella Wilber CIP N° 100857 GERENTE DE SEGURIDAD	APROBADO POR:  Ramon Mera Edgar DNI N° 42957211 GERENTE GENERAL
FECHA DE ELABORACIÓN: 24 DE JUNIO DEL 2019			FECHA DE APROBACIÓN: 25 DE JULIO DEL 2019

Plano de la rampa 5965 SE

