



**Universidad
Continental**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

**Evaluación de la aplicación del Shotcrete
vía seca como método de sostenimiento en
el nivel 6-xc 750 w en la unidad cuerpo
Mery -Compañía Minera Casapalca
2017**

Luisín Armando León Cóndor

Huancayo, 2018

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

A mis padres, Isac y Carmen por brindarme su apoyo, comprensión, educación, sus enseñanzas, y por depositar la confianza en mí, a mi hermana Roxana por enseñarme que con la perseverancia se encuentra el éxito profesional.

Luisín

ASESOR

Ing. Aníbal Antonio Meza Castañeda

SUMARIO

La presente tesis responde al problema ¿Cuál es la evaluación del resultado de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017? y tiene como objetivo determinar la evaluación del resultado de la aplicación de shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery - Compañía Minera Casapalca 2017.

También como hipótesis: los resultados en la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método incide en el sostenimiento del Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017. El método de investigación es científico, el tipo de investigación es aplicada con diseño correlacional simple.

El resultado de la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 –XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery se basa en minimizar el craquelamiento de los hastiales, la caja techo del XC 750W, y brindando seguridad a los trabajadores de la Unidad Cuerpo Mery.

Palabras claves: sostenimiento, shotcrete vía seca, resistencia a la tracción, tiempo de lanzado.

ABSTRACT

This thesis responds to the problem. What is the evaluation of the result of the application of the shotcrete via dry as a method of support at Nv. 6 - XC 750W in the Mery Body Unit - Compañía Minera Casapalca 2017? and aims to determine the evaluation of the result of the application of shotcrete via dry method as support in the Nv. 6 - XC 750W in the Mery Body Unit - Casapalca Mining Company 2017.

Also like hypothesis: The results in the evaluation of the application of the shotcrete via dry method incides in the support of the Nv. 6 - XC 750W in the Mery Body Unit - Casapalca Mining Company 2017. The research method is scientific, the type of research is applied with simple correlational design.

The result of the evaluation of the dry shotcrete application as a support method in the Nv.6 –XC 750 W in the Mery Body Unit is based on minimizing the cracking of the gables, the roof box of the XC 750W, and providing safety to the workers of the Mery Body Unit.

Keywords: support, shotcrete dry way, tensile strength, cast time.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, agradezco a Dios por guiar y acompañar mis pasos a lo largo de mi carrera universitaria, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por haberme bendecido haciendo realidad esta meta tan anhelada.

A la Universidad Continental, por brindarme la oportunidad de estudiar en sus aulas y formarme como profesional. Así como a mis docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, por impartir su experiencia y conocimientos en todos estos años de estudios. En particular, a mi asesor el Ing. Aníbal Meza Castañeda por su constante guía y aliento. A mis amigos y compañeros por confiar en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que jamás olvidaré.

A los Ingenieros de la Compañía Minera Casapalca, por permitirme realizar mi proyecto de tesis y brindarme todas las facilidades para su desarrollo.

Y por supuesto, el agradecimiento más profundo y sincero va para mis padres, pues sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible realizar este logro.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
ASESOR	iii
SUMARIO.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. JUSTIFICACIÓN	18
1.4.1. Justificación metodológica	18
1.4.2. Justificación práctica.....	18
1.5. LIMITACIONES	18
1.5.1. Limitación tecnológica	18
1.5.2. Limitación económica	18
1.6. HIPÓTESIS	19
1.6.1. Hipótesis general	19
1.6.2. Hipótesis específicas	19
1.7. VARIABLES	19
1.7.1. Variable independiente	19
1.7.2. Variable dependiente	19
1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE.....	20
1.8.1. Definición conceptual	20
1.8.2. Dimensión.....	20
1.8.3. Indicadores.....	20

CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	21
2.2. GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA	23
2.2.1. Ubicación.....	23
2.2.2. Accesibilidad.....	24
2.2.3. Clima y vegetación.....	25
2.2.4. Reseña Histórica	26
2.3. GEOLOGÍA.....	26
2.3.1. Geología regional.....	26
2.3.2. Geología local.....	27
2.3.2.1. Estratigrafía.....	28
2.3.3. Geología estructural	31
2.3.4. Geología económica	35
2.3.4.1. Dimensiones y leyes de la Unidad Cuerpo Mery.....	36
2.4. Bases teóricas	37
2.4.1. Teorías básicas de la investigación	37
2.4.1.1. Geomecánica Aplicada al Diseño Subterráneo.....	37
2.4.1.2. Mecánica de Rocas.....	37
2.4.2. Propiedades de las Discontinuidades.....	37
2.4.2.1. Shotcrete.....	38
2.4.2.5. Definición de términos básicos.....	40
CAPÍTULO III	44
METODOLOGÍA	44
3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1.1. Método de la investigación	44
3.1.2. Tipo de la investigación.....	44
3.1.3. Nivel de la investigación	44
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	45
3.3.1. Población	45
3.3.2. Muestra.....	45
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.4.1. Técnicas de tratamiento de datos.....	45
CAPÍTULO IV	46
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	46

4. DESCRIPCIÓN GEOMECÁNICA	46
4.1. CONDICIONES GEOMECÁNICAS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO.....	46
4.2. ASPECTOS GEOMECÁNICOS UNIDAD CUERPO MERY.....	46
4.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE CASAPALCA	47
4.4. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS	56
4.5. PRINCIPIOS GEOMECÁNICOS BÁSICOS	63
4.5.1. Principios Básicos del NATM	64
4.5.2. Clasificación de Terzaghi para túneles	65
4.5.3. Clasificación de Barton NGI	67
4.5.4. Clasificación Bieniawsky CSIR.....	68
4.5.5. Índice G.S.I (Geological Strength Index)	72
4.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VÍA SECA.....	76
4.6.1. Proceso de Aplicación sistema de shotcrete vía seca.....	76
4.6.2. Propiedades del Shotcrete Vía Seca.....	77
4.7. REQUERIMIENTOS DE LA CAPA DE SHOTCRETE	82
4.7.1. Requerimientos mecánicos	82
4.7.2. Requerimientos físicos.....	83
4.7.3. Requerimientos hidráulicos	83
4.7.4. Requerimientos químicos	83
4.8. PROCESOS DEL SHOTCRETE	84
4.8.1. El Fraguado	84
4.9. EL ENDURECIMIENTO	85
4.9.1. Calor de hidratación	86
4.9.2. Materiales para el shotcrete por vía seca	87
4.9.2.1. El cemento portland I	87
4.9.2.2. El agua	87
4.9.2.3. Áridos y agregados	88
4.9.2.4. Aditivos.....	89
4.9.2.5. Adiciones.....	90
4.9.2.6. Fibras.....	91
CAPÍTULO V	92
ANÁLISIS DE RESULTADOS	92
5.1. PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO.....	92
5.2. PROCEDIMIENTO DE LANZADO DE SHOTCRETE VÍA SECA (PETS)	95
5.3. DISEÑO DE MEZCLA	96
5.4. TRABAJO EN GABINETE.....	97

5.5. APLICACIÓN DE SHOTCRETE EN CASAPALCA	97
5.6. ENSAYOS Y RESULTADOS	98
5.6.1. Pruebas con acelerantes	98
5.6.2. Pruebas de fragua.....	99
5.7. TIEMPO DE LANZADO DE SHOTCRETE.....	101
CAPÍTULO VI	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
6.1. CONCLUSIONES	103
6.2. RECOMENDACIONES	104
6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación de Compañía Minera Casapalca.....	24
Figura 2. Mapa de acceso de la Compañía Minera Casapalca.....	25
Figura 3. Columna geología estructural de la mina Casapalca	34
Figura 4. Configuración del arco del túnel según Terzaghi.....	65
Figura 5. Método de sondeo de rocas - RQD.....	67
Figura 6. Características de las discontinuidades	69
Figura 7. Relación entre el tiempo de sostenimiento y la clasificación CSIR	72
Figura 8. Índice GSI	75
Figura 9. Aplicación del shotcrete vía seca	77
Figura 10. Resistencia a la Tracción Cía. Minera Casapalca.....	84
Figura 11. Rango del grado de hidratación de fraguado.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación RMR según denominación de roca	47
Tabla 2. Para calcular el N° de rebote	48
Tabla 3. Muestra del resultado de propiedades físicas.....	50
Tabla 4. Evaluación de muestra de los 3 sistemas empleados	52
Tabla 5. Ensayo de índice manual sobre la resistencia del material rocoso (ISRM -1978- según (LEÓN 2015)).....	54
Tabla 6. Rango de velocidad de ondas "P" según (LEÓN 2015)	55
Tabla7. Material dominante de relleno según (LEÓN 2015)	55
Tabla 8. Características de la estructura mineralizada Cuerpo Mery.....	59
Tabla 9. Competencia de rocas según método de explotación.....	60
Tabla 10. Competencia de roca según pared colgante	60
Tabla 11. Datos de resistencia a la compresión uniaxial	62
Tabla 12. Datos de resistencia a la compresión uniaxial	63
Tabla 13. Clasificación según Terzaghi (1946) según (LEÓN 2015)	66
Tabla 14. Clasificación geomecánica CSIR de macizos de roca	70
Tabla 15. Soporte a instalar según el tipo de roca CSIR.....	71
Tabla 16. Cuadro comparativo de ventaja y desventaja del shotcrete vía seca ..	77
Tabla 17. Muestra de ensayos de resistencia a la tracción.....	82
Tabla 18. Tipos de cementos según el calor de hidratación según (LEÓN 2015).....	87
Tabla 19. Estándar de mallas según ASTM.....	90
Tabla 20. Peso específico de los materiales.....	96
Tabla 21. Cuadro de proporciones de mezcla vía seca.....	96
Tabla 22. Cálculo de materiales en terreno - interior mina.....	97
Tabla 23. Ensayos realizados con acelerantes.....	100
Tabla 24. Pruebas de fraguado de las probetas.....	102
Tabla 25. Pruebas de endurecimiento de las probetas.....	102
Tabla 26. Promedio de pruebas de fragua.....	103
Tabla 27. Prueba de tiempo de lanzado de shotcrete en el Nv. 6 - XC750W.....	103
Tabla 28. Costo de los materiales a usar en la mezcla.....	104
Tabla 29. Calculo de los costos materiales.....	104

INTRODUCCIÓN

La presente tesis, contiene la evaluación de la aplicación del método de sostenimiento con shotcrete vía seca que se experimentó en el Nv. 6 – XC 750W de la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017, mostrando la evaluación de los resultados de la resistencia a la tracción, el tiempo de lanzado de shotcrete vía seca; asimismo, el proceso de la mezcla del shotcrete vía seca.

Siendo en tal sentido se considera los aspectos de planteamiento y formulación del problema general y específico, objetivos, justificación, marco teórico, hipótesis, metodología de la investigación y la definición de las variables.

En el capítulo I se muestra el planteamiento del estudio, resaltando en si el problema general y los específicos; también, damos a conocer los objetivos de la investigación, para demostrar que tiene la justificación y la importancia del estudio logrando especificar la hipótesis y sus variables que se desarrolla.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico, detallando los antecedentes y describiendo las generalidades de la unidad minera, se detalla la geología, la geomecánica; además, se desarrolla las bases teóricas describiendo el sistema de sostenimiento que se lograra al evaluar y aplicar.

En el capítulo III se menciona la metodología a utilizar, el tipo de investigación y los niveles alcanzados, la cual se especifica el diseño de la investigación, logrando limitar la investigación con la población y muestra.

En el capítulo IV se desarrolla el análisis y la interpretación de datos, para lo cual se especifica la descripción geomecánica, los criterios de evaluación geomecánica, la evaluación de los cuerpos mineralizados, y el uso de los principios geomecánicos; la aplicación del método de sostenimiento con shotcrete vía seca.

En el capítulo V se da a conocer el análisis del resultado en la cual se explica el procedimiento de mezclado, el diseño de shotcrete en la mina, el

procedimiento de lanzado; además, el resultado de los ensayos que se obtendrá según la evaluación.

Finalmente, se vierten las conclusiones y las recomendaciones con respecto a las afirmaciones en base de lo explicado y demostrado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy la minería moderna necesita prevenir los accidentes por caída de rocas más aún la explotación subterránea que durante los últimos 15 años continúa generando pérdidas de vidas humanas, y el mayor porcentaje de víctimas es por caída de rocas indicando un 45%; así mismo, a equipos e instalaciones. Por ello, según observaciones preliminares y comentarios de expertos, que la caída de rocas se presenta debido al tipo de terreno del macizo rocoso; así mismo, por las cargas de esfuerzo de la roca, el esquema de avance del minado, los estándares inadecuados de perforación y voladura, la presencia de agua.

Por otro lado, el control adecuado y efectivo de sostenimiento en las labores interior mina, deben cumplirse las recomendaciones de las tablas geomecánicas de sostenimiento, las cuales son elaboradas luego de un detallado análisis, considerando la litología y los aspectos estructurales del macizo rocoso.

Además, un buen control geomecánico determina la calidad del macizo rocoso; asimismo, determina el RMR de la roca y logra recomendar el tipo de sostenimiento en base a los datos recopilados en interior mina.

En minería subterránea, la elección óptima de los métodos de sostenimiento se basa en características de la evaluación geomecánica global del macizo rocoso y mediante la estimación de la calidad de este, se debe tener en cuenta el requerimiento de sostenimiento seleccionando entre refuerzo y soporte (activo y pasivo).

La aplicación busca prevenir accidentes por caída de rocas; así mismo, emplear la técnica de sostenimiento de shotcrete vía seca en la Unidad Cuerpo Mery considerando el tipo de macizo rocoso, y sus características geomecánicas, utilizando fórmulas matemáticas ya elaboradas con el fin de determinar la aplicación del método de sostenimiento en mención.

Los estudios geomecánicos empleados lograrán determinar el volumen de lanzamiento de shotcrete por vía seca según las labores a sostener como galerías, rampas, tajeos. Con los datos obtenidos podrá demostrar el empleo de las técnicas de sostenimiento con shotcrete vía seca en la Unidad Cuerpo Mery.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según lo citado, el problema principal y los problemas específicos son:

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la evaluación del resultado de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la resistencia a la tracción del shotcrete vía seca como sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017?
- ¿Cuál es el tiempo de lanzado de shotcrete vía seca como sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017?
- ¿Cuál es el proceso de la mezcla del shotcrete vía seca como sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la evaluación del resultado de la aplicación de shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery - Compañía Minera Casapalca 2017.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar cuál es la resistencia a la tracción del shotcrete vía seca como sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery- Compañía Minera Casapalca 2017.
- Medir el tiempo de lanzado de shotcrete vía seca como sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017.

- Evaluar el proceso de la mezcla del shotcrete vía seca como sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación metodológica

La presente tesis se justifica metodológicamente ya que el investigador hace uso de metodologías propias para la toma de datos, procesamiento y resúmenes que pueden servir de base para otras investigaciones similares.

1.4.2. Justificación práctica

La presente tesis se justifica en la parte práctica ya que está orientada a la resolución de los problemas que aquejan a la comunidad minera.

1.5. LIMITACIONES

1.5.1. Limitación tecnológica

Por falta de tecnología no se pudo emplear equipos para realizar prueba triaxiales.

1.5.2. Limitación económica

Por muy elevado el costo de las pruebas se desarrolló solo las pruebas de 6 probetas.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

- Los resultados en la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método incide en el sostenimiento del Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017

1.6.2. Hipótesis específicas

- La resistencia a la tracción del shotcrete vía seca determina el sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017.
- El tiempo de lanzado de shotcrete vía seca, determina el sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery - Compañía Minera Casapalca 2017.
- El proceso de la mezcla del shotcrete vía seca determina el sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017.

1.7. VARIABLES

1.7.1. Variable independiente

- Shotcrete vía seca

1.7.2. Variable dependiente

- Sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W

1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

1.8.1. Definición conceptual

Shotcrete Vía Seca

Es la proyección de shotcrete únicamente se pre mezclan los materiales secos, y la mezcla se transporta por mangueras mediante aire comprimido; el agua necesaria para la hidratación es aplicada en la boquilla. En este método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla (como un líquido) o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo.

Sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W

Es la implementación de un sistema de sostenimiento con la exigencia actual de seguridad y tecnología aplicada según la técnica adecuada de instalación.

1.8.2. Dimensión

- Resistencia a la tracción
- Distancia de lanzado
- Índice de rebote de lanzado
- Tiempo de lanzado de shotcrete vía seca
- Seguridad

1.8.3. Indicadores

- Mpa
- M
- %
- hr/m
- Índice de accidentabilidad

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Como antecedentes de este problema se tienen los siguientes estudios:

- El artículo científico de (Kim, Lee y Bae 2006), que tiene como título “La compresión y el adhesivo fortalezas deteriorada por componentes peligrosos en el agua subterránea”, cuyo objetivo es evaluar el efecto de sulfato y ácido en el agua subterránea en las propiedades de ingeniería de Shotcrete proyectado con el tiempo. Como muestra de agua neutral, y prueba de resistencia a la compresión y tracción de ensayo se lleva a cabo mediante muestras; y se realiza resultado del deterioró de la solución de sulfato para la elaboración del Shotcrete (hormigón).

- El artículo científico de (Lamontagne y Pigeon 1995), que tiene como título “La influencia de fibras de polipropileno y granulometría de los agregados en las propiedades del hormigón proyectado secomix” cuyo objetivo se basa en evaluar la utilización de fibras de polipropileno, para combinar con el Shotcrete (hormigón). La investigación conduce a

mostrar la caracterización de agregado fino, y del grueso a fino proporción agregada a propiedades proyectadas. El trabajo se basa en el uso de las fibras de polipropileno (2 o 4kg/m³) la cual modifica significativamente la resistencia de la mecánica, la contracción por secado, la durabilidad de hielo/ sal del hormigón proyectado en una mezcla seca para mejorar la durabilidad y ser utilizado en el techo de las labores mineras subterráneas que poseen rocas incompetentes.

- El artículo científico de (Saw et al. 2013), que tiene como título “Las pruebas de laboratorio de la fibra de acero reforzado de hormigón proyectado”; cuyo objetivo es desarrollar ensayos de compresión uniaxial y triaxiales en fibra de acero reforzado de hormigón proyectado (SFERS). La investigación conduce en realizar pruebas de laboratorio que se desarrollará en máquinas de ensayo servo - controlado para obtener curvas completas que confirma la tensión – deformación de la resistencia del hormigón y las propiedades mecánicas elásticas y plásticas de SFERS. El trabajo aporta brindar la obtención de parámetros que se utilizará en el sostenimiento.
- La Compañía Minera Consorcio Minero Horizonte hasta la actualidad hace el uso adecuado de la aplicación de sostenimiento por shotcrete vía seca en un 40% con 2” a 3” de espesor y el 60% por shotcrete vía húmeda debido al tipo de macizo rocoso que existe en la zona minera.
- La Compañía Minera Casapalca en su Unidad Cuerpo Mery decide la aplicación del shotcrete vía seca para la cual cuenta con equipos shotcreteros de marca Aliva la cual se centra principalmente para el desarrollo de, rampas, cruceros y bypass y preparado para frentes en avance, para la cual se es necesario transportar todos los materiales en el área de lanzado de shotcrete.
- La necesidad de la aplicación por sostenimiento de shotcrete vía seca, es minimizar la caída de rocas, la cual este método promoverá el empleo del concreto lanzado, tanto como soporte primario.

- El trabajo de (GERSON 2013), sobre Optimización de la logística del Shotcrete en operaciones subterráneas. Este estudio se basa en encontrar una opción técnica ya que la proyección del shotcrete por vía seca únicamente se premezclan los materiales secos, y la mezcla se transporta por mangueras mediante el aire comprimido; el agua necesaria para la hidratación es aplicada en la boquilla. Entre las ventajas del método figura el bajo costo de los equipos y la facilidad de transporte subterráneo y de la limpieza. En este método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla (como un líquido) o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo.
- El trabajo de (BASF 2007), sobre Aditivo para el control de hidratación. Este estudio se basa en los inconvenientes del uso de shotcrete ya que es una pérdida de calidad, por el uso retardado de las mezclas secas, es que la vida de la mezcla de shotcrete solo tiene minutos y en el mejor de los casos pocas horas, es que el tiempo de transporte y el almacenamiento eso hace que tenga poca vida el Shotcrete; por ello es necesario utilizar el aditivo de control de hidratación ya que logra adaptarse al shotcrete .proyectar al sistema de avance y controla la hidratación. Se asegura que mediante el uso de ello el shotcrete vía seca tendrá mayor vida y la hidratación seguirá y podrá controlar el cemento para un buen sostenimiento en las elaboraciones de túneles y labores mineras subterráneas y poder estabilizar el dosificado de las mezclas mediante la barrera protectora de este aditivo.

2.2. GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA

2.2.1. Ubicación

La Compañía Minera Casapalca se encuentra ubicada en la sierra Limeña del Perú a 128km de la ciudad de Lima, a 4200 metros de altitud. Según las reservas de mineral la Unidad de Cuerpo Mery se ubica a la altura del km 115 de la carretera central.



Figura 1. Plano de ubicación de Compañía Minera Casapalca

Fuente: Google Chrome

2.2.2. Accesibilidad

La mina Casapalca cuenta con dos vías de acceso que permiten llegar al campamento minero, estos son:

- Carretera asfaltada siguiendo la ruta Lima - Casapalca con una distancia aproximada de 128 Km. En un tiempo de recorrido de tres horas.
- Carretera Asfaltada Huancayo -La Oroya-Casapalca con una distancia de 100 Km. en un tiempo de tres horas.

Desde este punto (Autopista Casapalca) hay una carretera afirmada que sube por la quebrada Carmen hacia el S.E. y que conduce a la Compañía Minera Casapalca S.A.

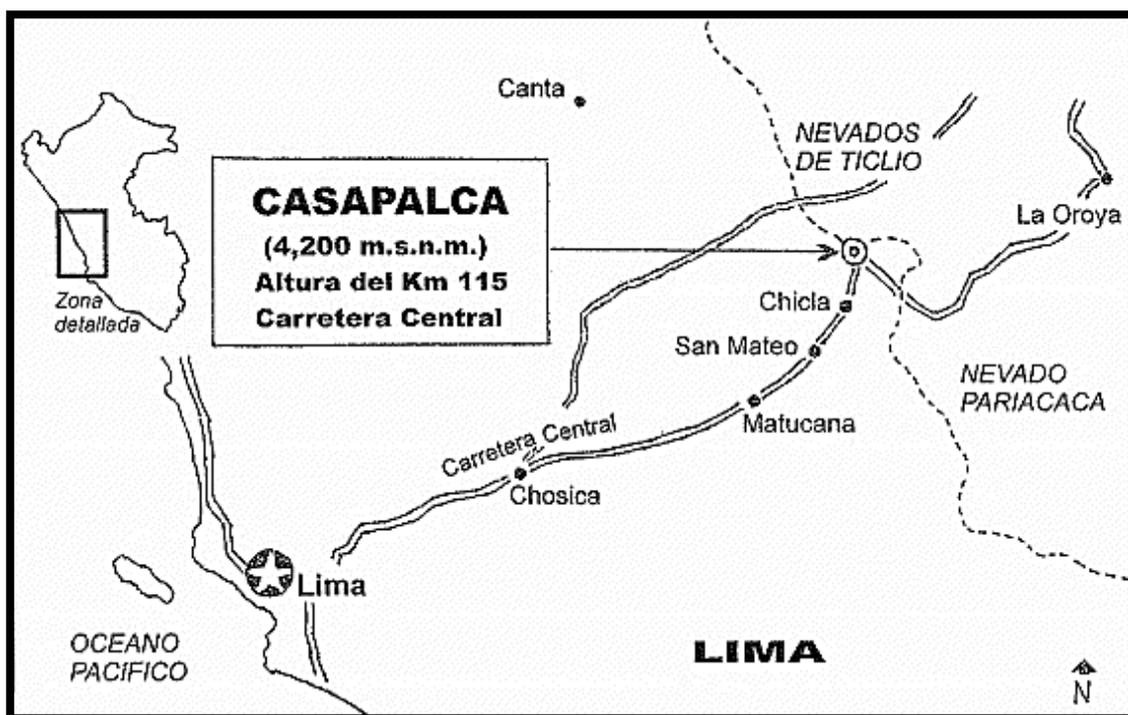


Figura 2. Mapa de acceso de la Compañía Minera Casapalca

Fuente: El Comercio

2.2.3. Clima y vegetación

El clima de Casapalca es típico de la sierra peruana. Es decir, un clima de puna caracterizado por ser seco y frío durante todo el año.

Casapalca cuenta con dos climas bien diferenciados:

- La temporada de lluvias comprendida entre los meses de enero a marzo caracterizada por fuertes precipitaciones con la temperatura de 10°C y Disminuyendo está a 0° C. con presencia de nieve.
- El resto del año caracterizado por un clima seco casi todo el año con lluvias aisladas, con cambio de temperatura muy fuerte de 10° a - 0°, el cual se presenta a la temperatura más bajas en los meses de (junio – agosto). Posee una vegetación peculiar de la zona, el ichu, en los alrededores de la Unidad Cuerpo Mery.

2.2.4. Reseña Histórica

Según (Honorio Pinto 2007), en sus orígenes, Minera Casapalca formó parte de la Empresa Backus y Johnston. Fue constituida en 1889; posteriormente en 1919, fue adquirida por la Compañía Cerro de Pasco Corporation, entonces de capitales norteamericanos; luego a raíz de la nacionalización de esta empresa, pasa a formar parte de la empresa Minera del Centro del Perú – CENTROMIN PERÚ. El 13 de octubre de 1986 se concreta la constitución legal de Compañía Minera Casapalca S.A. iniciando sus actividades el primero de enero de 1987. En 1987 se logra obtener las principales concesiones de CENTROMIN PERÚ, además de los yacimientos pequeños mineros circundantes, lo cual marca el primer paso para un desarrollo sostenido. Por los peligros y riesgos existentes durante la operación minera que podría ocasionar los incidentes y accidentes, la empresa toma la decisión de minimizar los problemas y/o accidentes como: caída de rocas, falta de ventilación, manipulación de materiales inadecuados, caída de personas, falta de implementos de seguridad, disparo fuera de horario, EPP 'S en mal estado entre otros.

2.3. GEOLOGÍA

2.3.1. Geología regional

Según (León Córdor 2017), la secuencia estratigráfica del distrito está constituida tanto por roca sedimentarias como volcánicas interestratificadas, cuyas edades fluctúan desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario. La estructura del distrito cuyos ejes se orientan paralelamente a dirección general de los Andes.

La estructura principal. El “Anticlinal Casapalca”, constituye un pliegue moderadamente abierto en la porción central del distrito, el cual se cierra hacia el Norte, hasta construir una falla inversa de empuje con buzamiento al Este. Cuerpos intrusivos pequeños de composición intermedia se encuentran dentro de las secuencias sedimentarias y extrusivas; mostrando ellos una composición química similar diferenciándose únicamente en su carácter textural.

2.3.2. Geología local

Según (León Cóndor 2017), la formación geológica local de la Unidad Cuerpo Mery es:

Formación Carlos Francisco: Esta se encuentra constituida de flujos andesítico y fragmentaciones de brechas como cuarzo y calcita subordinada, así mismo posee minerales como: (ganga, Pirita, esfalerita, galena y tetraedrita, mena) Vetas formadas por relleno de fisuras y fenocristales de clorita y calcita.

Formación Carmen – Aguas Calientes: Formada sobre yacimiento de capas rojas y carbonatos, cuarzo, y como minerales de esfalerita, galena y tetraedrita (Pirita). Mineralización gradacional al tipo I.

Tipo Corina: Poca ganga, esfalerita y jamesonita.

Tipo Americana: Carbonatos clivables como ganga. Tetraedrita, esfalerita con poca galena y pirita. Al Este de la mina Principal (Mina Oroya).

Tipo Yauliyacu: En las formaciones Yauliyacu, Bellavista y río Blanco a 4 kilómetros al Sur de la mina principal.

Tipo Chisay: Los minerales de mena son: Calcopirita bornita y tetraedrita en vetas, vetillas y diseminaciones; junto a las que se halla localizada la malaquita. Los principales minerales de ganga son calcita, dolomita, rodocrosita y barita, que se presentan en pequeñas cantidades. Las rocas encajonantes son los volcánicos porfiríticos “Carlos Francisco” ampliamente distribuidos (3 a 4km) en el distrito Americana.

2.3.2.1. Estratigrafía

La columna estratigráfica de la región está conformada principalmente por areniscas, lutitas calcáreas, calizas, brechas, rocas volcánicas, tufos y lavas, las cuales alcanzan un espesor aproximado de 5,400 m.

Formación Goyllarisquisga

Son las rocas más antiguas reconocidas en el distrito, constituida por cuarcitas de color blanco de grano fino con intercalaciones y mantos de carbón. Su afloramiento se ha reconocido solo en la quebrada Huayamay o Carbonyacu, cerca de la entrada del túnel Graton.

Formación Machay

Se encuentra en concordancia sobre la formación Goyllarizquisga, constituida por calizas gris claras, también llamadas Calizas Jumasha. También afloran en la vecindad del túnel Graton

Formación Bellavista

La formación Bellavista consiste en una serie de tufos volcánicos intercalados con calizas grises. En los niveles inferiores de la Mina Casapalca se encontró unos horizontes de anhidrita intercalados con lutitas.

Formación Río Blanco

La formación Río Blanco consiste en una serie de tufos bien estratificados que descansa concordantemente sobre la formación Bellavista. Los volcánicos de Río Blancos debe ser una de las rocas más jóvenes del Perú.

Formación Casapalca

Aflora en el sector norte y sur del campamento Carmen, constituye la formación más antigua que aflora en el área y forma el amplio anticlinal Casapalca que es cortado por el río Rímac.

Esta formación está compuesta por una serie de rocas sedimentarias de ambiente continental y se divide en dos miembros:

➤ Miembro Capas Rojas

Estas se caracterizan por presentar intercalaciones de lutitas y arenisca calcárea con coloraciones rojizas debido a las diseminaciones de hematita en el macizo rocoso de la formación casapalca.

➤ **Miembro Carmen**

Sobre yaciendo a las capas rojas se encuentra una serie de paquetes de conglomerados y calizas intercaladas con capas de areniscas, lutitas, tufos y aglomerados volcánicos con una potencia que varía de 80 a 200 m.

Formación Carlos Francisco

Aflora en el sector este del campamento Carmen, compuesta por rocas volcánicas que supra yacen discordantemente a la formación Casapalca. Esta formación ha sido dividida en:

➤ **Volcánicos Tablachaca**

Se caracteriza por presentar rocas volcánicas porfíricas de color gris-rojizas del tipo andesítico.

➤ **Volcánicos Carlos Francisco**

Se caracteriza por presentar rocas volcánicas afaníticas tipo andesítico, de color gris principalmente.

Tufos Yauliyacu

Son tufos volcánicos de color rojizo intenso los cuales supra yacen al miembro Carlos Francisco.

Formación Bellavista

Unidad Estratigráfica que aflora al S y SE del campamento Carmen, la cual se caracteriza por presentar rocas calcáreas (calizas, margas) de color gris a negro, las cuales supra yacen discordantemente a la formación Carlos Francisco.

Depósitos Cuaternarios

En la región Casapalca existen una serie de depósitos glaciares y conos de escombros de formación reciente. Estos son:

Pleistoceno

Debajo de los depósitos glaciares recientes existen potentes series de morrenas terminales a elevaciones aproximadas de 4300 a 4500 m s.n.m.

Reciente:

Formado por materiales consolidados de clastos angulosos de diversos tamaños, que forman conos y taludes.

2.3.3. Geología estructural

Según (ITALO ROBERT 2015), menciona que el aspecto estructural es uno de los factores más importantes en la mina Casapalca, los múltiples movimientos durante la tectónica andina han generado la formación del marco estructural presente en la zona, aprovechando de estas grandes zonas débiles previamente formadas, la actividad magmática del Mioceno Tardío ha permitido

el emplazamiento de intrusivos ácidos que son los causantes de la mineralización.

El sistema de esfuerzos producidos en los ciclos de la tectónica Andina, en el Terciario y pleistoceno en el centro del Perú en especial en la región de Casapalca, San Cristóbal y Morococha ha formado un sistema de estructuras extensas con pliegues, fallas y fracturas. Es importante mencionar que estas estructuras controlan el emplazamiento de los intrusivos y la mineralización de las vetas.

- **Anticlinales – Sinclinales**

Siendo los más importantes el gran sinclinal de Pumatarea-Aguascocha, el cual tiene una dirección de NW-SE y una longitud de hasta 9 km. el cual controla todo el sector de Casapalca, seguido se tiene el anticlinal de Casapalca que tiene hasta 2 km. con su eje paralelo al sinclinal, y el anticlinal de Antupuquio de 1 km. de longitud con su eje paralelo al eje del sinclinal.

Este plegamiento controla todo el fallamiento y fracturamiento transversal al eje del sinclinal que es la principal estructura debido a que la mineralización se realizó en estas estructuras.

- **Fallas – Fracturas**

Las estructuras más importantes en el distrito minero de Casapalca son las fallas perpendiculares al eje del sinclinal Pumatarea-Aguascocha, las cuales tienen una dirección N-S y se encuentran rellenadas de soluciones hidrotermales, y en algunos casos sirvieron como ductos para la circulación de dichas soluciones.

Las fallas y fracturas están controladas por las rocas encajonantes de acuerdo a su competencia, por ejemplo, las lutitas y

conglomerados de la Familia Casapalca permiten la fuerte alteración y el fuerte fracturamiento respectivamente y en otros casos cuando la roca no es favorable se observan solo fracturas menores como en la roca del Miembro Tablachaca; Familia Bellavista y la Familia. Río Blanco.

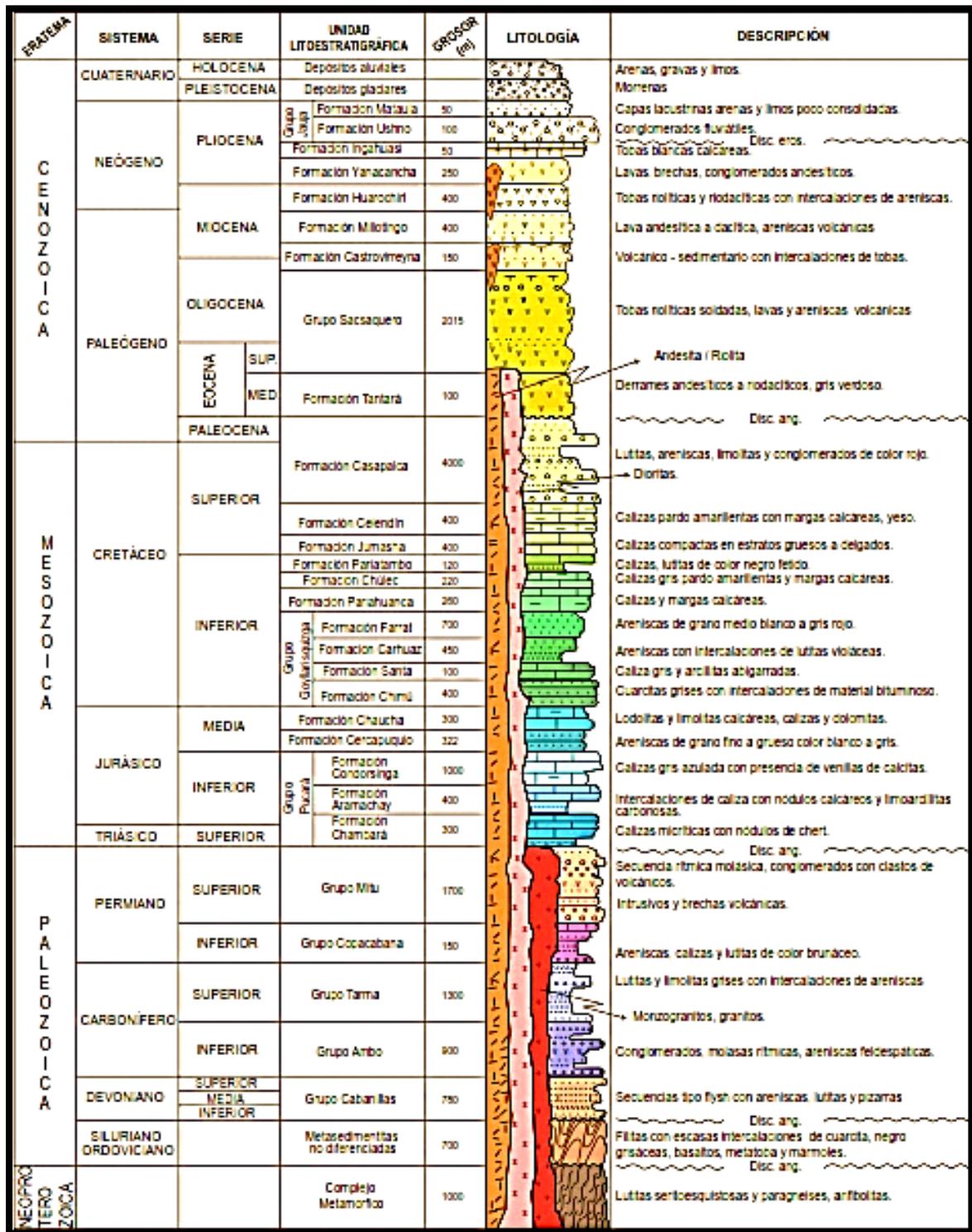


Figura 3. Columna geología estructural de la mina Casapalca

Fuente: CIA Minera Casapalca

2.3.4. Geología económica

Según (LEON CONDOR ARMANDO 2016) se presenta la geología económica que la mina Casapalca es un yacimiento polimetálico del tipo cordillerano con minerales de plata, plomo, zinc, y cobre, cuya mineralogía cambia de acuerdo al saneamiento vertical y horizontal, debido al carácter mesotermal de las vetas estas van a tener una gran extensión vertical que alcanzaría por debajo de la cota 3900 m s.n.m.

En las rocas sedimentarias se emplazan cuerpos mineralizados de forma muy irregular, producto del reemplazamiento de la matriz calcárea por soluciones hidrotermales. Con presencia de alteración propilitica y silicificación muy leve a regular.

En el área de la concesión minera Casapalca se encuentra diversos afloramientos desde simples fracturas rellenas con carbonato (calcita) hasta vetas anchas rellenas con carbonatos cuarzo y sulfuros, la cual se presenta varias vetas casi paralelas siendo los principales:

- Veta Esperanza – Mariana – Mercedes
- Veta Oroya principal con dos ramales (Oroya Norte – Oroya Este y Oroya Americana – Prolongación Eloida).
- Veta Don Reynaldo
- Veta Juanita con ramal Victoria.
- Veta Escondida el cual corresponde a un Split de la veta Mariana.
- Existiendo otras vetas no reconocidas su carácter económico es bajo.

- Zona de cuerpos se presenta los cuerpos Mery, Anita, Micaela, Emilia, Sorpresa, Vera, Mariana Techo, Negrita y Chiara.

2.3.4.1. Dimensiones y leyes de la Unidad Cuerpo Mery

La dimensión de la Unidad Cuerpo Mery consta de la unión de los cuerpos mencionados, logrando una recuperación mayor de 82% de mineral logrando 12000 ton/mes en función de un programa mensual. Con el método de Sublevel Stopping se logra un VAN de \$ 586.161 con un índice de 14.5 a 34.28 ton/tarea.

Las leyes de los resultados en la estimación de reservas el 30 de marzo de 2017 es lo siguiente según geología - CIA Minera Casapalca en la Unidad Cuerpo Mery, 2017.

CERTEZA	T.M.S	A.V.C	A. M.m	Ag Oz/Tc	Pb%	Cu%	Zn%	US \$ T.M.S
VETAS								
Probado	1052.390	1.07	1.26	5.97	1.52	0.24	2.05	53.1
Probable	668.880	1.25	1.44	5.69	1.51	0.23	2.13	52.2
SUB TOTAL	1721.270	1.14	1.33	5.86	1.52	0.23	2.08	52.75
CUERPOS								
Probado	1945.131	16.75	16.85	1.33	0.29	0.33	3.5	29.63
Probable	589.634	29.57	29.67	1.46	0.39	0.31	3.28	29.24
SUB TOTAL	2534.785	19.73	19.83	1.36	0.31	0.32	3.44	29.77
TOTAL								
Probado	2997.521	11.25	11.38	2.96	0.72	0.3	2.99	38.06
Probable	1258.514	14.52	14.67	3.71	0.99	0.27	2.67	41.44
TOTAL	4256.036	12.21	12.35	3.18	0.8	0.29	2.89	39.06

2.4. Bases teóricas

2.4.1. Teorías básicas de la investigación

2.4.1.1. Geomecánica Aplicada al Diseño Subterráneo

Según (ZANABRIA; 2014) la geomecánica constituye una base de la minería en conceptualizar la vida económica junto con el beneficio económico con márgenes ajustados de seguridad, lo cual crea problemas en el diseño y poder identificar qué tipo de sostenimiento se va a utilizar.

2.4.1.2. Mecánica de Rocas

Según (OYANGUREN; 2004) se define como un agregado sólido que se encuentra en toda la corteza terrestre, la mecánica de rocas se encarga de realizar un estudio de la roca – roca intacta en referirse como él (trozo, bloque, probeta) la cual varía según sus caracteres geológicos, estructurales, pliegues, fallas, juntas y diaclasas la cual se desarrolla y se logra escoger según el macizo rocoso que tipo de sostenimiento se va a realizar.

2.4.2. Propiedades de las Discontinuidades

Según (OYANGUREN; 2004) se hace mención que las discontinuidades se presentan comúnmente mediante número elevados de discontinuidades que se puede encontrar en las diversas labores mineros, como además el comportamiento de estas influyen para realizar estudios de caída de rocas en las labores mineras.

2.4.2.1. Shotcrete

El shotcrete es en efecto una colado in – situ que se encarga de realizar sostenimiento al macizo rocoso este posee una mezcla que se encarga de pulverizar los paneles del macizo rocoso afectado, brindando un sostenimiento confort, este material se investigó hace buen tiempo, la cual es aceptada por que su acabado es total mente húmedo y este a la vez ejerce un mejor sostenimiento para las labores mineras según (MANUFACTURES; 2000)

2.4.2.2. Martillo de Schmidt para clasificación de rocas

El medio de Schmidt es el instrumento para ensayos de dureza por un método no destructivo. Esta herramienta consiste en el resorte adosado a la masa que al ser alcanzado el émbolo impacte sobre la superficie dura del material medir. La cual para este método se estipula 10 ensayos para una sola muestra de la roca.

2.4.2.3. Clasificación Geomecánica: Métodos de NATM, NGI, CSIR, GSI

Determinará la caída de rocas para hallar el tipo de macizo rocoso así se logrará tomar en cuenta un grupo específico.

- Recuperación de testigos
- Se utilizará una tabla para determinar la calidad de roca.
- El diámetro del testigo debe ser igual o superior a 57,4mm.

- De las muestras, los fragmentos de las rocas deben ser igual o superior a 100mm de longitud para ser evaluada.
- Luego de dos semanas las muestras serán clasificadas para poder apreciar la calidad de roca.

2.4.2.4. Parámetros Geomecánicos

Resistencia a la compresión (σ_c)

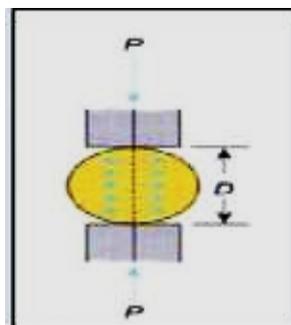
Es considerada una de las propiedades más importantes a utilizar en el diseño del sostenimiento por el shotcrete, además verifica la rotura por presión.

Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\text{FUERZA COMPRESIVA APLICADA}}{\text{AREA DE APLICACIÓN}}$$

La resistencia de la compresión de la roca se puede determinar en forma rápida en los frentes de avance, influyendo en el macizo rocoso.

$$\frac{2P}{\pi LD} =$$



Donde:

P = Carga que produce la rotura

D = Diámetro de la probeta

L = Longitud de la probeta

El valor de σ_c de la matriz rocosa suele variar entre el 5% y el 10% del valor de la resistencia a la compresión simple.

2.4.2.5. Definición de términos básicos

Según (LEON CONDOR ARMANDO 2016) se considera la siguientes definiciones básicas:

- **Cemento de bajo calor de hidratación:** cemento portland que produce una cantidad de calor limitada durante su fraguado; en Estados Unidos se lo designa Tipo IV y en Perú el Tipo I.
- **Cemento de fraguado controlado:** cemento hidráulico que contiene aluminato de calcio fluoro-sustituido, capaz de fraguar muy rápidamente.
- **Gunitar:** consiste en la puesta en obra de un mortero u hormigón a gran velocidad, que es transportado a través de una manguera y proyectado neumática – mente sobre una superficie.
- **Rebote:** material proyectado que no queda incorporado a la superficie a revestir al ser rechazada por ésta.

- **Pilote colado in situ:** pilote de hormigón colado in situ, con o sin camisa; lo contrario de pilote pre moldeado. (Ver también drilled pier - pilote excavado y precast pile - pilote pre moldeado).
- **Extracción de testigos:** acto de obtener testigos de una estructura de hormigón o roca de fundación.
- **Caolín:** una roca, generalmente de color blanco, que consiste fundamentalmente en minerales arcillosos del grupo de la caolinita, compuesta principalmente por silicato de aluminio hidratado, de bajo contenido de hierro, usada como materia prima para la fabricación de cemento blanco.
- **Fragmentación:** el rompimiento de una masa sólida en pedazos, por efecto de la voladura.
- **Máxima temperatura de servicio (hormigón refractario):** temperatura por encima de la cual el hormigón refractario sufre retracción excesiva; generalmente está entre 150 °F (66 °C) y 200 °F (93°C) por debajo de la temperatura a la cual el hormigón refractario se ablanda.

- **Malla:** número de aberturas (incluyendo las fracciones de abertura) por unidad de longitud de una criba o tamiz donde las aberturas son de $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) o menores.
- **Micro arena:** agregado fino que atraviesa el tamiz normal de 150 μm (No. 100), esencialmente libre de arcilla y esquisto.
- **Agua de amasado:** agua en un mortero u hormigón recién mezclado, excluyendo el agua previamente absorbida por los agregados (es decir, el agua que se considera en el cálculo de la relación agua cemento neta). (Ver también batched water - agua de un pastón; surface moisture - humedad superficial).
- **Vetas:** cuerpos de mineral en forma alargada, limitados por planos irregulares de rocas denominadas cajas o llamada manto.
- **Módulo de rigidez:** relación entre el esfuerzo de corte unitario y la deformación por corte; también se denomina módulo de corte o módulo de elasticidad transversal; se representa mediante el símbolo G. (Ver modulus of elasticity - módulo de elasticidad.)

- **Reómetro:** es un instrumento de laboratorio que se usa para medir la forma en que fluyen un líquido, mezcla o suspensión bajo la acción de fuerzas externas. Se emplea para fluidos que no pueden definirse con un único valor de viscosidad.
- **Macizo rocoso:** es el conjunto de la matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo, y normalmente anisótropo, según la naturaleza del terreno.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Método de la investigación

Dentro del tipo del método que se va a utilizar es el método científico como método general.

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, cuya finalidad es resolver problema de la sociedad.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es correlacional – experimental cuya finalidad es relacionar variables y experimentar.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene como diseño el correlacional simple.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Unidad Cuerpo Mery de la Compañía Minera Casapalca.

3.3.2. Muestra

El Nv. 6 – XC 750W de la Unidad Cuerpo Mery siendo una muestra no probabilística.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se usó información recopilada de los estudios geomecánicos para contrastar la hipótesis propuesta, se realizó una investigación experimental de tipo explicativa, según las características geomecánicas y ensayos; además la consulta de las experiencias de fuentes bibliográficas (informes, tesis, libros y otros)

3.4.1. Técnicas de tratamiento de datos

En primera instancia, se recopilará información con la que cuenta la compañía minera. Se hará un análisis interno y externo de la misma.

Finalmente, se estructurará una base de indicadores de los estándares óptimos que nos permitan procesar esta información logrando realizar la aplicación del sostenimiento por shotcrete vía seca en la Unidad Cuerpo Mery.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4. DESCRIPCIÓN GEOMECÁNICA

4.1. CONDICIONES GEOMECÁNICAS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO

El comportamiento del macizo rocoso se basa en la presencia de carbonatos (arcillas expansivos e inestables que proceden de un origen primario etapa de formación de la roca) estas arcillas se basan según la formación del origen secundario (minerales producto de la alteración hidrotermal); la cual este tipo de arcillas ocasiona un rápido deterioro de la calidad de roca y del mineral, logrando disminuir el grado de resistencia y aumentando las presiones en las paredes, debido a la constante absorción del agua subterránea existente.

4.2. ASPECTOS GEOMECÁNICOS UNIDAD CUERPO MERY

El aspecto geomecánico en la Unidad Cuerpo Mery se basa de acuerdo a la clasificación geomecánica y según el criterio tomado por Bieniawski.

La estructura del macizo rocoso está compuesta por el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues, y características geológicas propias de la Unidad Cuerpo Mery, y al que define la clasificación se denomina RMR (Rock Mass Rating).

Tabla 1: Clasificación RMR según denominación de roca

RMR	MODIFICADO	
	CLASE	DENOMINACIÓN
85-75	I	MUY BUENA
75-50	II	BUENA
50-25	III	REGULAR
25-50	IV	MALA
0-15	V	MUY MALA

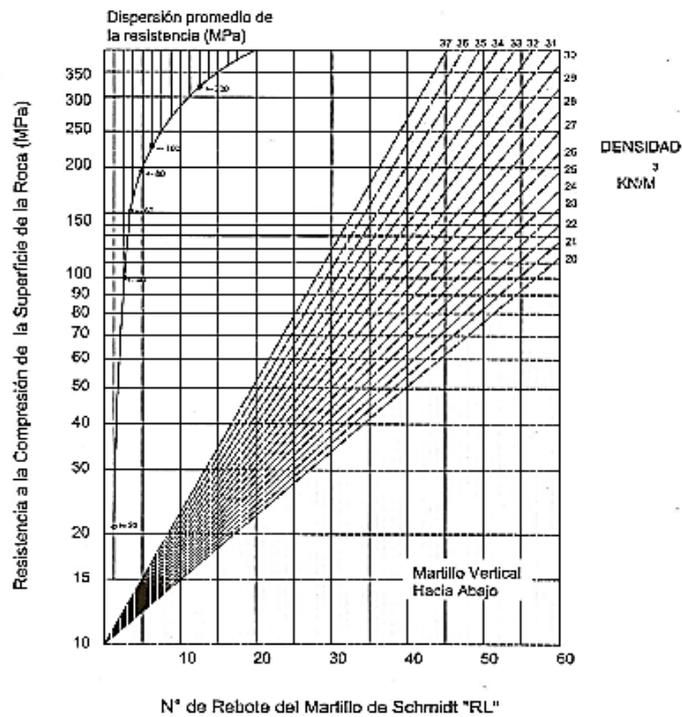
Fuente: Departamento de Geomecánica CIA Casapalca

4.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE CASAPALCA

Los criterios a realizar para la evaluación geomecánica en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Cuerpo Mery fueron los siguientes y según (LEÓN 2015) se conforma en:

- **Prueba Esclerométrica:** para las pruebas de campo debe de utilizarse un esclerómetro o martillo tipo “N” con energía de impacto de 0.225 kg. Mediante la siguiente ecuación; se consigue la correspondencia del rebote (R) obtenida con el martillo “L” para el cual se debe utilizar el ábaco de la Tabla 2:

Tabla 2. Para calcular el N° de rebote



Fuente: CIA Minera Casapalca

Las fórmulas a utilizar para calcular el RL y RN son:

Conocido RN:
$$RL = -3.4 + (0.83 RN) + 0.0029(RN)^2$$

Conocido RL:
$$RN = 4.5 + (1 + 113RL) - 0.0025(R)^2$$

Donde:

RL= Número de rebote en el martillo tipo “L”

RN = Número de rebote en el martillo tipo “N”

- Propiedades Físicas**

Según (CARLOS FLORES BERAUN 2014) se considera que las propiedades físicas se considera lo siguiente:

Su determinación se basa en el establecimiento del peso seco, peso saturado y el volumen de las probetas rocosas cilíndricas. Las propiedades que así se determinan son:

A. Peso específico (δ): es el peso de una unidad de volumen de roca, expresado en gr/cm³; Kg/m³; etc. y se determina por la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen}} \times 9.81 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

B. Porosidad (n): es la relación entre el volumen de vacío (poros) y el volumen total de la muestra y se calcula mediante la siguiente relación en término porcentuales

$$n = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\delta \times W \times \text{Volúmen}} \times 100$$

C. Absorción (w): es el agua que llena a los poros de una muestra de roca sumergida en agua, y es la relación porcentual del peso del agua absorbida, respecto al peso de la muestra seca.

$$W = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Ejemplo: en el siguiente cuadro se muestra un ejemplo del resultado de las propiedades físicas obtenidas de una muestra representativa:

Tabla 3. Muestra del resultado de propiedades físicas

Ø mm.	Longitud mm.	Volumen cm.³	P. natural Gr.	P. seco Gr.	P. saturado Gr.	P.E. (δ) Kg./m³	Poros %	Absorción %
34.80	30.50	39.10	78.57	78.45	78.66	2.653	0.72	0.27
34.80	32.50	42.20	80.20	80.05	80.30	3.010	1.10	0.70
34.80	33.50	42.20	82.20	82.10	82.30	3.160	1.20	1.10
34.80	31.50	40.10	79.60	79.40	79.80	2.855	0.85	0.45
34.80	30.50	39.10	78.57	78.45	78.66	2.653	0.72	0.27

Fuente: CIA Minera Casapalca

Según (LEÓN 2015) se considera que para el criterio de la evaluación geomecánica se considera:

Clasificación de Bieniawski – Índice “RMR”

El valor de “RMR” se obtiene por la suma de cinco parámetros los que tienen su correspondiente valuación y son:

1. Resistencia de la roca inalterada.
2. RQD
3. Separación entre las discontinuidades.
4. Estado de las discontinuidades.
5. Presencia de agua.
6. Parámetro que es el ajuste en la valuación que considera la disposición de juntas respecto a la excavación.

Las categorías de roca en función del valor del RMR, están designado como siguen:

Roca muy buena	RMR entre	85 - 75
Roca buena	RMR entre	75 - 50
Roca media	RMR entre	50 - 25
Roca mala	RMR entre	25 - 50
Roca muy mala	RMR entre	0 - 15

Clasificación adoptada

Según (LEÓN 2015) se considera que la clasificación (Q, RMR) finalmente son adecuadas para la obra, agrupando las rocas en tres categorías o tipos de rocas, siguiendo los criterios por Deere.

Las características adoptadas para la valuación de la calidad de las rocas son:

✓ Roca tipo I:

Rocas generalmente duras y moderadamente fracturadas. Las fracturas son discontinuas e irregulares y con superficie cerradas e inalteradas. El RQD mayor de 90% valores de RMR encima de 60 y Q mayores de 6. La roca con calidad Q igual o mayor a 6, para un diámetro de 6.40m. se auto soporta y no requiere soporte sistemático, requiriendo ocasionalmente pernos puntuales para estabilizar eventuales cuñas.

✓ Roca tipo II:

El macizo rocoso está sano ha ligeramente meteorizado, es de resistencia dura a media, afectando por discontinuidades con desplazamiento amplios o moderados (0.2 – 2m) y con trazas continuas. Pequeñas zonas de cortes y fallas pequeñas a medianas. Las diaclasas tienen superficies inalteradas a ligeramente meteorizadas y/o con signos de deslizamiento. Las fracturas (juntas) son frecuentes planas y continuas.

Los valores del RQD están en el rango de 25 – 90 %, el RMR entre 41 – 60 y Q entre 0.4 – 6.

✓ **Roca tipo III:**

El macizo rocoso esta fracturado o cizallado y moderado completamente meteorizado, de resistencia media a baja. Las fracturas están abiertas y rellenas con material arcilloso. Las zonas de fallas tienen rellenos de: material arcilloso, milonita, o roca muy fracturada o triturada.

Los valores de “Q” están entre 0.001 – 0.4 y el RMR con valores inferiores a 40.

Tabla 4. Evaluación de muestra de los 3 sistemas empleados

Clasificación de Roca adoptada para la obra en el nivel 6 – xc 750 w		I	II	III
Valuación de la calidad de macizos rocosos – sistema de clasificación	Sistema “Q”	>6	0.4 – 6	0.001 – 0.4
	Sistema ”RMR”	>60	41 – 60	00 - 40

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área de Geomecánica

Reg.01 - ESST01 MINA CASAPALCA SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO LABORES MINERAS DE PREPARACIÓN Y DESARROLLO (2.50 a 4.50 m. de Luz)											
A Sin soporte o apoyo ocasional. (Control de bloques inestables). TIEMPO COLOCACION: 15 días a 3 meses											
B Perno sistemático. [1.8 x 1.8 m.] TIEMPO COLOCACION: 7 días.											
C Perno sistemático. [1.5 x 1.5 m.] y Shotcrete con fibra 2" pulg. Cuadros de madera con guarda cabeza. TIEMPO COLOCACION: 1 día											
D Perno sistemático. [1.0 x 1.0 m.] y Shotcrete con fibra 3" pulg. Cuadros de madera con machavantes. TIEMPO COLOCACION: Inmediato.											
E CIMBRAS o CUADROS Esp. = 0.50 a 1.00 m. Soporte preventivo sht. 2" o machavantes. TIEMPO COLOCACION: Inmediata.											
ESTRUCTURA Abaco con relación RMR.		RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL									
		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (RC > 250 MPa) (SE ASTILLA O ROMPE CON MAS DE 04 GOLPES DE LA PICOTA)									
		BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (RC 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON 03 GOLPES DE LA PICOTA)									
		REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (RC 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA)									
		MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA CON ESTRICIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (RC 25 A 50 MPa) - (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) O (SE INSENTA SUPERFICIALMENTE) O (ESTRIACIONES)									
		MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS (FALLA) (RC < 25 MPa) (SE DISGREGA O INSENTA PROFUNDAMENTE) (SE HACE HUECO)									
		RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL									
		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (RC > 250 MPa) (SE ASTILLA O ROMPE CON MAS DE 04 GOLPES DE LA PICOTA)									
		BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (RC 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON 03 GOLPES DE LA PICOTA)									
		REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (RC 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA)									
		MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA CON ESTRICIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (RC 25 A 50 MPa) - (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) O (SE INSENTA SUPERFICIALMENTE) O (ESTRIACIONES)									
		MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS (FALLA) (RC < 25 MPa) (SE DISGREGA O INSENTA PROFUNDAMENTE) (SE HACE HUECO)									
	LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (2 A 5 FRACTURAS POR METRO) (RQD 75 - 90) (RQD = 115 - 3.3 Jn.) (LF)	95 LF/MB A	95 LF/B A	95 LF/R A							
	MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75%) (6 A 11 FRACTURAS POR METRO) (F)	85 F/MB A	85 F/B B	85 F/R B	85 F/M C						
	MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50 %) (12 A 20 FRACTURAS POR METRO) (MF)	75 MF/MB B	75 MF/R B	75 MF/R C	75 MF/M C	75 MF/MM D					
	INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25%) (MAS DE 21 FRACTURAS POR METRO) (IF)		65 IF/B C	65 IF/R C	65 IF/M D	65 IF/MM E					
		60	55	50	45	40	35	30	25	20	15

Figura 50. Tabla Geomecánica de RMR

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Tabla 5. Ensayo de índice manual sobre la resistencia del material rocoso (ISRM -1978- según (LEÓN 2015))

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN	RANGO APROX. DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)
R0	Roca extremadamente débil	Roca endentado por la uña del dedo pulgar	0.25 – 1.0
R1	Roca muy débil	Se desmorona bajo golpes firmes con las punta del martillo de geólogo, puede ser pelado o descarrillado por un cuchillo de bolsillo	1.0 – 5.0
R2	Roca débil	Puede ser descarrillado por un cuchillo de bolsillo con dificultad, endentado poco profundas, se forman por golpes firmes con la punta del martillo	5.0 – 25.0
R3	Roca de resistencia media o moderadamente resistente.	No puede ser raspado o descortezado con un cuchillo de bolsillo, el espécimen puede ser fracturado con simple golpe firme del martillo geológico	25 – 50
R4	Roca resistente	El espécimen requiere más de un golpe del martillo geológico para fracturarlo	50 – 100
R5	Roca muy resistente	El espécimen requiere muchos golpes del martillo geológico para fracturarlo.	100 – 250
R6	Roca extremadamente resistente	El espécimen puede ser solamente descascarado con el martillo geológico.	> 250

Fuente: CIA Minera Casapalca- Área Geomecánica

Tabla 6. Rango de velocidad de ondas "P" según (LEÓN 2015)

Velocidad de Ondas "P" Vp (m/s)	Descripción del macizo (roca ígnea)
> 5000	Roca sana fresca
5000 – 4000	Ligeramente meteorizada y/o con fracturas ampliamente espaciadas.
4000 – 3000	Moderadamente meteorizada y/o con fracturas ampliamente espaciada.
3000 – 2000	Intensamente meteorizada y/o con fracturas cercanas.
2000 – 1000	Muy intensamente meteorizada y/o triturada.

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Tabla7. Material dominante de relleno según (LEÓN 2015)

Material Dominante del relleno	Comportamiento Potencial de Relleno	
	En el frente	Más tarde
Arcilla expansiva	Expansiva libre, se hace lado presiones expansivas y empuje sobre el escudo.	Presiones expansivas y empuje contra el revestimiento, expansivo libre con caída o deslave si el revestimiento es insuficiente
Arcilla inerte	Se afloja y se hace lado por la compresión. Compresión muy fuerte bajo condiciones extremas.	Empuje contra el apoyo del revestimiento donde esta desprotegido: se afloja y se hace lado debido a cambios ambientales.
Clorita, talco, grafito o serpentina	Se deshace.	Pueden originarse cargas muy grandes debido a la baja resistencia, sobre todo cuando está húmedo.
Roca triturada, fragmento de comportamiento arenoso.	Se deshace o escurre. El tiempo de sostén puede ser muy breve.	Las cargas se disipan sobre el revestimiento, escurren y disgregan si el material no está confinado.
Calcita porosa o en hojuelas yeso	Condiciones favorables	Pueden disolverse, causando inestabilidad en el macizo rocoso.

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

4.4. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

Según la geomecánica del macizo rocoso en la Unidad Cuerpo Mery se puede determinar que la zona de cuerpos; se encuentra formada por relleno de fracturas, las venillas que se encuentran con rumbo de vetas madres, y el cuerpo mineralizado de galena, tetraedrita y carbonatos; y según remplazamiento la que se presenta siguiendo el rumbo de los estratos/horizontales de areniscas calcáreas y/o remplazando los clastos y/o matriz calcárea en el conglomerado, presenta así minerales de esfalerita, galena.

La cual la estructura mineralizada que posee la Unidad Cuerpo Mery es mediante zonas de cuerpos como:

- **Cuerpo Mery.**- Está compuesta por miembro de capas rojas entre la veta Mariana techo y Esperanza presentando una irregular diseminación de sulfuros de areniscas epidotizadas y piritizadas con rumbo N12°- 25°W la cual posee niveles altos de mineralización la cual se asocia a la veta del cuerpo la cual se trabaja mediante taladro largos.
- **Cuerpo Anita.**- Está remplazando inmediatamente al Norte del Cuerpo Mery también epidotizadas y piritizadas del miembro de capas rojas en varios niveles y formando un solo cuerpo con el Cuerpo Mery.
- **Cuerpo Emilia.**- Está ubicado en el miembro de capas rojas, al piso de la veta Esperanza, la cual presenta forma irregular la diseminación de sulfuros en arenisca piritizadas y cloritizadas, este cuerpo está asociado a la veta Esperanza Este cuerpo está al piso de la veta.
- **Cuerpo Esperanza.**- Este cuerpo con diseminación de sulfuros concordantes con la estratificación de arenisca del miembro capas rojas, la cual remplace inmediatamente al techo de la veta Esperanza, la cual posee una mineralización hasta 80m de longitud por 45m de ancho

reconociéndose una altura de 300m, el cuerpo mineralizado posee principalmente esfalerita, en pequeña proporción calcopirita, pirita, galena y asociados de franjas de epidota y arenisca calcificada.

- **Cuerpo Micaela.-** Este cuerpo emplazado en el miembro de capas rojas, su mineralización consiste de disseminación y parches de esfalerita, calcopirita, tetraedrita y pirita también como relleno de fracturas y relleno de cuarzo, carbonatos, esfalerita, pirita, calcopirita, tetraedrita.
- **Cuerpo Sofía.-** Diseño de sulfuros disseminados en arenisca del techo de las capas rojas, como control estratificado, esta al piso del conglomerado base del miembro el Carmen, y al piso del cuerpo se encuentra arenisca de grano fino del miembro de capas rojas su longitud llega hasta 35m y su ancho hasta 20 m con una altura reconocida de 170m.
- **Cuerpo Sorpresa.-** Se encuentra en la base del miembro El Carmen; es un depósito de sulfuros disseminados concordante con horizonte de conglomerado calcitizado, epidotizado y piritizado, con rumbo NO 0° - 23°W, longitud de hasta 60 m, potencia hasta de 7 m y altura reconocida hasta de 200 m.
- **Cuerpo Negrita.-** Es un depósito por relleno de cavidades y reemplazamiento, la estructura que se ha rellenado presenta rumbo paralelo a la estratificación, con minerales masivos de esfalerita, calcopirita, pirita, galena y eventualmente tetraedrita, se ha reconocido 2 m de ancho, de 50 m de longitud y hasta de 150 m de altura.
- **Cuerpo Vivian.-** Emplazado en el miembro El Carmen, depósito de sulfuros disseminados concordantes con horizonte de conglomerado epidotizado, piritizado y calcitado, con rumbo NO 0° - 25°W, reconocido

hasta 110m de longitud, potencia hasta de 3 m y hasta de 200 m de altura.

- **Cuerpo Patty.-** Emplazado en el miembro El Carmen, con sulfuros diseminados concordantes con la estratificación que presenta rumbo NO 0° - 40° W, reconocido hasta de 3 m de potencia, 100 m de longitud y 50 m de altura.
- **Cuerpo Carmen.-** Emplazado en el miembro El Carmen, cuerpo con diseminación de sulfuros concordante con la estratificación de areniscas y conglomerados, su mineralización está compuesta por esfalerita y calcopirita, en menor proporción tetraedrita y galena como minerales de mena, los minerales de ganga son pirita, cuarzo y carbonatos; el rumbo de las bandas mineralizadas y epidotizadas es de N 0° - 30° W con buzamiento de 73° - 85° E, reconocidas hasta de 15 m de potencia, 100 m de longitud y 100 m de altura.
- **Cuerpo Escondida.-** Cuerpo mineralizado con sulfuros diseminados en horizonte de conglomerados de la secuencia intermedia del miembro El Carmen, su mineralogía está constituida por esfalerita, calcopirita, tetraedrita, galena, pirita, cuarzo y carbonatos; el rumbo es de N 26° - 30° W.

Las características de la estructura mineralizada en la Unidad Cuerpo Mery, se desarrolla según el cuerpo mineralizado, y las paredes colgante y adyacente en las áreas de operaciones mineras.

Tabla 8. Características de la estructura mineralizada Cuerpo Mery

Marco estructural	Ambientes volcánicos complejos; frecuentemente asociados con calderas.
Rocas volcánicas genéticamente relacionadas	Andesitas-riodacitas-riolitas
Ensamblajes de alteración característicos	Sericita a argílica.
Tipo de minerales de sílice y texturas características	Relleno de fracturas y espacios abiertos por calcedonia o cuarzo
Gangas de carbonato	Oblicuas, con frecuencia manganíferas
Otras Gangas	Barita y/o fluorita presentes sólo localmente; baritina por lo general sobreyacen a la mena
Presencia de sulfuros	Más escasos, principalmente pirita
Forma de Ocurrencia	Relleno de fracturas y espacios abiertos; stockwork frecuente
Sulfuros característicos	Esfalerita, galena, tetrahedrita, calcopirita y arsenopirita
Principales metales	Au y/o Ag; (Zn, Pb, Cu)
Metales Accesorios	Mo, Sb, As, (Te, Se, Hg)
Temperatura	200° C a 300° C
Tipo de fluido	PH casi neutro; reducido
Salinidad	0 a 13 wt% NaCl eq.
Fuente de fluidos	Dominantemente meteórico
Fuente de Azufre	Origen profundo; probablemente lixiviado de rocas encajonantes profundas
Fuente de Plomo	Rocas precambrianas o fanerozoicas subyacentes a las volcánicas
Otras denominaciones	Adularia – Sericita

Fuente: CIA Minera Casapalca- Área de Geomecánica

Tabla 9. Competencia de rocas según método de explotación

Condiciones Mineral Método Explotación	Competencia Roca Intacta		
	Baja	Media	Alta
Sub level Stoping	2	2	1
Over cut and fill	1	3	4

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Tabla 10. Competencia de roca según pared colgante

Pared colgante Método de Explotación	Competencia Roca Intacta			Espaciamiento de Fracturas				Condición de estructuras		
	B	M	A	MC	PE	E	ME	B	M	A
Sub level Stoping	2	2	3	3	3	4	4	4	2	1
Over cut and fill	1	2	2	2	3	4	4	3	2	3

Fuente: CIA Minera Casapalca - Área Geomecánica

Según las características geomecánicas la pared pendiente

UCS = 50 MPa, Profundidad = 200m P.E= 2.6ton/m³

RQD = 55%

Espaciamiento: 11f/m

Condiciones estructuras: fracturas con relleno arcilloso (encontrándose cerca al mineral)

- **Análisis del Cuerpo Mery**

El análisis geomecánico en la Unidad Cuerpo Mery y su entorno físico se realiza en base de mapeos geológico – estructurales, mapeo geomecánico para la caracterización del macizo rocoso y la obtención de parámetros geomecánicos.

Los datos se tomaron, por el método “Líneas de Detalle” para cada dominio estructural en el nivel 6- XC 750W la estimación de parámetros de resistencia de la roca, los trabajos de gabinete empleando técnicas como la proyección estereográfica, métodos estadísticos para el análisis y representación de la información tomada en el campo.

La caracterización geomecánica del macizo rocoso en la Unidad Cuerpo Mery y entorno Para la clasificar la estructura del macizo rocoso en el área, se ha utilizado el sistema de valoración del macizo rocoso.

Para ello se registraron datos del mapeo geomecánico en campo mediante las cuales se realizaron en las estaciones distribuidas en la labor del cruceo XC 750W, se tomó información referida a la orientación de discontinuidades, resistencia a la compresión uniaxial de la roca, grado de fracturamiento, espaciamiento entre discontinuidades, condición de fracturas (persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración) y la forma de presencia del agua subterránea.

Resistencia a la Compresión Uniaxial: Se tomó datos en campo usando el martillo de Schmidt.

Se realizó pruebas de rebote para estimar la RCU de la roca, la que es requerida como un parámetro de entrada en el sistema de clasificación del macizo rocoso RMR y en los cálculos del método gráfico de estabilidad.

Tabla 11. Datos de resistencia a la compresión uniaxial

XC-750 W - RESISTENCIA COMPRESION UNIAXIAL - MARTILLO SCHMIDT CAMPO							
ESTACIÓN GEOMECÁNICA	TIPO DE ESTRUCTURA	INCLINACIÓN	REBOTE	CORRECCION	REBOTE CORREGIDO	DENSIDAD (Tn/m ³)	UCS (Mpa)
1	Andesita	0°	34	2.9 4	31.06	2.7	46.61
2	Andesita	0°	40	2. 7	37.30	2.7	63.21
3	Andesita	0°	38	2.7 8	35.22	2.7	57.10
4	Andesita	0°	35	2. 9	32.10	2.7	49.04
5	Andesita	0°	35	2. 9	32.10	2.7	49.04
6	Andesita	0°	41	2.6 5	38.35	2.7	66.53
	Mineral	0°	25	3.2 5	21.75	3.2	36.88
	Andesita	0°	43	2.5 5	40.45	2.7	73.71

Fuente: elaboración propia Unidad Cuerpo Mery

Tabla 12. Datos de resistencia a la compresión uniaxial

XC – 750W - RESISTENCIA COMPRESION UNIAXIAL - MARTILLO SCHMIDT CAMPO							
ESTACIÓN GEO MECÁNICA	TIPO DE ESTRUCTURA	INCLINACIÓN	REBOTE	CORRECCIÓN	REBOTE CORREGIDO	DENSIDAD (Tn/m ³)	UCS (Mpa)
1	Andesita	0°	32	3.02	28.98	2.7	42.11
2	Andesita	0°	34	2.94	31.06	2.7	46.61
	Mineral	0°	25	3.25	21.75	3.2	36.88
	Andesita	0°	26	3.22	22.78	2.7	31.11
3	Andesita	0°	35	2.9	32.10	2.7	49.04
4	Andesita	0°	34	2.94	31.06	2.7	46.61
	Mineral	-45°	30	0.8	29.20	3.2	57.22
	Andesita	0°	31	3.06	27.94	2.7	40.02
5	Andesita	0°	35	2.9	32.10	2.7	49.04
6	Andesita	0°	41	2.65	38.35	2.7	66.53
	Mineral	0°	35	2.9	32.10	3.2	67.88
	Andesita	0°	43	2.55	40.45	2.7	73.71
7	Andesita	-45°	36	0.75	35.25	2.7	57.19
8	Andesita	0°	41	2.65	38.35	2.7	66.53
	Mineral	0°	36	0.75	35.25	3.2	81.73
	Andesita	0°	40	2.7	37.30	2.7	63.21

Fuente: elaboración propia Unidad Cuerpo Mery

El resumen del análisis de la información mencionada para cada dominio estructural se dividió en dos labores directamente influyente al cuerpo Esperanza (Crucero y By Pass), las cuales se caracteriza y tipifica el macizo rocoso según el sistema de valoración RMR89 de Bieniawski y se muestra a continuación en las tablas.

4.5. PRINCIPIOS GEOMECÁNICOS BÁSICOS

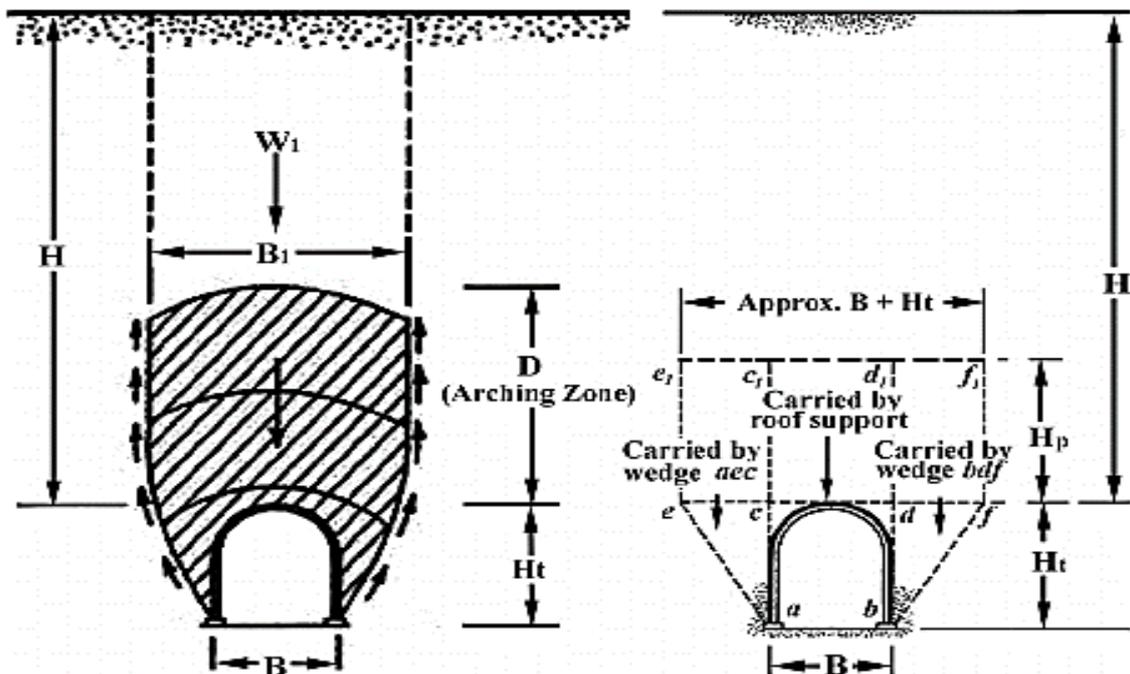
Según (LEÓN 2015) se considera que los principios geomecánicos básicos que se utilizará para el proceso de sostenimiento en la Unidad Cuerpo Mery son:

4.5.1. Principios Básicos del NATM

El concepto usado por Terzaghi (NATM) representa el movimiento de la roca suelta en el túnel.

Aunque el método NATM rechaza auto-definirse como una técnica específica, la cual consiste de algunos principios básicos:

- Maximizar la resistencia inherente del macizo rocoso permitiendo su deformación, de tal manera que la roca sea su propio soporte.
- Aplicación de una membrana fina de shotcrete para prevenir mayor deformación de la roca.
- Medición y seguimiento sistemático de los movimientos en las labores en interior mina, para poder adecuarse a las posibles medidas de apoyo adicionales requeridas.
- Apoyo flexible, con soportes activos que combinan shotcrete con fibra metálica.
- La roca suelta dentro del área tendera a interrumpir
- Durante la construcción del túnel habrá algún relajamiento de la cohesión de la formación rocosa arriba y en los lados del área a realizar.
- El ancho B1 de la zona de la roca donde existe movimiento, dependerá de las características de la roca y de las dimensiones Ht y B del túnel.
- $B1 = B + 0,5 H_p$



Fuente: CIA Minera Casapalca – Área geomecánica
 Figura 4. Configuración del arco del túnel según Terzaghi

4.5.2. Clasificación de Terzaghi para túneles

Se basa evidentemente en la experiencia de Terzaghi en túneles de ferrocarril y con cerchas de acero, basada únicamente en el terreno, a partir de la anchura y la altura del túnel. Permitiendo así un dimensionamiento adecuado y verificando incluso el tipo de roca.

Además, se basa en la tendencia que puede encaminar el sostenimiento a estos diversos tipos de roca y algunos siendo más flexibles según el macizo rocoso.

Siendo el soporte de marcos de acero de túneles en roca a una profundidad mayor a $(1,5B+Ht)$

Tabla 13. Clasificación según Terzaghi (1946) según (LEÓN 2015)

CLASIFICACION DE TERZAGHI (1946)		
ESTADO DE LA ROCA	CARGA DE ROCA Hp (pies)	OBSERVACIONES
Dura y masiva	0	Solo se necesita refuerzo escaso si hay desprendimiento o chasquido
Dura pero estratificada o esquistosa	0a 0.5B	Refuerzo escaso más que nada como protección contra desprendimientos. La carga puede cambiar en forma errática de un punto a otro
Masiva Ligeramente fisurada	0 a 0.25B	
Medianamente fracturada en bloques algo abiertos	0.25B a 0.35(B+Ht)	No hay presión lateral
Muy fracturada en bloques y las fracturas abiertas	0.35 a 1.10 (B+Ht)	Poca o ninguna presión lateral
Totalmente trituradas pero químicamente inalterada	1.10 (B+Ht)	Presiones laterales considerables. Los efectos de las infiltraciones hacia el piso del túnel requieren apoyo continuo para las partes bajas de los marcos o bien marco circulares.
Roca comprimida profundidad moderada	1.10 A 2.20 (B+Ht)	Considerablemente presión lateral. Se requiere plantilla apuntalada. Es preferible usar marcos circulares
Roca comprimida a gran profundidad	2.10 a 4.50 (B+Ht)	
Roca expansiva	Hasta 250 pies, independientemente del valor (B+Ht)	Marcos circulares indispensables, shotcrete y refuerzos elásticos

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área de Geomecánica

4.5.3. Clasificación de Barton NGI

Fue desarrollada en el Instituto Geotécnico de Noruega (NGI) por Barton, Lín y Lunde y como en el caso del RMR está basado en varios cientos de túneles construidos en la minería. Este sistema consiste en dar terreno una serie de parámetros que sustituiremos en una fórmula para así formar un índice denominado Q que es con el que podremos diseñar el sostenimiento, la variación lineal, en este caso se da una variación exponencial.

Donde:

RQD (Rock Quality Designation) se basa en el porcentaje de sondeo recuperado en el que la roca se encuentra relativamente intacta.

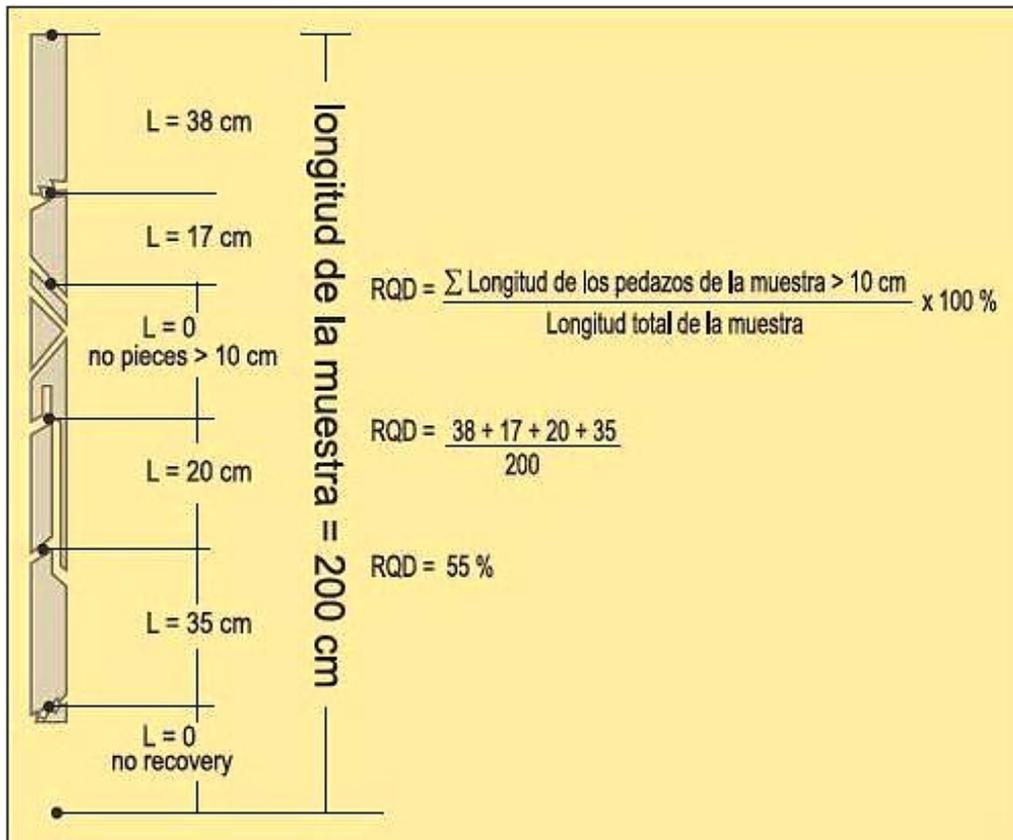


Figura 5. Método de sondeo de rocas - RQD

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

4.5.4. Clasificación Bieniawsky CSIR

Según (URREA CAMPOS 2015), se basa en el comportamiento complejo del macizo rocoso en excavación la cual realiza la combinación del RQD y la influencia de los rellenos como arcillosos y de meteorización, el CSIR es propuesto para terrenos fisurados la cual proporciona una base para la comprensión de las características del macizo facilitando la planeación y el diseño de estructuras.

Parámetros base de la clasificación

Para cumplir con los dos requisitos anteriores Bieniawski según (LEÓN 2015) propuso originalmente que su “clasificación geomecánica” comprendiera los siguientes parámetros:

RQD (Índice de calidad de la roca), grado de la meteorización, resistencia a la compresión uniaxial de la roca inalterada, distancia entre sí de fisuras y estratificación, orientaciones del rumbo y el buzamiento, Separación de las fisuras, continuidad de las fisuras e infiltraciones de aguas subterráneas. Después de ajustes a la clasificación propuesta los cinco parámetros básicos utilizados para la cuantificación de las propiedades del macizo son:

1. Resistencia de la roca inalterada. Bieniawski emplea la clasificación de la resistencia a la compresión de la roca que proponen Deere y Miller.
2. RQD: Corresponde al índice de calidad de la roca propuesto por Deere.
3. Espaciamiento de fisuras. El término fisura se utiliza para toda clase de discontinuidades como las fisuras, fallas, planos de estratificación y otros planos de debilidad.

4. El estado de las fisuras. Este parámetro toma en cuenta la separación o abertura de las fisuras, su continuidad, la rugosidad de su superficie, el estado de las paredes (duras o blandas) y la presencia de relleno de las fisuras.
5. Condiciones del agua subterránea. Se hace un intento de medir la influencia del flujo de aguas subterráneas sobre la estabilidad de excavaciones en términos de caudal observado que penetra en la excavación.

Características de las discontinuidades

- Orientación y número de discontinuidades (rumbo, buzamiento, familias)
- Frecuencia o espaciado de las juntas (distancia entre dos discontinuidades)
- Grado de apertura o separación (abierto o cerrado)
- Extensión, persistencia, continuidad
- Rugosidad o textura superficial (pulida, lisa o rugosa). Relleno



Figura 6. Características de las discontinuidades

Fuente: Study Lib Geotecnia

Valuación de parámetros

Según (LEÓN 2015), la forma en la que los cinco parámetros han sido incorporados en la clasificación de Geomecánica CSIR para macizos fisurados se muestra donde aparecen los rangos de valores para cada parámetro de acuerdo a las condiciones descritas para cada sector.

Tabla 14. Clasificación geomecánica CSIR de macizos de roca

CLASIFICACIÓN DE LOS PARAMETRO Y SU EVALUACIÓN									
PARAMETRO		ESCALA DE VALORES							
1	Resistencia de la roca alterada	Índice de la carga de punta	>10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 -4 Mpa	1 - 2Mpa	Para esta escala tan baja prefiere la prueba de la resistencia a la compresión uniaxial		
		Resistencia a compresión uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 -100 Mpa	25 -50 Mpa	5 - 25 Mpa	1 -25 Mpa	< 1 Mpa
	Valuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
	Valuación	20	17	13	8	3			
3	Espaciamiento de Juntas	> 2m	0.6 - 2m	200 -600 mm	60 - 200 mm	<60 mm			
	Valuación	20	15	10	8	5			
4	Condición de discontinuidades	Superficies muy rugosas sin continuidad, sin separación. Paredes de roca sana	Superficies algo rugosas separación 41mm paredes de roca ligeramente meteorizadas	Superficies algo rugosas, separación <1mm paredes de roca altamente meteorizadas	Superficies pulidas o relleno <5mm. Espesor o fisuras abiertas 1-5mm fisuras continuas	Relleno blando > 5mm o fisuras abiertas > 5mm fisuras continuas			
	Valuación	30	25	20	10	0			
5	Aguas subterráneas	Cantidad de infiltración por 10m de túnel	Ninguna	< 10 litros/min	10 -25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125litros /min		
		Relación entre la presión de agua y el esfuerzo principal o mayor	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Situación general	Totalmente seco	Húmedo	Solo húmedo (agua de intersticios)	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
	Valuación	15	10	7	4	0			

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Metodología propuesta para usar la clasificación CSIR

Esta metodología según (LEÓN 2015) es para la determinación del tipo de soporte temporal a instalar en cada uno de los sectores de una excavación subterránea, en la etapa de diseño se propone el siguiente procedimiento:

- 1) Dibujar un corte transversal donde aparezca el eje del túnel, la cobertura composición geológica, fallas, discontinuidades, y parámetros conocidos.
- 2) De acuerdo a las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos se deben escoger sectores donde el comportamiento geotécnico sea similar.
- 3) Seleccionar los parámetros representativos para cada uno de los sectores.
- 4) De acuerdo a los parámetros de cada sector cuantificar y establecer las condiciones del macizo en cada sector.

Tabla 15. Soporte a instalar según el tipo de roca CSIR

CLASE DE ROCA	PERNOS $\phi = 20\text{mm}$	CONCRETO NEUMÁTICO	SOPORTES DE ACERO
ROCA MUY BUENA 75 - 85	No requiere soporte. Excepto en sitios aislados	No requiere soporte. Excepto en sitios aislados	No requiere soporte, excepto en sitios aislados
ROCA BUENA 65 - 75	Pernos en la roca de 3m de longitud cada 2.5m ocasionalmente con malla	5cm en la clave o en pared si se requiere	No son necesarios
ROCA MEDIA 45 - 65	Pernos de 4m de longitud cada 1.5 a 2m en la clave y paredes con malla en la clave	5cm a 10 cm en la clave o donde se requiera	No se requiere
ROCA POBRE 20 - 45	Pernos de 5m de longitud cada 1.5m en la clave y paredes con malla	De 10cm a 15cm en la clave y 10 cm en las paredes.	Marcos livianos y espaciados 1.5m donde se requiera
ROCA MUY POBRE 15 - 20	Pernos de 6m cada 1.5m en la clave y paredes con malla	De 15 a 20 cm en la clave, 15cm en las paredes y 5cm en el frente	Grupo de marcos medios pesados

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

De acuerdo al tipo de roca determinado por esta clasificación, es posible establecer el claro activo o longitud de la excavación que se puede dejar sin soporte durante un determinado tiempo.

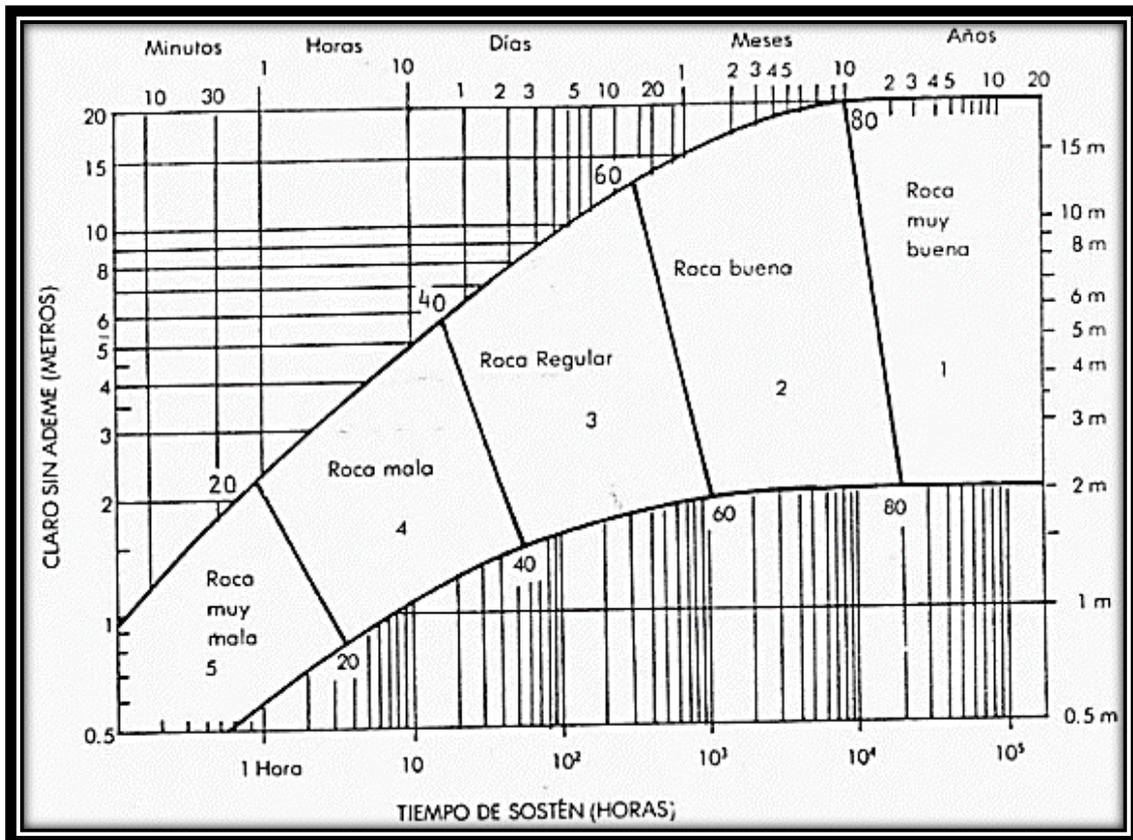


Figura 7. Relación entre el tiempo de sostenimiento y la clasificación CSIR

Fuente: Galeón Túneles en Roca

4.5.5. Índice G.S.I (Geological Strength Index)

Según (LEÓN 2015), el Índice de resistencia geológica GSI se concierne dos parámetros:

- La condición superficial del macizo rocoso de la Unidad Cuerpo Mery y la condición de la estructura de la masa rocosa.
- La condición superficial involucra al macizo rocoso como a la resistencia de la roca intacta y las discontinuidades.

La estructura del macizo rocoso se considera el grado de fracturas y cantidad por metro lineal donde en la Unidad Cuerpo Mery se considera así:

Levemente fracturada (LF).- Este tipo de estructura se da cuando posee de tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciada entre sí de 2 a 5 fracturas por metro y un (RQD 75 – 90%)

Moderadamente fracturada (MF).- Este tipo de estructura se da cuando es muy bien trabada, no disturbada bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales (50 – 75%) se da de 6 a 11 fracturas por metro.

Muy Fracturada (MF).- Se da cuando el macizo rocoso es moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades (RQD 25 -50%) 12 a 20 fracturas por metro.

Intensamente fracturada (IF).- Según el plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos e irregulares. (RQD 0-25%) se da en más de 21 fracturas por metro.

4.5.6. Datos Unidad Cuerpo Mery Nv. 6 – XC 750W

Análisis del campo por método GSI:

Hastial derecho:

- Número de fracturas por metro 11
- Se rompe con uno o dos golpes de picota
- Caracterización MF/M
- RQD 55%

Hastial izquierdo:

- Número de fracturas por metro 18
- Se indenta superficialmente
- Caracterización MF/R
- RQD 40%

Techo

- Número de fracturas por metro 24
- Se rompe con un golpe de picota
- Caracterización IF/R
- RQD 20%

Según estas características se realizará la aplicación del sostenimiento por shotcrete vía seca en el **XC 750W** del **Nv. 6** de 2 pulg.

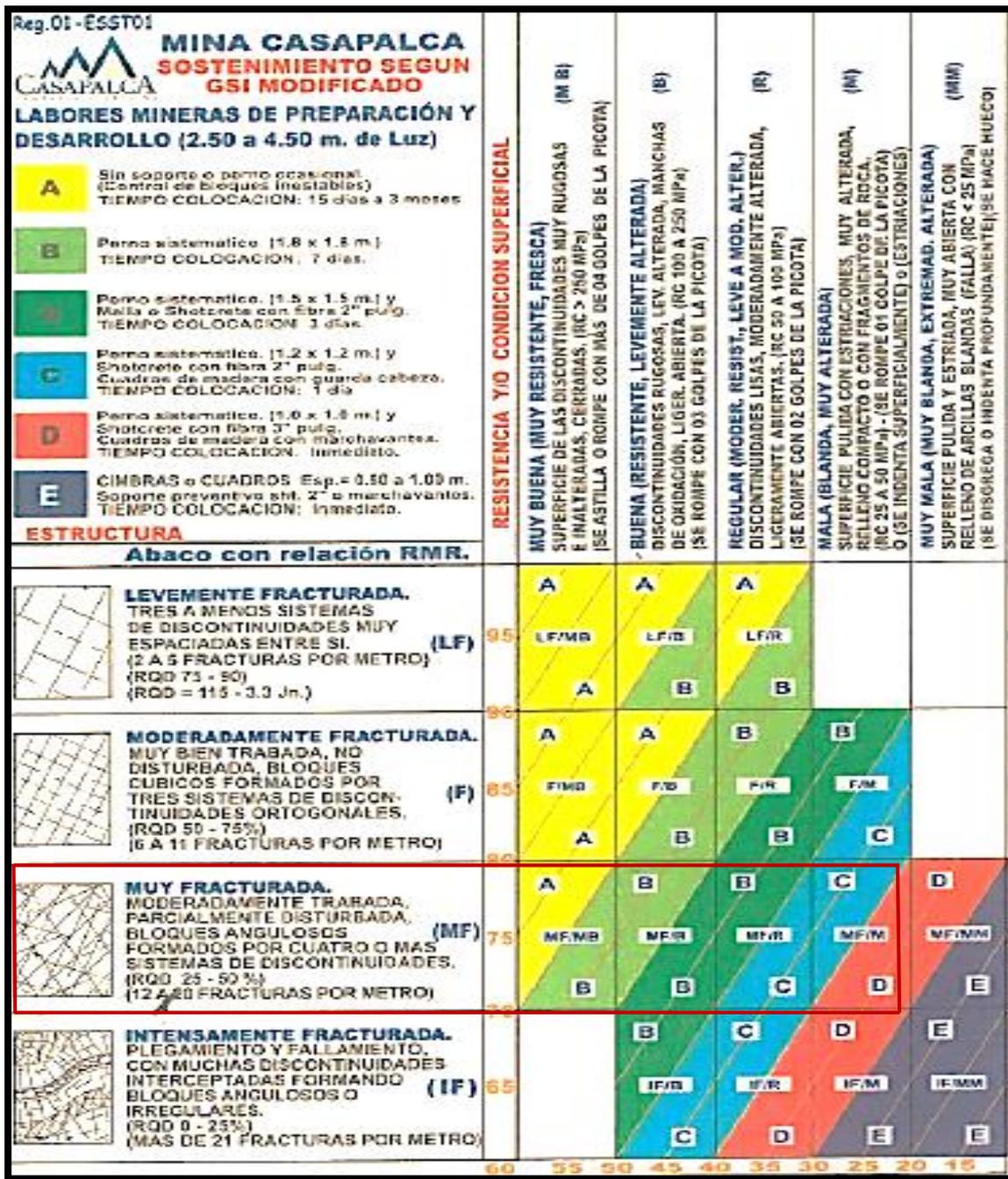


Figura 8. Indice GSI

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

4.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VÍA SECA

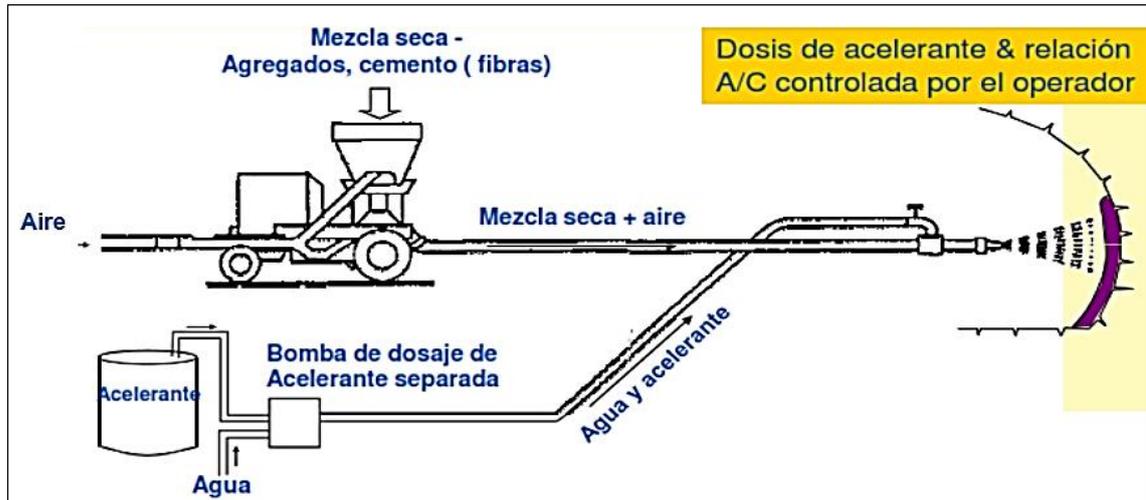
4.6.1. Proceso de Aplicación sistema de shotcrete vía seca

En la proyección de shotcrete por vía seca únicamente se mezclan los materiales secos, y la mezcla se transporta por mangueras mediante aire comprimido; el agua necesaria para la hidratación es aplicada en la boquilla. En el método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla (como un líquido) o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo.

El método por vía seca genera una gran cantidad de polvo en el ambiente que conlleva riesgos para la salud de los operadores a largo plazo. Además, como la proyección manual para el operador es muy exigente físicamente, no se puede concentrar al 100% en la calidad del acabado.

La tecnología de este tipo ha tenido un desarrollo siendo netamente artesanal, es variable en la calidad de depender de la voluntad del operador la aplicación del agua y la relación agua/cemento; el rebote irregular muestra una estructura de gradación discontinua y finalmente la compatibilidad entre los diversos tipos de cemento y los acelerantes ultrarrápidos ha sido un problema de difícil solución.

Figura 9. Aplicación del shotcrete vía seca



Fuente: Manual de Shotcrete

Tabla 16. Cuadro comparativo de ventaja y desventaja del shotcrete vía seca

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los equipos son más pequeños y adaptables a las limitaciones de espacio físico de las labores.	El tiempo de lanzado es más lento requiere cuatro trabajadores como mínimo.
En la boquilla se tiene control del agua y de la consistencia de la mezcla	Mayor polución, requiere de EPP adecuados.
Velocidad de proyección alta 80 -100m/s	No adecuado para labores de secciones 4.0 x 4.0m
Transportable a mayor distancia	
El shotcrete trabaja rápidamente en zonas con flujo de agua y alcanza buena resistencia.	

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

4.6.2. Propiedades del Shotcrete Vía Seca

Estas propiedades que se menciona sobre el shotcrete vía seca se basa según (León 2017).

- **Adherencia**

La adherencia está en función a condiciones en que la roca sea sólida, limpia y exenta de partes sueltas. La mezcla choca a la superficie del terreno a una velocidad elevada, y sella las irregularidades, las fisuras y los poros con la ayuda de las partículas más finas.

- **Porosidad**

El shotcrete proyectado generalmente contiene más cantidad de áridos finos y más cantidad de cemento que el shotcrete tradicional; por lo que la porosidad es menor; además la relación agua/ cemento es menor y la compacidad alta, se crean poros bajo forma de inclusiones de aire que no se comunican entre sí. La porosidad es creada por el aire encerrado durante el proceso de las operaciones.

- **Resistencia a la compresión**

En la mayor de las veces es ligeramente inferior a la de un shotcrete normal de granulometría 30mm, debido a la finura del shotcrete proyectado en el Nv. 6 – XC 750W. Sin embargo, una característica fundamental del shotcrete proyectado es la evolución de resistencias con el tiempo a causa de su contenido elevado de cemento, 49 Mpa a los 12 meses y 60 Mpa a los 4 años. Algunas veces se ha reportado hasta 70Mpa, se consigue estos altos valores debido a las resistencias en base a mezcla de concreto.

- **Resistencia a la tracción**

La resistencia a la tracción realizada en el Nv. 6 – XC 750W tiene una variación entre 42Mpa a los 28 días y 58 Mpa a los 3 años. Esta resistencia mejora con la utilización con fibra metálica.

Para determinar la resistencia a la tracción se empleó el **Método brasileño**, que constituye en ensayar muestras cilíndricas que se logra comprimir, para optar del resultado.

$$R_T = \frac{2.P_R}{\pi.l.d}$$

Donde:

R_T : resistencia a la tracción de la roca en (kgf/cm²).

P_R : fuerza de la ruptura de la muestra de la roca en (kgf).

d : diámetro de la muestra de la roca (cm)

l : longitud de la muestra de la roca (cm)

Resistencia de la roca intacta

Si es la roca poco competente es ≤ 1

Si la competencia de la roca es intermedia ≤ 1.5

Si la competencia de la roca es alta > 1.5

Los números de estructuras se dividen en:

Si la roca está compuesta por estructuras muy fracturadas es >21 ff/m

Si la roca es Fracturada $> 12 - 20$ ff/m

Si la roca es Poco fracturada $>6 - 11$ f/m

La condición de las estructuras influye en la Unidad Cuerpo Mery; como si es poco competente: estructuras sin relleno o con relleno con una resistencia menor a la roca intacta.

Se desarrolló 6 ensayos, los resultados brindándose la resistencia a la tracción de 10 (Mpa), en la destrucción se pudo constatar el estado intacto de la roca.

Tabla 27. Muestra de ensayos de resistencia a la tracción

Código	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción (Mpa)
T1	5.02	10.05	515.04	10.11
T2	5.01	10.07	510.03	10.12
T3	5.02	10.06	515.83	10.12
T4	5.02	10.03	515.65	10.16
T5	5.04	10.05	515.56	10.00
T6	5.03	10.04	513.54	10.14
PROMEDIO			514.275	10.11

Fuente: elaboración propia

RESUMEN DE RESULTADOS

1. PARÁMETROS GENERALES:

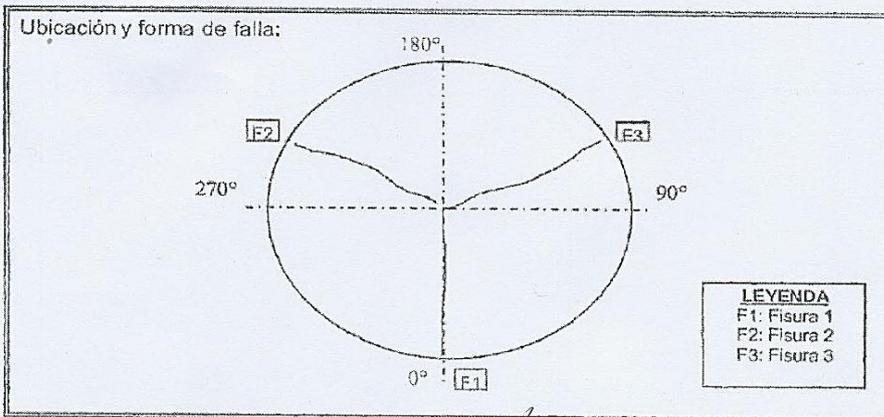
Número de Muestra: M1	Fecha de elaboración de especímenes: 10/03/2017
Procedencia: Cia Minera Casapalca	Características: Ensayo/Probeta
Fibra empleada/Fabricante: Fibra Metalica	Fecha término de curado: 08/04/2017
	Fecha / edad de ensayo (días): 28 días

2. DATOS DEL ENSAYO:

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra
- 2.02 Longitud de la muestra
- 2.03 Carga de falla
- 2.04 Esfuerzo 1 de traccion 1 dia
- 2.05 Esfuerzo 2 de traccion 3 dias
- 2.06 Esfuerzo 3 de traccion 7 dias
- 2.07 Esfuerzo 4 de traccion 28 dias

5 cm
10 cm
514.275 kg/cm2
10Mpa
28.8 Mpa
36 Mpa
42 Mpa

3. GRÁFICA DEL ENSAYO:



(Firma)
ALEKSEY
 SERESOVSKY DE LAS CASAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 115210

Figura 10. Resistencia a la Tracción Cía. Minera Casapalca

Fuente: CIA Minera Casapalca

- **Permeabilidad**

En el caso del shotcrete proyectado alcanza valores entre $10 - 25 \times 10^{-10}$ m/s que es inferior al del shotcrete normal que es de 50×10^{-10} m/s.

La relación agua/cemento para el shotcrete lanzado está comprendida entre 0.35 a 0.5 por peso, que es más baja que la mayoría de los valores de la mezcla empleada, pero se encuentran entre 0.06–0.10 %

4.7. REQUERIMIENTOS DE LA CAPA DE SHOTCRETE

Los requerimientos de la capa de shotcrete se basa según (León 2017) la cual lo divide en y adecuando a las operaciones mina de la Unidad Cuerpo Mery.

4.7.1. Requerimientos mecánicos

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera lo siguiente:

- Debe poseer resistencia a temprana edad suficiente para contrarrestar las tensiones o relajaciones particularmente en el último tramo excavado.
- Obtener resistencias suficientes para equilibrar los esfuerzos de corte o cizalla y flexo-tracción, para de esa manera soportar eficazmente a las sollicitaciones del “empuje de roca”.

4.7.2. Requerimientos físicos

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera lo siguiente:

- Protección contra la meteorización, la erosión o deterioro de la superficie rocosa del macizo rocoso atravesado.
- Impedir el ingreso del aire y humedad en las aberturas de la roca.
- Impedir que la variación de temperatura circundante a la excavación adquiera alto rango.

4.7.3. Requerimientos hidráulicos

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera lo siguiente:

- Sellado de las aguas de infiltración a la labor.
- Disminuir la rugosidad en las paredes de la labor, para mantener y controlar un régimen de pérdida de carga, cuando la excavación tiene por finalidad conducir agua.

4.7.4. Requerimientos químicos

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera lo siguiente:

- Protección de la roca a la acción de aguas agresivas, humos, gases.
- Impedir que la roca circundante a la excavación, sufra desestabilización por efectos de las aguas ácidas.

4.8. PROCESOS DEL SHOTCRETE

El proceso del shotcrete por vía seca se encuentra conformado por el fraguado, y el endurecimiento.

4.8.1. El Fraguado

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera como el proceso de endurecimiento del hormigón en sus primeras etapas se describe excelentemente mediante la teoría de la percolación. Este momento corresponde al paso del estado plástico al estado sólido. En el hormigón, el fraguado se define como la aparición de rigidez en la masa fresca y precede a la ganancia de resistencia del hormigón, que continúa durante largo tiempo si se presentan las condiciones favorables el endurecimiento.

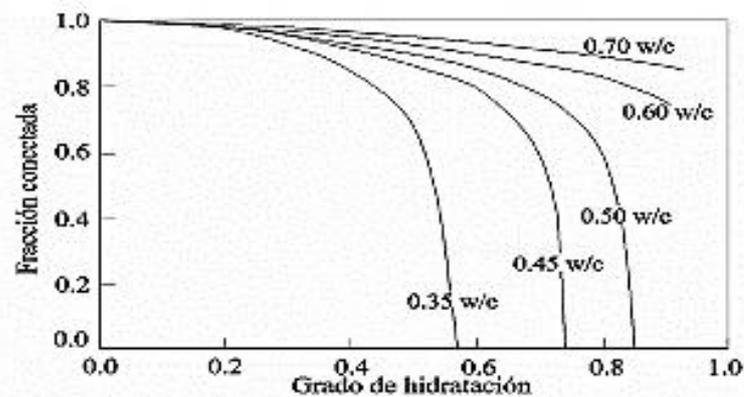


Figura 11. Rango del grado de hidratación de fraguado

Fuente: Scielo Hidratación

Factores que afectan el tiempo de fraguado del hormigón

Los factores más importantes según (LEÓN 2015) es:

- **Temperatura/ clima.** El aumento de la temperatura reduce el tiempo de fraguado. La disminución de la temperatura aumenta

el tiempo de fraguado. La hidratación parará cuando la temperatura esté cerca de 0°C. La exposición a la luz del sol y las condiciones ventosas también influyen el fraguado, especialmente en la superficie, en gran parte debido a los efectos de calor y refrigeración por evaporación.

- **Relación agua** - materiales cementicios (a/mc). Una relación a/c más baja reduce el tiempo de fraguado. Contenido de cemento/adiciones. El aumento del contenido de cemento reduce el tiempo de fraguado.
- **Tipo de cemento**. La química del cemento afectará fuertemente el tiempo de fraguado.
- **Aditivos químicos**. Los aditivos aceleradores y retardadores se utilizan deliberadamente para controlar el tiempo de fraguado. La sobredosis de algunos reductores de agua puede dar lugar al retraso del fraguado.
- **Tiempo de adición de los aditivos**. La adición retrasada de algunos reductores de agua puede evitar la rigidización temprana o el retraso.
- **Mezclado**. La mejora del mezclado influye la hidratación mejorando la homogeneidad y la dispersión de los reactivos y, así, también acelera el fraguado

4.9. EL ENDURECIMIENTO

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera que el cemento portland, es el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días).

4.9.1. Calor de hidratación

Se basa según (Carlos Flores Beraun 2015) se considera que el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua depende, primariamente, de la composición química del cemento, siendo el C_3A y el C_3S los compuestos más importantes para la evolución de calor. Relación agua-cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen. A pesar del cemento portland poder liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en las edades tempranas. Se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24 horas.

Por otro lado, el aumento de la temperatura en el concreto causado por el calor de hidratación es frecuentemente beneficioso en clima frío, pues ayuda a mantener las temperaturas favorables para el curado.

Tabla 18. Tipos de cementos según el calor de hidratación según (LEÓN 2015)

TIPOS DE CEMENTOS	Cemento tipo I		Cemento tipo II		Cemento tipo II - Moderado calor de hidratación	Cemento tipo III		Cemento tipo IV	Cemento tipo V	
	7 días	28 días	7 días	28 días		7 días	28 días		7 días	28 días
N° de días	7 días	26 días	7 días	28 días	7 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días
N° de muestras	15	7	16	7	4	2	2	3	1	6
Promedio	349	400	344	396	263	370	406	233	274	310
Máximo	372	444	371	424	283	372	414	251	-	341
Mínimo	320	377	306	372	227	366	397	206	-	257
% del tipo (7días)	100		99		75	106		67		89

Fuente: elaboración propia

4.9.2. Materiales para el shotcrete por vía seca

4.9.2.1. El cemento portland I

Según (LEÓN 2015) el cemento portland I, es un aglomerante que se obtiene de la transformación de una materia prima que está compuesto de una mezcla de caliza, arcilla y otros minerales o simplemente caliza.

4.9.2.2. El agua

Según (LEÓN 2015) el agua que se utilizará para el proceso del concreto debe ser limpia, bebible y fresca; ya que si posee impureza puede interferir en la fragua del proceso del concreto, afectando en la resistencia del macizo rocoso como en la corrosión.

El agua de lanzado llega a una válvula instalada en la boquilla a través de una línea de alta presión y debe

estar conectado directamente a la alimentación principal, esta presión debe ser apropiada para el equipo.

4.9.2.3. Áridos y agregados

Según (LEÓN 2015) se considera que los áridos constituyen alrededor del 75% en el volumen de una mezcla típica de shotcrete por vía seca, las cuales son empleadas para la elaboración del shotcrete por la cual es necesario la selección y clasificación de materiales naturales o procedentes de machaqueo o por una mezcla de ambos.

Tamaño del estándar % que pasa mallas ASTM

Tabla 19. Estándar de mallas según ASTM

Estándar de mallas según ASTM %	
N° de Mallas	%ASTM
1/2"	81 -100
3/8"	65 – 80
N°4	48 – 64
N°8	34 -54
N°16	20 -36
N°50	7 -18
N°100	3 -12
N°200	0 - 5

Fuente: elaboración propia

Pueden emplearse agregados que no cumplen con la granulometría citada siempre en cuando que en los ensayos previos se obtenga buenos resultados.

El contenido máximo de la humedad en la arena deberá estar comprendido entre el 3% y el 6%, para poder no bloquear la manguera y formar capas de mortero dentro de la aliva, pero si la arena al mezclarse, lo cual producirá una separación excesiva en la manguera y polvo excesivo en la zona de aplicación de las labores mineras en la Unidad Cuerpo Mery.

4.9.2.4. Aditivos

Según (LEÓN 2015) los aditivos a utilizar en el proceso se dividen en:

- **Acelerantes**

Son aquellos que se aceleran endureciendo o desarrollo de la resistencia inicial del shotcrete; la cual se clasifica en silicatos (líquido, dosificación del 5% - 8% del peso de cemento) y aluminatos (polvo y líquido, dosificación del 1- 6% del peso del cemento)

- **Plastificados**

Fluidificantes reductores de agua se utiliza para poder disminuir la relación agua / cemento y facilitar la bombeabilidad durante el lanzado de shotcrete.

- **Superfluidificantes**

Para la producción de shotcrete y mortero fluido o como reductor de agua; estos son recientemente y efectivos de ingredientes reductores de agua de alto rango. También existen los de retardador de fraguado de alto alcance. Los niveles de dosis generalmente son más altos que los reductores o retardadores convencionales.

- **Impermeabilizante**

Para shotcrete y morteros impermeabilizantes.

- **Estabilizadores**

Para estabilizar hormigones y morteros hasta 40 horas.

4.9.2.5. Adiciones

Según (LEÓN 2015) se menciona que la microsilica al ser adicionado al cemento reaccionan con la cal libre del cemento que representa un 25% de la pasta y forma el silicato cálcico que es un compuesto estable con resistencias propias y que formará una pasta mucho más resistente a los esfuerzos físicos, además va ser más resistente a los ataques químicos y atmosféricas y en general puede ofrecer un grado de durabilidad mayor en los hormigones proyectados.

4.9.2.6. Fibras

Según (LEÓN 2015) se considera que es la adición de fibras a los morteros y hormigones con la función en mejorar sus características notablemente.

La presencia de fibras metálicas en los morteros y hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas haciendo que disminuye su fragilidad y aumenta su ductilidad después de la fisuración; aumenta la resistencia a la aparición y propagación de grietas; aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura; mejora el comportamiento a la flexo- tracción y aumenta la durabilidad.

Las formas más frecuentes de las fibras son:

- Sección circular, rectas
- Sección rectangular y ganchos en sus extremos
- Sección rectangular y extremos ovalados y girados

La utilización más común es de fibras de 30 o 40 mm de longitud y 0.50mm de diámetro.

El uso de las fibras se justifica porque aumenta la resistencia a la tracción, impiden el desarrollo de las grietas y fisuras producidas por contracción plástica, remplazan a las mallas electro soldadas, disminuye el rebote, mejoran la dureza y resistencia al impacto.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO

El procedimiento de mezclado se basa según

Siendo el objetivo de realizar el diseño y la aplicación del shotcrete por vía seca.

Objetivo

Evaluación del diseño y la aplicación del shotcrete vía seca para realizar el sostenimiento en el **Nv. 6 – XC 750W**, logrando beneficios para la extracción y producción de mineral, como también el ahorro del tiempo y logrando seguridad a los trabajadores de la Unidad Cuerpo Mery.

5.1.1. Equipos de Protección Personal

- Casco y barbiquejo
- Anteojos de seguridad luna clara
- Respirador con filtros para polvo y cartuchos para gas
- Protector auditivo y tapones
- Guantes de badana

- Mameluco con cinta reflectiva
- Botas de jebe con punta de acero
- Corre porta lámpara
- Lámpara a batería

5.1.2. Equipos/herramientas/ materiales

Equipos:

- Aliva 262

Herramientas:

- Manguera de Jebe 1”
- Manguera de Jebe ½”

Materiales:

- Cemento tipo I
- Agregados
- Acelerante
- Calibradores
- Fibra de acero

5.1.3. Mano de obra

- 1 Maestro Shotcretero
- 4 Ayudante Shotcretero
- 1 Bodeguero
- 1 Capataz
- 1 Ing. De Guardia

El cálculo de diseño de mezcla típica que debe obtenerse para lanzado de shotcrete por vía seca tiene las siguientes características.

Diseño de mezcla para shotcrete vía seca.

Por metro cúbico de concreto:

- 10 bolsas de cemento
- 200 palas de arena
- 4kgs de fibra de acero
- 210 lts de agua según el trabajador
- 2gls de aditivo
- 0.5 relación de agua/cemento
- 2.50% respecto al peso de cemento

Tabla 20. Peso específico de los materiales

DISEÑO DE MEZCLA PARA SHOTCRETE VÍA SECA			
Descripción	Unidad	Cantidad	Observaciones
Cemento	Kg	425	Tipo I
Arena	Kg	1760kg	Granulometría II
Fibra Metálica	Kg	4	Suelta
Aditivo Acelerante	Gl	2	Agilizar fragua
Agua	Lt	210	Regulable por operador

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Cuadro de proporciones de mezcla vía seca

Item	Peso (kgs)
Cemento Tipo I (bls/m ³)	10
Agua(lt/m ³)	210
Aditivo Acelerante (Gl/m ³)	2
Arena m ³	1
Fibra metálica (kg/m ³)	4

Fuente: elaboración propia

Tabla 22. Cálculo de materiales en terreno - interior mina

CÁLCULO DE MATERIALES EN TERRENO – MINA	
PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA 1 TANDA	
Cemento Tipo I (bls)	1
Arena	22palas
Fibra Metálica	4kgs
Agua	210 Lts
Aditivo Acelerante	2gls
Nota: 1 tanda de arena es para 1 bolsa de cemento equivalente una tanda a 157.86Kg.	

Fuente: elaboración propia

5.2. PROCEDIMIENTO DE LANZADO DE SHOTCRETE VÍA SECA (PETS)

Según (Carlos Flores Beraun 2015) para el sostenimiento con shotcrete vía seca en el Nv. 6 – XC 750W se requiere el siguiente PETS.

- Verificar el correcto orden y limpieza del área
- Tener clara la orden impartida por el supervisor y revisar el check list de los equipos.
- Inspeccionar el área de trabajo, realizar el IPERC y llenar el check list.
- Delimitar la zona de trabajo.
- Ventilar en todo momento la labor.
- Minimizar todos los riesgos presentes en la zona de trabajo
- Verificar el buen estado de los equipos a usar y accesorios, empalmes que se encuentren en buen estado.
- Toda conexión de aire que se tome de la red principal debe estar asegurada con su respectiva cadena.

- Conectar la manguera de lanzado para impulsar la mezcla, previo soplado para eliminar posibles obstrucciones en la manguera asegurando la salida del aire.
- Disparar la mezcla en forma perpendicular y de forma circular en dirección a la pared a sostener.
- El lanzado debe hacerse a una distancia entre 1.0m y 1.50m para evitar el rebote del shotcrete.
- El lanzado se realizará de la parte inferior hacia la parte superior de la sección.
- Luego de terminar el lanzado de shotcrete, sopletear, lavar la boquilla y los accesorios usados.
- Retirar todo el equipo a un lugar seguro, dejando la labor limpia y ordenada.
- Cumplir con la clasificación de los residuos sólidos.

5.3. DISEÑO DE MEZCLA

En el proceso del diseño de la mezcla se aplicará criterios y el método simplificado y conservador en la cual interviene el diseño de la mezcla.

Resistencia a la rotura $F'c$ (kg. /cm²)

- 175
- 210
- 245
- 280

Relación entre agua y cemento a/c

- 0.67
- 0.58
- 0.51
- 0.44

Para el proceso del diseño de la mezcla se requiere de estos datos $F'c$ y revestimiento.

El revenimiento se da a medida de la trabajabilidad del concreto la cual se basa en el cono revenido.

- Para vaciado normal de 3" a 5"
- Para vaciado con vibrador de 2" a 3".

5.4. TRABAJO EN GABINETE

- a) Con el resultado del $F'c$ que se ingresó se obtiene la relación de agua / cemento.
- b) Con el revenido de trabajabilidad se obtiene la relación de cemento por m^3 de agua.

Tamaño máximo del agregado:

- $\frac{1}{2}$ " (190 – 215 – 240)
- $\frac{3}{4}$ " (175 – 200 – 215)
- $1 \frac{1}{2}$ " (160 – 180 – 195)

Revenimiento (SLUMP)

- $\frac{1}{2}$ " - 2" (190 – 175 - 160)
- 2" -3" (215 -200 -180)
- 3" -5" (240 – 215 -195)

- c) La relación de agua y cemento se obtiene restando el peso de concreto por m^3 y el peso específico que es de $1.855kg/m^3$.

5.5. APLICACIÓN DE SHOTCRETE EN CASAPALCA

Datos:

$$F'c = \frac{280kg}{cm^2} : \frac{a}{c} = 0.44$$

Según revenimiento es a 2" de agua libre de 190kg/m^3

Contenido de cemento: $C = (190\text{kg/m}^3) / (0,44) = 432\text{kg/m}^3$

$$C = \frac{432 \text{ kgxm}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}} = 10. \text{bolsas}$$

Aditivo = 2.50% 6.50% del peso por cemento

$$A_d = (0,04) \times (432\text{kg}) = 17.28\text{kg}$$

Agregado máximo de 1/2" Pe (concreto) = $2400\text{kg/m}^3 - (C + \text{agua} + A_d)$

Agregado = $2400 - (432 + 190 + 17,28) = 1761\text{kg/m}^3$

Relación del peso es: $1761\text{kg/m}^3 / 432\text{kg/m}^3 = 4.08 = 1:4$

Relación de volumen:

$$C = 432\text{kg/m}^3 / 42,50\text{kg/bolsa} = 10,16 \text{ bolsas/m}^3$$

5.6. ENSAYOS Y RESULTADOS

5.6.1. Pruebas con acelerantes

a) Ensayos realizados

Tabla 23. Ensayos realizados con acelerantes

ENSAYOS REALIZADOS PARA PRUEBA DE ACCELERANTES			
Muestras	Acelerante	Densidad kg/lt	Ph
M1	Siguanita L-65	1.36	10.5
M2	Siguanita L-26 R	1.48	12
M3	Siguanita L -65	1.37	10.5
M4	Siguanita L -26R	1.48	12
M5	Siguanita L -65	1.36	10.5
M6	Siguanita L -26R	1.48	12
M7	Siguanita L -26R	1.48	12
M8	Siguanita L- 65	1.36	10.5

Fuente: elaboración propia

b) Resultados

- Se obtiene que el Siguanita L -26R es más mejor que el Siguanita L -65 debido al ph 12 q posee.
- El Siguanita L – 65 es especialmente indicado para trabajos de shotcrete vía seca y trabaja a una temperatura de 1°C

5.6.2. Pruebas de fragua

a) Características de los aditivos empleados

- El concreto se vuelve más denso que un concreto normal
- Relación A/C es menor
- Buena resistencia al ataque químico, a la abrasión y al desgaste
- Gran adherencia al sustrato
- Fácil colocación y rendimiento de aplicación
- No requiere de formaletas o encofrados
- Acelerante el lanzamiento de shotcrete vía seca.

b) Ensayos y resultados

- En este tipo de prueba se aprecia los resultados obtenidos en el fraguado del diseño de la mezcla para el lanzamiento de shotcrete.

Tabla 24. Pruebas de fraguado de las probetas

PRUEBAS DE LABORATORIO DEL FRAGUADO DE LAS PROBETAS CILINDRICAS						
TIPO DE DISEÑO	D PATRON Relación: 0.44	DI 3330 Relación 0.43	DII 3330 Relación 0.43	DIII SC Relación 0.43	DIVSC Relación 0.43	DV SC Relación 0.43
DOSIFICACION EN EL AREA DE TRABAJO						
CANTIDAD DEL CEMENTO TIPO 1	425kg	425kg	425kg	425kg	425kg	425kg
AGREGADO SECO - GRAD 2	1761kg	1761kg	1761kg	1761kg	1761kg	1761kg
FIBRA METÁLICA	4kg	4kg	4kg	4kg	4kg	4kg
AGUA	210lt	210lt	210lt	210lt	210lt	210lt

Fuente: elaboración propia

Tabla 25. Pruebas de endurecimiento de las probetas

PARAMETRO DE ENDURECIMIENTO DEL FRAGUADO						
RESISTENCIA A 24 HR kg/cm ²	98kg/cm ²	104kg/cm ²	70kg/cm ²	79kg/cm ²	126kg/cm ²	100kg/cm ²
RESISTENCIA A 3 DIAS kg/cm ²	288kg/cm ²	241kg/cm ²	254kg/cm ²	174kg/cm ²	256kg/cm ²	250kg/cm ²
RESISTENCIA A 7 DIAS kg/cm ²	360kg/cm ²	337kg/cm ²	372kg/cm ²	279kg/cm ²	346kg/cm ²	340kg/cm ²
RESISTENCIA A 28DIAS kg/cm ²	420kg/cm ²	412kg/cm ²	401kg/cm ²	423kg/cm ²	422kg/cm ²	389kg/cm ²

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Promedio de pruebas de fragua

Promedio de los resultados en las pruebas de fragua						
Resultado de soporte a la compresión axial						
EDAD Días	D PATRON Relación: 0.44	DI 3330 Relación 0.43	DII 3330 Relación 0.43	DIII SC Relación 0.43	DIVSC Relación 0.43	DV SC Relación 0.43
1	10.1Mpa	10.1Mpa	10.4Mpa	7Mpa	12.8Mpa	10Mpa
3	28.8Mpa	28.8Mpa	24.1Mpa	25.4Mpa	25.6Mpa	25Mpa
7	36Mpa	36Mpa	33.7Mpa	37.2Mpa	34.6Mpa	34Mpa
28	42Mpa	42Mpa	41.2Mpa	40.1Mpa	42.2Mpa	38.8Mpa

Fuente: elaboración propia

5.7. TIEMPO DE LANZADO DE SHOTCRETE

El tiempo de lanzamiento de shotcrete es muy importante la cual en si el lanzamiento de shotcrete es de 3hr – 4hr para 1m³ de shotcrete esto se da dependiendo de los trabajadores y el área de trabajo.

Tabla 27. Prueba de tiempo de lanzamiento de shotcrete en el Nv6 – XC750W

TIEMPO DE LANZADO DE SHOTCRETE EN EL Nv. 6 - XC 750W		
Descripción	Tiempo	UNID
Traslado de materiales al Nv 6 - XC 750W	15	min
Traslado de agregado al Nv6 - XC 750W	20	min
Descarga de material en el XC 750W	10	min
Limpieza de la labor	6	min
Desatado de rocas sueltas	10	min
Regado de agua en los hastiales y el techo del XC 750 W	10	min
Proceso de Mezclado del shotcrete vía seca	40	min
Instalación del Aliva para el lanzamiento de Shotcrete	6	min
Lanzado de shotcrete vía seca en el Nv6 - XC 750W	145	min
Total del tiempo de lanzamiento	262	min
Total de Horas efectivas	185	min
Total Hr	4	Hr
Total de demoras operativas	77	min

Fuente: elaboración propia

5.8. COSTOS DE LANZADO DE SHOTCRETE

Tabla 28. Costo de los materiales a usar en la mezcla

MATERIALES	Cantidad	Unidad	P.U (S/.)	Total S/.
Cemento Tipo I	10	bls	22.50	225
Arena	1	m3	107.20	107.20
Aditivo	2	gla	80	160
Fibra Metálica	4	kgrs	7.87	31.48
TOTAL				523.68

Fuente: elaboración propia

Tabla 29. Calculo de los costos materiales

LANZADO DE SHOTCRETE 2"				
DATOS: INCLUYE MATERIALES				1gda
Mano de Obra				Cambio a \$
Descripción			Costo Unit del recurso	Costo Real S/.
Maestro Shotcretero			S/. 68.20	S/. 68.20
Ayudante Shotcretero			S/. 64.70	S/. 258.80
Bodeguero			S/. 64.70	S/. 64.70
Servicios			S/. 64.70	S/. 64.70
Total				S/. 456.40
Maquinas				
Descripción	Vida útil	Consumo por Guardia	Costo Unit	Costo Real S/.
Aliva 602	4,320.00	5.0M3	S/. 20.25	S/. 101.25
Materiales:				
Acelerante de Fragua		10gl	S/. 80.00	S/. 800.00
Cemento tipo I		50bls	S/. 22.50	S/. 1,125.00
Arena gruesa de 1/2 para shotcrete		5m3	S/. 107.20	S/. 536.00
Fibra metálica		20kg	S/. 7.87	S/. 157.40
Herramientas:				
Manguera de jebe y lona de 1/2", 50m		50mt	S/. 3.00	S/. 3.00
Manguera de jebe y lona de 1", 50m		50mt	S/. 5.00	S/. 5.00
Abrazadera de fierro galvanizado de 1/2" con dos pernos		4	S/. 0.30	S/. 1.20
Abrazadera de fierro galvanizado de 1" con dos pernos		4	S/. 0.30	S/. 1.20
Letrero Acrílico		1	S/. 15.00	S/. 15.00
Gasto General de Materiales			S/. 261.42	S/. 2,643.80
Costo Total / Gdia				S/. 3,201.45
Costo Total / Gdia				\$994.24
Costo por m3			S/. 1,023.93	
Costo por m3				\$317.99

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El resultado de la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery se basa en minimizar el craquelamiento de los hastiales, la caja techo del XC 750W, y brindando seguridad a los trabajadores de la Unidad Cuerpo Mery.

- Con la ayuda de las muestras de resistencia a la tracción se pudo determinar la resistencia del lanzado del shotcrete vía seca de 10Mpa.

- Se determinó el tiempo del lanzado de shotcrete vía seca mediante la suma de demoras operativas más las horas efectivas, determinando el tiempo de 4hr.

- Se determinó que para el proceso de mezcla de shotcrete para 1m³ se requiere 10 bls de cemento, 1760 kg de arena, 2 gl. de aditivo, 4 kg de fibra metálica y 210 lt de agua (experiencia del trabajador).

6.2. RECOMENDACIONES

- Dado el resultado de la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca en el Nv. 6 – XC 750W de la Unidad Cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017 se propone la implementación en las demás unidades como Esperanza y Oroya.
- Se recomienda considerar la presente investigación como base fundamental para los estudios posteriores de temas referidos y lograr el criterio fundamental para la selección de sostenimiento.
- Se recomienda a realizar cálculos de implementación a largo plazo, con la finalidad de justificar el tiempo de los estudios a desarrollarse dentro de la Unidad Cuerpo Mery.
- Se recomienda que en el lanzamiento de shotcrete por vía seca en algunas ocasiones puede ocasionar problemas de presión de aire, debido a que se ejecute en horas punta, por lo cual se debe ejecutar un horario donde no se tenga inconvenientes.

6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASF, 2007. ADITIVO PARA EL CONTROL DE HIDRATACIÓN.
- CARLOS FLORES BERAUN, 2014. *SHOTCRETE CASAPALCA 2014*.
- CARLOS FLORES BERAUN, 2015. *SHOTCRETE CASAPALCA*.
- GERSON, L.C., 2013. Optimización de la logística del shotcrete en operaciones subterráneas.
- HONORIO PINTO, íim, 2007. COMPLEJO MINERO DE CASAPALCA APROXIMACIONES.
- ITALO ROBERT, J.M., 2015. *“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PROFUNDIZACIÓN MEDIANTE EL PIQUE INCLINADO 043 NIVELES 18 AL 20 VETA ESPERANZA- MINA CASAPALCA*
- KIM, D.-G., LEE, G.-P. y BAE, G.-J., 2006.
- LAMONTAGNE, A. y PIGEON, M., 1995.
- LEON CONDOR ARMANDO, 2016. *SOSTENIMIENTO CASAPALCA*
- LEÓN CÓNDOR, L., 2017. Geología CIA Minera Casapalca.
- LEÓN, L., 2015. Diseño de via Seca Shotcrete UC.
- LEÓN, L., 2017. PROPIEDADES DEL SHOTCRETE Y PROCESO SHOTCRETE VÍA SECA.
- SAW, H., VILLAESCUSA, E., WINDSOR, C.R. y THOMPSON, A.G., 2013. Laboratory testing of steel fibre reinforced shotcrete. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*
- URREA CAMPOS, H.F., 2015. *CLASIFICACION GEOMECÁNICA DE LAS ROCAS METODO TERZAGHI , CSIR (Bieniawski) Y NGI*
- ZANABRIA, L.P., 2014. GEOMECANICA.
- K, YUN. S. CHOI, J.YEON 2015. Construction and building materials. Effects of admixtures on the rheological properties og high - performance wet - mix shotcrete mixtures. Vol. 78, pag 194-202.
- J. ARDIA., 2003. Anales de Ingeniería. Túneles y obras subterráneas, vol. 886, pp. 27.

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p style="text-align: center;">VI: Shotcrete vía seca</p>	<p>Es la proyección de shotcrete únicamente se pre mezclan los materiales secos, y la mezcla se transporta por mangueras mediante aire comprimido; el agua necesaria para la hidratación es aplicada en la boquilla. En este método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla (como un líquido) o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la tracción • Distancia de lanzado • Índice de rebote de lanzado • Tiempo de lanzado de shotcrete vía seca 	<ul style="list-style-type: none"> • Mpa • M • % • hr/m
<p style="text-align: center;">VD: Sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W</p>	<p>Es la implementación de un sistema de sostenimiento con la exigencia actual de seguridad y tecnología aplicada según la técnica adecuada de instalación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de accidentabilidad

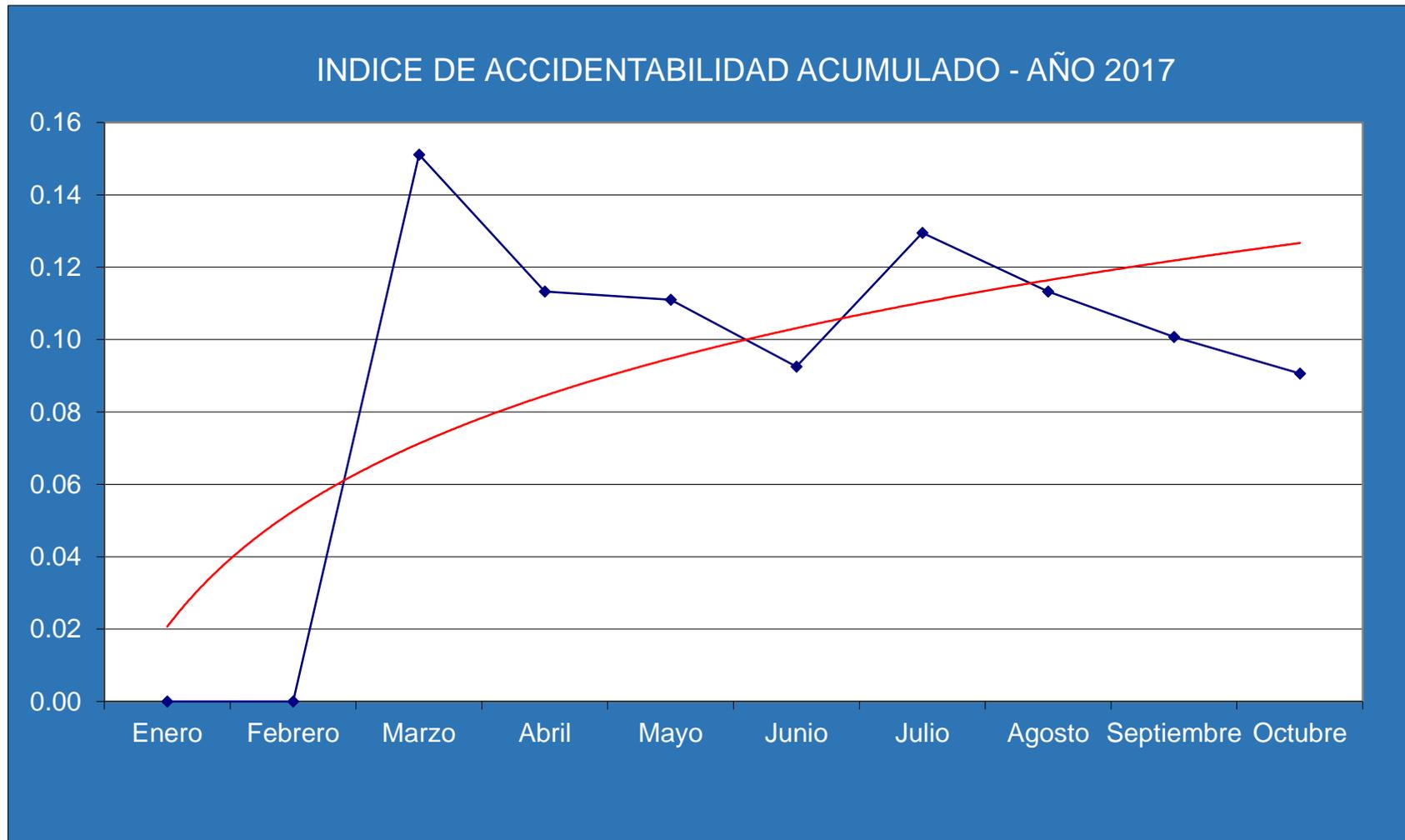
Cuadro de Incidentes por caída de rocas - 2017

INCIDENTES POR CAÍDA DE ROCAS - 2017							
MES	No Incidentes	Nº días Descanso méd	Nº Trabajadores	H-H Trabajadas	INDICE Frecuencia	INDICE Gravedad	INDICE Incidentabilidad
Enero	0	0	150	31200	0.0	0.0	0.00
Febrero	1	0	150	31200	32.1	0.0	0.00
Marzo	1	1	150	31200	32.1	32.1	0.32
Abril	0	0	150	31200	0.0	0.0	0.00
Mayo	1	0	150	31200	32.1	0.0	0.00
Junio	0	0	150	31200	0.0	0.0	0.00
Julio	1	1	150	31200	32.1	32.1	0.32
Agosto	0	0	150	31200	0.0	0.0	0.00
Setiembre	0	0	150	31200	0.0	0.0	0.00
Octubre	0	0	150	31200	0.0	0.0	0.00
PROMEDIO	0	0		31200	12.8	6.4	0.09
TOTAL	4	2		312000			

PETS DE PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

		TAREA: SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE.		Equipo de Protección Personal: Mameluco con cintas reflectivas, ropa de jebe, casco con careta protectora, guantes de jebe, botas con punta de acero, correa portalámparas, lámpara, respirador.
	PROCEDIMIENTOS	<i>RIESGOS POTENCIALES</i>	MEDIDAS CORRECTIVAS Sistema de 05 Puntos de Seguridad	
1	<ul style="list-style-type: none"> Inspeccionar el lugar de trabajo, aplicar la cartilla de los cinco puntos y <u>verificar las recomendaciones de Geomecánica.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>Asfixia por falta de oxígeno o por gases residuales.</u> Contacto con polvo microscópico. Golpeado por la caída de rocas sueltas. <u>Contacto con tiras falladas.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> Comprobar la ventilación. Lavar el techo, frente y costados. Parándose bajo un techo seguro verificar el techo, frente y costados. <u>Disminuir tiras falladas.</u> Seguir el procedimiento de redesado de rocas sueltas. 	
2	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de la aliva y botellón de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> Golpe con el equipo. <u>Atrampamiento por equipos.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación permanente. Use plataforma o scooptram para el transporte <u>adecuado</u> de equipos. 	
3	<ul style="list-style-type: none"> Instalación de aliva y botellón de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> Golpe con equipo y herramientas. <u>Electrocución.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación permanente. No use herramientas defectuosas, e inapropiadas. <u>Verificar las instalaciones eléctricas de las Alivas.</u> 	
4	<ul style="list-style-type: none"> Preparación de mezcla, llenado de agua y aditivo al botellón. 	<ul style="list-style-type: none"> Exposición a polvo. Quemadura con aditivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Usar careta facial y respirador para polvo. Usar bomba manual para el aditivo. 	
5	<ul style="list-style-type: none"> Cargar la mezcla seca a la aliva y realizar el lanzado. 	<ul style="list-style-type: none"> Exposición a polvo. Proyección de partículas a los ojos. Caída de rocas. Golpe por desempate de manguera de aire. Golpes con herramientas. Quemadura con aditivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Usar protector facial. El lanzador debe ubicarse en un lugar seguro, y realizarlo desde el piso. De tener mayores alturas de 3.00 metros, utilizar plataforma diseñada para este caso. Ver estándar. Use bushing y abrazaderas en las uniones del equipo y la manguera. Usar EPP completo, casco con careta facial protectora. 	
6	<ul style="list-style-type: none"> Limpiar la aliva, botellón de agua y accesorios. 	<ul style="list-style-type: none"> Golpes con equipos. Exposición a polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación permanente. Use respirador. 	
7	<ul style="list-style-type: none"> Recoger la aliva, botellón y accesorios. 	<ul style="list-style-type: none"> Golpe con el equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación permanente. Use plataforma o scooptram para el transporte de equipos. 	

Cuadro estadístico del índice de Accidentabilidad acumulado – Unidad Cuerpo Mery – 2017



Imágenes tomadas de Unidad Cuerpo Mery – CIA Minera Casapalca



Figura 12: Mezclado del Shotcrete en el Nv.6 - XC 750W en Aliva



Figura 13: Aliva 262 para shotcrete vía seca



Figura 14: Montaje de ensayos



Figura 15: Lanzado de shotcrete en el Nv.6 - XC 750W