

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL USO DE FIBRA SINTÉTICA COMO REFUERZO DEL  
SHOTCRETE EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES DE DESARROLLO,  
PREPARACIÓN Y EXPLOTACIÓN PARA REDUCIR COSTOS EN LA  
UNIDAD MINERA ANIMON-PASCO**

**PRESENTADO POR:**

BACH. EDY PUMA ARCE

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO DE MINAS**

**ASESOR:**

DR. MIGUEL VERA MIRANDA

**CUSCO - PERU**

**2024**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**INFORME DE ORIGINALIDAD**

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

El que suscribe asesor del trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DEL USO DE FIBRA SINTÉTICA COMO REFUERZO DEL SHOTCRETE EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES DE DESARROLLO, PREPARACIÓN Y EXPLOTACIÓN PARA REDUCIR COSTOS EN LA UNIDAD MINERA ANIMON-PASCO”**

Presentado por **EDY PUMA ARCE**, con DNI **74131103** y código universitario Nro. **140881** para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 (Dos) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **10 % (Diez por ciento)**.

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

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

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

Cusco, 22 de octubre de 2024.

FIRMA

POST FIRMA: Dr. Ing. Miguel Vera Miranda  
DNI Nro.: 23876027

ORCID ID: 0000-0002-9349-8463

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:  
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:395988444?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DEL USO DE FIBRA SINTÉTICA COMO REFUERZO DEL SHOTCRETE EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES DE**

AUTOR

**EDY PUMA ARCE**

RECUENTO DE PALABRAS

**32831 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**178490 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**197 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Oct 19, 2024 7:29 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Oct 19, 2024 7:31 PM GMT-5**

### ● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a las personas más importantes que me han acompañado en mi vida y a quienes les debo todo lo que soy. A Rufina, mi madre, quien me enseñó a nunca rendirme, quien me apoyó tanto en los buenos como en los malos momentos y quien guio mis pasos desde pequeño, Juan, mi padre, quien me brindó su apoyo incondicional en todo momento y supo corregirme con firmeza y cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por haberme bendecido con tantos logros y éxitos, a mi familia por haberme inculcado el deseo de superación y quienes me han acompañado en todo momento, a la Escuela de Minas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, a todos los docentes de la universidad, a todos los colegas y las personas que me aconsejaron para crecer tanto personal como profesionalmente.

## INTRODUCCIÓN

La investigación desarrollada en el presente se subdivide en cinco capítulos, donde se profundiza la evaluación del uso de fibra sintética como refuerzo del shotcrete en el sostenimiento de labores de desarrollo, preparación y explotación para reducir costos en la unidad minera Animon-pasco.

En el Capítulo I, se pone en evidencia la problemática que presenta la inadecuada selección de fibra como refuerzo del shotcrete.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, donde se presenta los antecedentes de la investigación, rescatando que en nuestro país se hace investigación geomecánica para proyectos de construcción de cruceros y labores subterráneas , y su adecuado sostenimiento con concreto lanzado.

En el capítulo III, presenta la metodología de la investigación, caracterizándose por ser correlacional, básica y cuantitativa.

En el capítulo IV, desarrolla el proceso de selección de la fibra como refuerzo de shotcrete.

En el capítulo V, se muestra la discusión de resultados y se pone en evidencia los logros obtenidos.

## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo optimizar el sostenimiento de estructuras subterráneas mediante el uso de fibras sintéticas en el shotcrete, evaluando tanto el rendimiento técnico como económico. La metodología a utilizar corresponde a ser una investigación del tipo básica, cuantitativa y correlacional, de diseño no experimental. La muestra para la investigación se delimita a labores de desarrollo, preparación y explotación de la unidad minera Animon La cuál consistió en probar diferentes dosificaciones de fibra sintética, determinándose que entre 5 y 6 kg/m<sup>3</sup> es la cantidad óptima para equilibrar costos y resistencia. Los resultados mostraron una mejora significativa en las propiedades mecánicas del shotcrete, especialmente en la absorción de energía, que alcanzó 1174.6 julios, superando al shotcrete tradicional y mejorando la durabilidad de las estructuras. Desde un enfoque económico, el uso de shotcrete reforzado con fibra sintética permitió reducir los costos de \$58.8-\$59.6/m<sup>3</sup> a \$25.0-\$33.8/m<sup>3</sup>, generando un ahorro mensual aproximado de \$98,900. A largo plazo, aunque el shotcrete con fibra sintética presenta un costo inicial más elevado, su mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento ofrecen ahorros acumulados que pueden variar entre \$10,000 y \$100,000 mensuales, con un total estimado de \$1,203,289, dependiendo de las condiciones operativas.

Palabras claves: Shotcrete, Fibra sintética, Sostenimiento, Reducción de costos

## **ABSTRACT**

The research aims to optimize the support of underground structures through the use of synthetic fibers in shotcrete, evaluating both technical and economic performance. The methodology to be used corresponds to being a basic, quantitative and correlational type of research, with a non-experimental design. The sample for the investigation is limited to preparation, development and exploitation tasks of the Animon mining unit, which consisted of testing different dosages of synthetic fiber, determining that between 5 and 6 kg/m<sup>3</sup> is the optimal amount to balance costs and resistance. The results showed a significant improvement in the mechanical properties of the shotcrete, especially in energy absorption, which reached 1174.6 joules, surpassing traditional shotcrete and improving the durability of the structures. From an economic approach, the use of shotcrete reinforced with synthetic fiber allowed costs to be reduced from \$58.8-\$59.6/m<sup>3</sup> to \$25.0-\$33.8/m<sup>3</sup>, generating approximate monthly savings of \$98,900. In the long term, although shotcrete with synthetic fiber has a higher initial cost, its greater durability and lower need for maintenance offer accumulated savings that can vary between \$10,000 and \$100,000 per month, with an estimated total of \$1,203,289, depending on operating conditions.

**Keywords:** Shotcrete, Synthetic fiber, Sustainability, Cost reduction

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
INTRODUCCIÓN .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1.    CAPÍTULO I .....	20
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.1.    Planteamiento del problema .....	20
1.2.    Formulación del problema.....	21
1.2.1.  Problema general de la investigación.....	21
1.2.2.  Problemas específicos de la investigación .....	21
1.3.    Justificación.....	22
1.4.    Objetivos de la investigación.....	22
1.4.1.  Objetivo general .....	22
1.4.2.  Objetivos específicos.....	23
1.5.    Delimitación de la investigación .....	23
1.5.1.  Delimitación.....	23
2.    CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.1.    Antecedentes de la investigación.....	24

2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	24
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES .....	25
2.2.	Bases teóricas .....	27
2.2.1.	Minería subterránea.....	27
2.2.2.	Geomecánica .....	28
2.2.3.	Relación entre la geomecánica y el sostenimiento.....	28
2.2.4.	Shotcrete.....	29
2.2.5.	Esfuerzos en el concreto lanzado .....	29
2.2.6.	Diseño del shocrete. ....	30
2.2.7.	Diseño empírico .....	30
2.2.8.	Aridos.....	30
2.2.9.	Cementos.....	31
2.2.10.	Agua. ....	31
2.2.11.	Aditivos.....	31
2.2.12.	Fibra. ....	32
2.2.13.	Fibras metálicas.....	32
2.2.14.	Comportamiento a tensión del concreto lanzado con fibras metálicas .....	33
2.2.15.	Comportamiento a compresión del concreto lanzado con fibras metálicas	34
2.2.16.	Comportamiento a flexión del concreto lanzado con fibras metálicas.....	35
2.2.17.	Fibras sintéticas .....	36

2.3.	Factor de seguridad.....	38
2.4.	Normativas aplicables para el shotcrete de sostenimiento para minado .....	38
2.5.	PROPIEDADES DEL SHOTCRETE LANZADO(AGREGADO).....	40
2.5.1.	Curva granulométrica.....	40
2.5.2.	Módulo de fineza.....	40
2.5.3.	Ensayo malla #200 .....	40
2.5.4.	Gravedad específica y absorción.....	40
2.5.5.	Contenido de humedad en el agregado .....	41
2.6.	Hipótesis .....	42
2.6.1.	Hipótesis general .....	42
2.6.2.	Hipótesis específicas .....	42
2.7.	Variables e indicadores.....	42
2.7.1.	Variable independiente.....	42
2.7.2.	Variable dependiente.....	42
2.8.	Operacionalización de las variables .....	42
3.	CAPÍTULO III.....	44
	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
3.1.	Tipo de investigación.....	44
3.2.	Nivel de investigación .....	44
3.3.	Diseño de la investigación.....	45

3.4.	Población .....	45
3.5.	Muestra .....	45
3.6.	Técnicas e instrumentos de captura de información.....	45
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos .....	45
3.6.2.	Instrumentos.....	46
3.7.	Técnicas de procesamiento de datos.....	46
4.	CAPÍTULO IV.....	47
	EVALUACIÓN DEL USO DE LA FIBRA SINTÉTICA.....	47
4.1.	Descripción de las labores en estudio.....	48
4.1.1.	Labores de preparación .....	49
4.1.2.	Labores de desarrollo .....	49
4.1.3.	Labores de explotación.....	51
4.2.	Características geomecánicas del macizo rocoso .....	52
4.2.2.	Tipos de soporte del terreno y especificaciones de materiales.....	101
4.2.3.	Control de calidad del soporte minero .....	106
4.3.	Evaluación del shotcrete actual .....	110
4.3.1.	Características de la mezcla de concreto shotcrete .....	113
4.4.	Evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética.....	119
4.4.1.	Evaluación de la fibra sintética barchip en el shotcrete .....	119
4.4.2.	Evaluación de la fibra sintética dsi fs 500 en la unidad minera animón ....	134

4.4.3.	Comparación detallada de las fibras sintéticas barchip r50 y dsi fs 500....	141
4.4.4.	Control estadístico del concreto shotcrete.....	149
5.	CAPITULO V.....	158
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	158
5.1.	Resultados.....	158
5.1.1.	Introducción a las Fibras Evaluadas.....	158
5.1.2.	Desempeño de la Resistencia Flexotracción .....	159
5.2.	DISCUSIÓN.....	160
5.2.1.	Análisis Comparativo.....	160
5.2.2.	Ventajas y Desventajas de Cada Tipo de Fibra.....	162
5.2.3.	Consideraciones Prácticas .....	163
5.2.4.	Comparación de costos y ahorros.....	170
5.2.5.	Ahorro planificado vs. Ejecutado.....	170
	CONCLUSIONES .....	173
	RECOMENDACIONES.....	175
	BIBLIOGRAFÍA .....	177
	ANEXOS .....	179
	ANEXO 1.....	179
1.1.	DATOS GENERALES DE UNIDAD MINERA CHUNGAR - ANIMON .....	179
1.1.1.	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN UNIDAD MINERA CHUNGAR.....	179

1.1.2.	EXPLOTACIÓN.....	179
1.2.	Ubicación Geográfica.....	180
1.3.	accesibilidad .....	181
1.4.	Clima y Meteorología.....	182
1.5.	Recursos.....	182
1.5.1.	Flora y Fauna.....	182
1.6.	Geología.....	183
1.6.1.	Geología REGIONAL.....	183
1.6.2.	SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA .....	184
1.6.3.	Geología local .....	185
1.6.4.	Geología ESTRUCTURAL.....	186
1.6.5.	Geología ECONÓMICA .....	187
1.6.4.	RESERVAS Y RECURSOS ANIMON .....	189
1.6.5.	métodos de minado en unidad minera chungar .....	190
1.6.6.	CICLO DE MINADO .....	191
1.6.7.	Planta concentradora .....	193
	ANEXO 2.....	194
1.1.	IMÁGENES DE CAMPO .....	194

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de Variables .....	43
Tabla 2: Requerimientos de información geotécnica. ....	56
Tabla 3: Resumen del Logueo Geotécnico – 2022.....	58
Tabla 4: Resumen del Logueo Geotécnico – 2023.....	58
Tabla 5: Resumen de Ensayos de Laboratorio.....	61
Tabla 6: Resumen de Ensayos de Laboratorio – UCS.....	61
Tabla 7: Resultado PLT – Is 50 – Rotura Combinada y Matriz. ....	62
Tabla 8: Resumen de Resistencia de Roca Intacta (Ensayos de Laboratorio).....	65
Tabla 9: Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxial.....	66
Tabla 10: Propiedades de la roca intacta y macizo rocoso (Determinadas bajo el criterio de rotura Hoek & Brown 2002). ....	68
Tabla 11: Criterios para la clasificación de la masa rocosa.....	73
Tabla 12: Calidad de la masa rocosa por vetas (especifica la separación ligera o inmediata/distancia límite entre diferentes secciones).....	75
Tabla 13: Interpretación del índice Q (Barton, 1974) .....	80
Tabla 14: Cartilla geomecánica de sostenimiento para labores permanentes .....	90
Tabla 15: Cartilla geomecánica de sostenimiento para labores temporales parte del estudio geomecánico de la mina unidad minera animon. ....	91
Tabla 16: Soporte en Intersecciones.....	92

Tabla 17:	Instalación de cable bolting en vetas con inclinación menor a 60° .....	93
Tabla 18:	Recomendaciones gráficas de estabilidad .....	93
Tabla 19:	FS recomendados según tiempo de exposición.....	100
Tabla 20:	Especificaciones técnicas de pernos Omega. ....	102
Tabla 21:	Especificaciones técnicas de la tuerca y placa de fijación. ....	103
Tabla 22:	Especificaciones del cable bolting. ....	104
Tabla 23:	Propiedades físicas y mecánicas de la malla electrosoldada.....	105
Tabla 24:	Propiedades mecánicas y físicas del shotcrete. ....	106
Tabla 25:	Materiales .....	111
Tabla 26:	Diseños shotcrete teóricos.....	126
Tabla 27:	Resultados de ensayo con 5 Kg/m <sup>3</sup> .....	128
Tabla 28:	Resultados de ensayo con 6 Kg/m <sup>3</sup> .....	129
Tabla 29:	Resultados de ensayo con 7 Kg/m <sup>3</sup> .....	130
Tabla 30:	Normas ASTM.....	135
Tabla 31:	Resultados de Ensayos Físicos.....	135
Tabla 32:	Diseño de Mezcla Animón.....	136
Tabla 33:	Cuadro de Asentamiento.....	136
Tabla 34:	Resultados de absorción de energía realizado en PUCP .....	136
Tabla 35:	Ensayo de resistencia por compresión simple.....	155
Tabla 36:	Ensayo de asentamiento .....	157

Tabla 37: Fibras empleadas .....	164
Tabla 38: Ahorro planificado .....	167
Tabla 39: Ahorro planificado por desarrollo, preparación y explotación .....	167
Tabla 40: Ahorro ejecutado .....	169
Tabla 41: Ahorro ejecutado por desarrollo, preparación y explotación .....	169

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esfuerzos en el Concreto Lanzado.....	29
Figura 1: Fibras metálicas .....	33
Figura 2: Comportamiento a tensión del concreto .....	34
Figura 3: Comportamiento a compresión del concreto .....	35
Figura 4: Comportamiento a flexión del concreto lanzado .....	36
Figura 5: Labores de preparación.....	49
Figura 6: Zona de carguío – rampas – By pass – Cruceros Vista planta.....	50
Figura 7: Zona de carguío – rampas – By pass – Cruceros vista transversal .....	50
Figura 8: Secuencia de las operaciones unitarias .....	52
Figura 9: Vista longitudinal mostrando la ubicación de las zonas de minado para el año 2023.	54
Figura 10: Modelo Litológico de la Unidad Minera Animón. ....	60
Figura 11: Sección E-W: Distribución de Ensayos de Laboratorio. ....	60
Figura 12: Diagrama de cajas – ensayos ucs (mpa) .....	62
Figura 13: Diagrama de cajas – Rotura Combinada.....	63
Figura 14: Relación $I_s(50)$ y UCS por Unidad Geotécnica.....	63
Figura 15: Resistencia de Roca Intacta (Ensayos de Laboratorio).....	64
Figura 16: Gráfico de la curva de rotura Hoek & Brown: Análisis estadístico del módulo de Young medido mediante transductores y gauge. ....	67

Figura 17: Vista en Sección longitudinal de las 4 unidades geotécnicas. ....	69
Figura 18: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-1. ....	70
Figura 19: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-2. ....	71
Figura 20: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-3. ....	71
Figura 21: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-4. ....	72
Figura 22: Ejemplo de clasificación RMR según logeo - Veta Andalucía 120 Techo.	76
Figura 23: GSI (Hoek, Marinos 2000) .....	78
Figura 24: Correlación RMRb (básico) y Q de Barton para mina Animón .....	81
Figura 25: Vista en planta de los dominios estructurales definidos en Mina Animón, estructuras modeladas (en rojo) y fallas límites de dominio (en verde). ....	83
Figura 26: Características Estructurales .....	84
Figura 27: Rock Mass Quality Q.....	89
Figura 28: Las secciones de spam máximo .....	89
Figura 29: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-I.....	94
Figura 30: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-II.....	95
Figura 31: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-I.....	96
Figura 32: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-II.....	97
Figura 33: Disposición de sostenimiento secundario. ....	97
Figura 34: Relación entre el diámetro de la excavación vertical y el parámetro Qr. ....	99

Figura 35: Contribuciones del Shotcrete a la Estabilización y Refuerzo de Excavaciones	
121	
Figura 36: Esquema del panel de punzonamiento.....	124
Figura 37: Resultados de ensayo con 5 Kg/m <sup>3</sup> .....	129
Figura 38: Resultados de ensayo con 6 Kg/m <sup>3</sup> .....	130
Figura 39: Resultados de ensayo con 7 Kg/m <sup>3</sup> .....	131
Figura 40: CA 16 VAND 4350, Rp lanzado con shotcrete y fibra sintética .....	133
Figura 41: Fibras empleadas.....	133
Figura 42: Pruebas de asentamiento – planta, con slump de 9”.....	138
Figura 43: Lanzado de shotcrete en paneles, labor SN 300 NV 225 ANDALUCIA, zona IESA, a presión de 3 bar .....	138
Figura 44: Colocado de paneles en labor SN 300 para lanzado.....	138
Figura 45: Presión de lanzado de 3 bar, equipo robot lanzador 75. ....	139
Figura 46: Panel lanzado, fibra DSI FS 500, dosificación de 5kg/m <sup>3</sup> . ....	139
Figura 47: Fibra DSI FS 500 utilizada para pruebas de absorción de energía mediante lanzado de paneles.	140
Figura 48: Sostenimiento con fibra .....	150
Figura 49: Representación gráfica.....	152
Figura 50: Ensayo fibra sintética vs metálica.....	161
Figura 51: Ahorro total.....	171

Figura 52: Detalle de ahorros por día en los meses.....	171
Figura 53: Ubicación Geográfica de Animon .....	181
Figura 54: Implementación de fibra .....	194
Figura 55: Implementación de fibra en un frente .....	195
Figura 56: Implementación de muestra .....	196
Figura 57: Implementación de controles .....	197
Figura 58: Supervisión de la implementación de fibra.....	198

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las labores de minería subterránea pueden dar lugar a ambientes de trabajo de alto riesgo, en los cuales los trabajadores se encuentran expuestos a sufrir atropellamiento, atrapamientos e impacto; los accidentes más comunes son provocados por el sistema de sostenimiento, ya que un mal diseño ingenieril y el uso de materiales inadecuados puede provocar caída de material del techo debido a material suelto o falta de refuerzo.

Actualmente, existen diversos sistemas de sostenimiento empleados en las labores mineras, de los cuales cada organización debe seleccionar aquel que se adecue a los objetivos y costos de forma que se aprovechen los recursos y medios empleados durante la operación. En este sentido, el shotcrete ha tomado la ventaja como técnica para el sostenimiento de túneles y estabilización de taludes en proyectos mineros gracias a su resistencia y adherencia, además, este sistema requiere de un mantenimiento mínimo y es de fácil instalación, ya que no requiere de encofrado ni de la instalación de complejas armaduras de acero. Es así que surge la problemática en la Unidad Minera Animon, donde el uso de fibra metálica ha venido siendo un tema de análisis ya que al concluir los proyectos antes presupuestados, se evidenció en los informes un uso considerable de dicha fibra, ocasionando sobredimensionamiento en el requerimiento de fibra, alterando la dosificación

planificada y ocasionando un incremento en los costos, por lo cuál tanto en las labores de preparación , desarrollo y explotación , se tiene la necesidad de replantear el uso de dicha fibra, de manera que se reconsidere una dosificación adecuada, con un uso de menor cantidad y por lo tanto minimizando los costos de adquisición de éstos materiales.

Entre tanto, en la Unidad Minera Animon, el sistema de sostenimiento se viene realizando con shotcrete reforzado con fibra metálica, en una relación de 30 kg de fibra por metro cubico de shotcrete, por lo cual, la presente investigación propone cambiar la fibra metálica por fibra sintética, procediendo evaluar el ahorro en los costos empleando una relación menor de fibra sintética por metro cubico de shotcrete, puesto que se estima que es posible obtener un comportamiento similar del sistema a un menor costo. En este sentido, la investigación se dirige evaluar los beneficios técnicos y económicos del uso de las fibras sintéticas en la mezcla de Shotcrete para el sostenimiento de la mina.

## **1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### ***1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN***

- ¿Cuáles son las implicancias del uso de fibra sintética como refuerzo en labores de desarrollo, preparación y explotación en la Unidad Minera Animon, Pasco?

### ***1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN***

- ¿Qué características presenta el sostenimiento actualmente utilizado en labores de desarrollo, preparación y explotación de la Unidad Minera Animon, Pasco?
- ¿Cuál es la dosificación de Shotcrete reforzado con fibra sintética que provee los mejores resultados técnicos en el sostenimiento en labores de desarrollo, preparación y explotación de minas de la Unidad Minera Animon, Pasco

- ¿Cuál es la diferencia de costos entre el uso de shotcrete actual y el reforzado con fibra sintética en el sostenimiento actual en labores de desarrollo, preparación y explotación en la Unidad Minera Animon, Pasco?

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se justifica desde el punto de vista teórico, ya que la evaluación del comportamiento del shotcrete reforzado con fibra sintética y su influencia sobre los costos de producción constituye un aporte teórico relevante para la selección del sistema de sostenimiento más adecuado por parte de las compañías mineras. Además, las conclusiones obtenidas de la presente investigación servirán de guía para futuros investigadores interesados en el shotcrete.

Por otra parte, la investigación se justifica económicamente, puesto que se encuentra orientada a lograr una disminución de los costos implementando la fibra sintética en lugar de la fibra metálica, lo que permitirá que la empresa obtenga mayores ganancias, garantizando, además, la estabilidad y seguridad del sistema.

Finalmente, la investigación cuenta con justificación metodológica, ya que se emplearán diferentes métodos de ensayos para evaluar el comportamiento del shotcrete reforzado con fibra sintética, a partir de los cuales se podrá comprobar si el concreto resultante cumple con los criterios establecidos en las normativas vigentes y los requerimientos de la empresa

### **1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### ***1.4.1. OBJETIVO GENERAL***

- Evaluar el uso de fibra sintética como refuerzo del shotcrete en el sostenimiento de labores de desarrollo, preparación y explotación para la reducción de costos en la Unidad Minera Animon, Pasco.

#### ***1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

- Describir las características que presenta el sostenimiento actualmente utilizado en labores de desarrollo, preparación y explotación en la Unidad Minera Animon, Pasco.
- Determinar la dosificación de Shotcrete reforzado con fibra sintética que provee los mejores resultados técnicos en el sostenimiento en labores de desarrollo, preparación y explotación de minas de la Unidad Minera Animon, Pasco
- Determinar la diferencia de costos entre el uso de shotcrete actual y el reforzado con fibra sintética en el sostenimiento actual en labores de desarrollo, preparación y explotación de la Unidad Minera Animon, Pasco

#### **1.5.DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

##### ***1.5.1. DELIMITACIÓN***

***Delimitación geográfica.*** La investigación se realizará únicamente en las labores de desarrollo, preparación y explotación en la Unidad Minera Animon, Compañía Minera Volcan , Pasco.

***Delimitación temporal.*** El trabajo de investigación se realizará en el periodo comprendido entre los meses de Enero y Agosto del año 2024.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Pontus L. (2018) **“Optimization of the steel-fiber dosage in shotcrete used in the Kankberg mine” Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica de Luleá, Luleá – Suecia.**

Presentó una investigación con el objetivo de presentar una recomendación en dosificación de fibra de acero para su uso en el concreto proyectado basados en los resultados de los ensayos de panel redondo determinado (RPD) según la norma ASTM C1550-12a de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y materiales. Presentó una metodología experimental. La dosificación de fibras más eficiente en términos de absorción de energía fue de  $16,3 \text{ kg/m}^3$ , no obstante, la dosificación de fibra de  $15 \text{ kg/m}^3$  sería suficiente para absorber la energía necesaria para satisfacer los requisitos de la clase de roca "D" de Morgan, por lo tanto, la absorción de energía y los requisitos de espaciado mínimo de las fibras contribuye a un ahorro de costes, ya que se utilizarían  $7,4 \text{ kg/m}^3$  menos de fibras que en la minería actual y futura.

Se concluye que la dosificación de fibra en la receta del hormigón proyectado puede reducirse en favor de la reducción de costos.

- **Martinez V. (2011) "Análisis del Concreto Lanzado como revestimiento definitivo para Túneles" Tesis para optar el título profesional de Magister en Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá - Colombia.**

Tesis con el objetivo de demostrar los beneficios del concreto lanzado como revestimiento definitivo en túneles en comparación con el uso del concreto convencional.

Llegando a la conclusión que un análisis de las experiencias de túneles viales muestra que puede lograrse revestimientos con espesores de entre 5 y 15 cm en concreto lanzado con fibras, frente a más de 30 cm que exige el concreto convencional como requerimiento técnico. Esto se refleja en menor cantidad de concreto, menor volumen del material de excavación; menos tiempos de construcción del revestimiento y mayores eficiencias en los equipos

### ***2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES***

- **Laurente P. (2017) "Uso de Shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en Sociedad Minera Corona S.A. - Yauricocha", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo.**

En este trabajo de investigación se tiene el objetivo de evaluar e identificar los problemas de inestabilidad del terreno, para luego mediante los estudios geomecánicos en los dos tajeos Antacaca 920 y Antacaca 970, se pueda establecer el diseño de sostenimiento a emplearse en términos de RMR, Q y GSI; considerando también la seguridad que se debe brindar a nuestro personal colaborador. En las dos tajeos mencionados se hizo una comparación en el uso de fibras metálicas para aplicación del shotcrete vía húmeda, como es el caso de la fibra metálica con la

fibra sintética ya que este último se venía empleando. Estas comparaciones se realizan teniendo en cuenta los ensayos de resistencia a la compresión y ensayos de absorción de energía y como esta influye en la ocurrencia de caída de rocas en minera Yauricocha.

Se concluyó que el macizo rocoso de los dos tajeos es de mala calidad y por lo resultados de las pruebas se concluye que el uso de “shotcrete vía húmeda con fibra metálica influye positivamente en la disminución de la ocurrencia de caída de rocas en la Sociedad Minera Corona S.A – Yauricocha”

- Aragon Q. & Cornejo M. (2017) "**Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión**", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa

Investigación cuyo objetivo consiste en realizar un diseño patrón de shotcrete por vía húmeda sin fibra, luego diseños en los que solamente se varió la dosis de fibra, se realizaron diseños con 10 Kg, 20 Kg ,30 Kg, 40 Kg de fibra metálica por metro cúbico de concreto y 2 Kg, 4 Kg, 6 Kg y 8 Kg de fibra sintética por metro cúbico de concreto.

Se determinó la influencia de las fibras en el shotcrete en la trabajabilidad (ASTMC143), en la resistencia a compresión obtenida mediante 30 ensayos de núcleos cilíndricos de concreto extraídos con diamantina de paneles de shotcrete (ASTMC42), en la resistencia a flexión medida indirectamente a través de 30 vigas aserradas de paneles de shotcrete (EN 14488-3) y en la absorción de energía de 30 paneles cuadrados según la norma Europea (EN 14488-5) y 30 paneles circulares según la norma Americana (ASTM C1550).

Los resultados concluyen que se demostraron que las fibras metálicas en el shotcrete tienen un mejor comportamiento estructural en el deterioro de la resistencia que las fibras sintéticas, a

pesar de que se obtuvieron mismos valores de energía absorbida y resistencia a la flexión utilizando fibra sintética a un menor costo

- Neira P.(2018) "**Evaluación del Uso de Fibra Sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la galería 651, Nv. 100 Unidad Minera Raura**", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Continental – Huancayo

Tesis que tiene como objetivo evaluar el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018. Se plantea como hipótesis principal que, con empleo de la fibra sintética se evidencian resultados favorables versus la fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera S. A. 2018.

En el desarrollo de la investigación la metodología que se utilizó es de tipo aplicada, el nivel es descriptivo - explicativo, y el diseño es experimental; se aplica como población a nivel 100, unidad minera Raura S. A. y como muestra a la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A.

Finalmente se concluye que : la fibra sintética tuvo mejores resultados en relación con la fibra metálica, siendo mejor en la resistencia de compresión y tenacidad con menor dosificación, teniendo en cuenta que el costo de la fibra sintética es mayor a la fibra metálica; por lo tanto, la fibra sintética es una buena opción para el mejoramiento del lanzado de shotcrete vía húmeda.

## **2.2.BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. MINERÍA SUBTERRÁNEA**

Es un método de extracción de minerales que se realiza debajo de la superficie terrestre, en oposición a la minería a cielo abierto, que se lleva a cabo en la superficie. En la minería subterránea, se excavan túneles, galerías y pozos para acceder a los yacimientos de minerales que

se encuentran debajo de la superficie. Este método es utilizado cuando los yacimientos de minerales se encuentran a una profundidad demasiado grande para ser extraídos mediante métodos convencionales.

Se utiliza para extraer una variedad de minerales, incluyendo oro, plata, cobre, hierro, zinc y otros metales preciosos y no preciosos. También se utilizan para extraer minerales no metálicos como el carbón, la sal y la piedra caliza. La minería subterránea es una parte importante de la industria minera mundial y se utiliza en países de todo el mundo.

### ***2.2.2. GEOMECÁNICA***

La geomecánica es la ciencia dedicada al estudio de las propiedades mecánicas de los suelos y las rocas, conocidos también como materiales geológicos, así como determinar su comportamiento, en función a los cambios de esfuerzos, presión, temperatura y otros factores ambientales

### ***2.2.3. RELACIÓN ENTRE LA GEOMECÁNICA Y EL SOSTENIMIENTO***

La selección y el diseño del sistema de sostenimiento adecuado dependen en gran medida del análisis geomecánico del entorno subterráneo, el cual evalúa factores como la resistencia de la roca, la presencia de fracturas, las tensiones in situ y las condiciones hidrogeológicas. La interacción entre la geomecánica y el sostenimiento es un proceso iterativo y dinámico. Los ingenieros geotécnicos utilizan modelos numéricos y ensayos in situ para simular el comportamiento de la roca y predecir posibles fallas.

Con base en estos análisis, se diseñan soluciones de sostenimiento específicas que se ajustan a las condiciones particulares de cada mina. La implementación de estas soluciones no solo debe considerar la estabilidad inmediata de las excavaciones, sino también su comportamiento a

largo plazo, teniendo en cuenta factores como la corrosión de los materiales y los cambios en las condiciones geomecánicas debido a la progresión de la explotación minera.

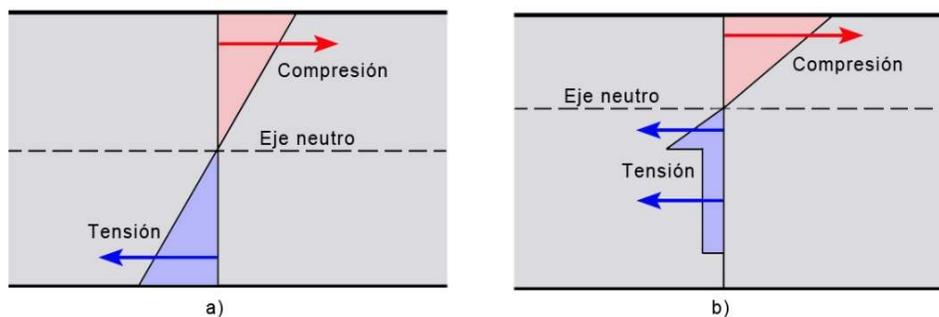
#### **2.2.4. SHOTCRETE.**

El shotcrete es un concreto diseñado para el soporte de una excavación en un túnel o en una mina, el concreto contiene arena, cemento, agua, fibra, aditivos superplastificantes y acelerantes de fragua, todos estos componentes realizan una mezcla con una dosificación de diseño, una vez realizada toda esa mezcla se convierte en concreto o mortero y esto será bombeado con un equipo robot Alpha 2.0 utilizando aire a presión para que el concreto salga a una velocidad alta por la boquilla y este concreto se adhiera a la superficie de la roca. (COSME CAMARENA, 2016)

#### **2.2.5. ESFUERZOS EN EL CONCRETO LANZADO**

Los esfuerzos en una sección de concreto trabajando a flexión pura pueden estudiarse de manera simplificada para dos estados del material: el primero, (a), elástico, en el que la parte de la sección sometida a tensión aún no ha alcanzado el límite de resistencia; el segundo estado corresponde al momento en el que el concreto a tensión ya se ha agrietado y se encuentra en estado residual de resistencia (b)

**Figura 1: Esfuerzos en el Concreto Lanzado**



Fuente: (COSME CAMARENA, 2016)

### **2.2.6. DISEÑO DEL SHOCRETE.**

El diseño del Shotcrete se refiere básicamente a todos los materiales que se utilizan para su fabricación, indistintamente del sistema de proyección.

### **2.2.7. DISEÑO EMPÍRICO**

De acuerdo con la publicación NIOSH (2014), debido a que el concreto lanzado suele ser aplicado en combinación con otros sistemas, se torna complejo determinar el nivel de soporte que provee y, debido a esto es que no se han desarrollado aproximaciones analíticas para diseño. En su lugar, las técnicas empíricas basadas en índices de calidad del macizo rocoso han tomado un lugar preponderante, especialmente en condiciones de roca débil. (Melbye, 1994)

### **2.2.8. ARIDOS.**

Los áridos a emplear en el hormigón proyectado se obtendrán por la selección y clasificación de materiales naturales o de machaqueo, o por una mezcla de ambos. Las arenas más finas favorecen la retracción mientras que las más gruesas incrementan el porcentaje de rebote. Los áridos estarán compuestos de partículas limpias, duras, resistentes, con una calidad uniforme. El empleo de áridos finos o gruesos, o una mezcla de ambos, se hará de acuerdo con el espesor a aplicar en el hormigón proyectado. En general, no se utilizan áridos con tamaños  $> 15$  mm. Se define como árido fino, el material compuesto por partículas duras y resistentes, del que pasa por el tamiz n° 4 ASTM un mínimo del 95 % en peso. Este árido fino estará exento de cualquier sustancia que pueda reaccionar perjudicialmente con los álcalis del cemento. Se define como árido grueso, la fracción de árido mineral de la que queda retenida en el tamiz n° 4 ASTM un mínimo del 70% en peso. Los áridos gruesos podrán ser rodados o de machaqueo. (REY, 2006)

### **2.2.9. CEMENTOS.**

El cemento utilizado en la elaboración del Shotcrete generalmente varía entre 300 y 450 [kg/m<sup>3</sup>]. Normalmente los cementos a utilizar en los morteros u hormigones proyectados serán del tipo I, categorías 35 y 45. En los casos en que la gunita vaya a ser expuestas a la acción de suelos o aguas subterráneas con una alta concentración de sulfatos, debe emplearse un cemento resistente a los sulfatos.

### **2.2.10. AGUA.**

El agua de mezclado debe ser clara y aparentemente limpia. Si contiene sustancias que decoloren o le den sabores u olores raros, indeseables o que causen sospecha, no debe usarse, a menos que los registros de servicio del hormigón preparado con ella u otra información indiquen que no afecta la calidad del hormigón. (DIGNACION ASTM, C 94/C 94M -03a, 2003)

### **2.2.11. ADITIVOS.**

Los aditivos se pueden utilizar en la construcción de hormigón para mejorar algunas propiedades fisicoquímicas, teniendo en cuenta la aplicación que se le dará y las condiciones de colocación. Los aditivos del Shotcrete deben probarse antes de ser usados a gran escala para determinar si en realidad se obtendrán las ventajas esperadas. Los aditivos de hormigón proyectado generalmente están separados en cuatro categorías, los cuales son aceleradores, incorporadores de aire, reductores de agua y retardadores. (506R-05, ACI, 2005)

Los aditivos plastificantes y superplastificantes, conocidos comúnmente como reductores de agua, son materiales químicos que permiten aumentar la docilidad para un contenido fijo de agua o, análogamente, permite reducir el contenido agua para una docilidad determinada. La diferencia entre los reductores de agua radica en la capacidad fluidificante que se puede obtener

bajo su acción en la mezcla, o su facultad para disminuir el agua libre para una docilidad dada. (TENORIO ROJAS, 2016)

### ***2.2.12. FIBRA.***

La adición de fibras a los hormigones mejora sus características notablemente. Aunque hay fibras de distintas naturalezas (nylon, fibras de vidrio, polipropileno, polietileno, acero, etc.) (...) La presencia de fibras metálicas en los hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas haciendo que disminuya su fragilidad y aumenta su ductilidad después de la fisuración; aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía; disminuye la tendencia a las roturas por retracción; 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 flexotracción y aumenta la durabilidad. (VARGAS NIQUIN, 2016)

### ***2.2.13. FIBRAS METÁLICAS***

Estas son las fibras más utilizadas para el shotcrete. Existen varias clases y calidades disponibles en el mercado, pero solo algunas reúnen los requisitos establecidos para el shotcrete reforzado con fibra. Están fabricadas de alambre de acero trefilado en frío de primera calidad; provistas de terminaciones en forma de gancho, proporcionan un anclaje inmejorable. Los parámetros críticos de las fibras de acero son la geometría, relación longitud/diámetro (L/D), método de anclaje, resistencia a la tensión, cantidad en la mezcla y calidad del acero.

Las fibras metálicas son elementos delgados de longitud corta y de diámetro pequeño, que sirven para formar hilos del material para el refuerzo de concreto. Dependiendo del diseño del firme, permiten incluso sustituir por completo el armado tradicional del hormigón a base de malla y acero corrugado. La función principal de las fibras de acero o fibras metálicas en el shotcrete es

aumentar su ductilidad. Si bien es posible obtener una elevada resistencia a la flexión sin necesidad de fibras, la ductilidad está directamente relacionada con el tipo y la cantidad de las fibras de acero.

Las fibras de acero están caracterizadas geoméricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del shotcrete, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas, es decir la longitud  $L$ , la forma y el diámetro  $D$ . De la relación entre longitud  $L$  y el diámetro  $D$  se obtiene la relación de aspecto o esbeltez  $L/D$ .

**Figura 1: Fibras metálicas**

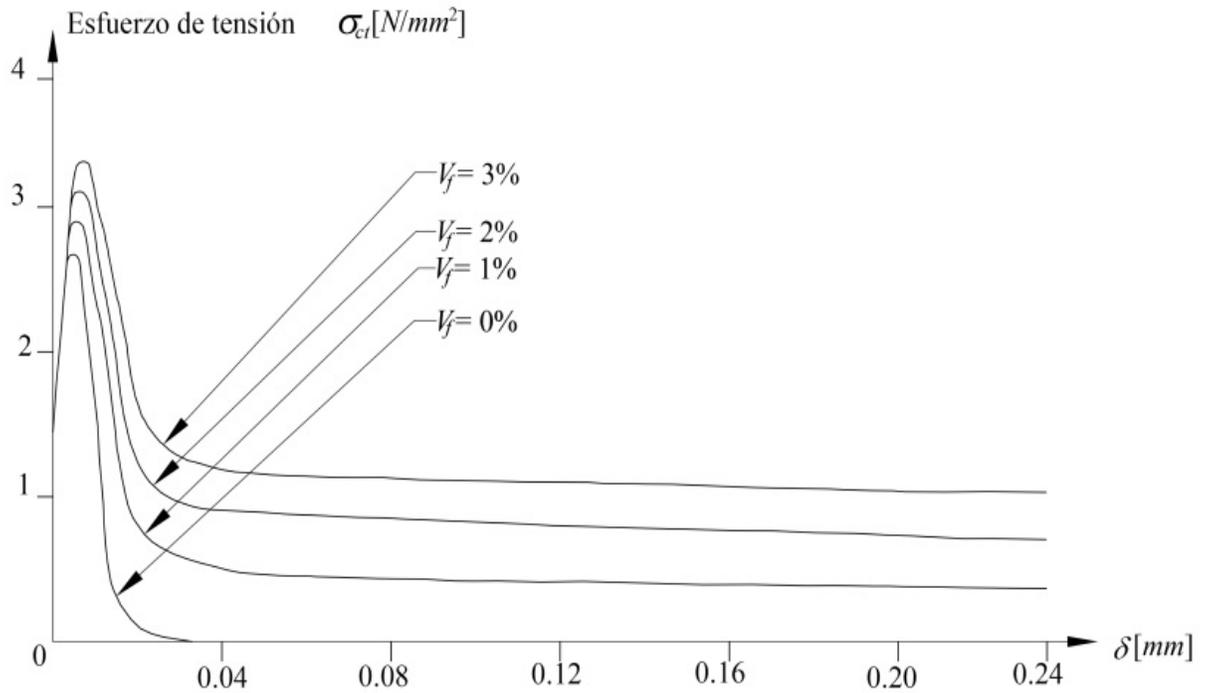


Fuente: (VARGAS NIQUIN, 2016)

#### ***2.2.14. COMPORTAMIENTO A TENSIÓN DEL CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS***

El comportamiento en tensión puede ser caracterizado, además de por su resistencia, por su grado de fragilidad. El objetivo de introducir fibras en el concreto muchas veces es el de proporcionarle a la mezcla un comportamiento más dúctil.

**Figura 2: Comportamiento a tensión del concreto**

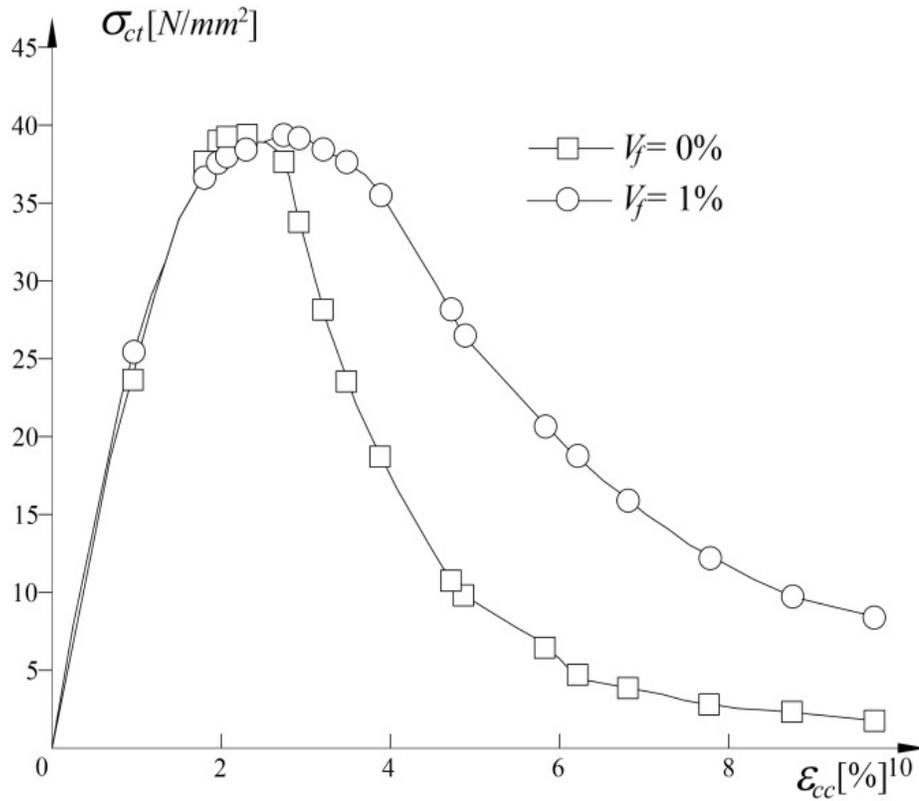


Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

### ***2.2.15. COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DEL CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS***

En cuanto a la etapa de comportamiento lineal-elástico, las investigaciones de Keer (1984, en Kooiman, 2000) sugieren que el módulo de Young del material compuesto apenas si se ve afectado por la adición de las fibras. Otras investigaciones comprueban que las fibras de acero no afectan significativamente la resistencia a la compresión simple.

**Figura 3: Comportamiento a compresión del concreto**

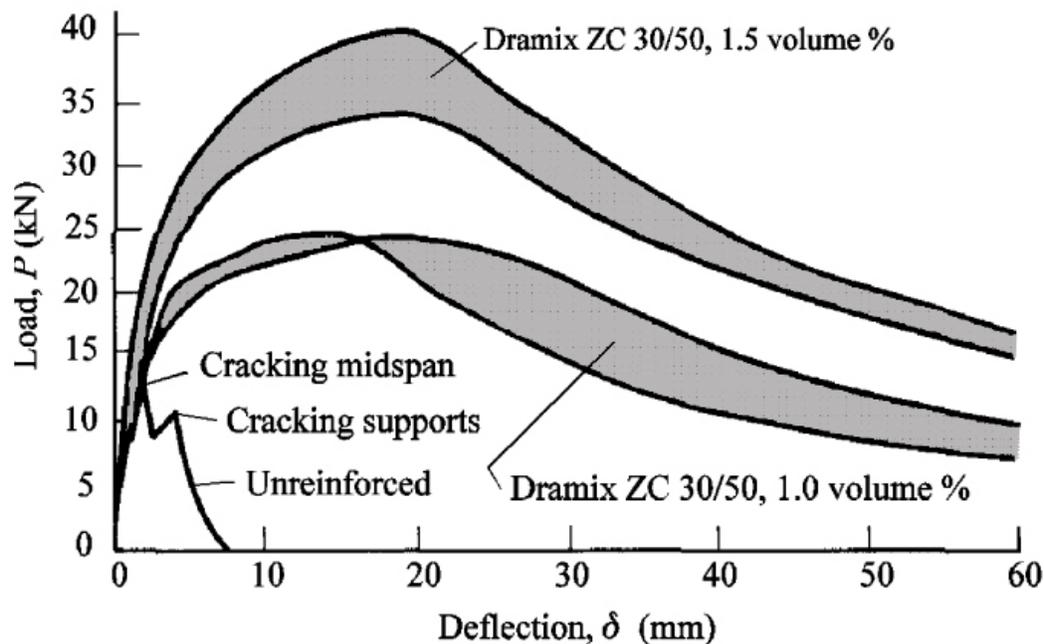


Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

### **2.2.16. COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS**

Resultados obtenidos sobre ensayos a flexión de placas de concreto lanzado simple y concreto lanzado reforzado con fibras de acero. El concreto lanzado simple tenía una resistencia a compresión uniaxial de 50 MPa. En la Figura se aprecia que la resistencia de pico de estas placas aumenta entre el 85% y el 185% para dosificaciones del 1% y 1.5%, además de proporcionar una mucho mayor ductilidad.

Figura 4: Comportamiento a flexión del concreto lanzado



Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

### 2.2.17. FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras sintéticas utilizadas en el hormigón están hechas de material artificial. Son polímeros sintetizados de pequeñas moléculas que se obtienen como materia prima a partir de productos químicos derivados del petróleo. Hay varios tipos de fibras sintéticas disponibles en el mercado que se utilizan en el hormigón como refuerzo, como acrílico, aramida, carón, nailon, poliéster, polietileno y polipropileno. Las fibras sintéticas se clasifican en microfibras y macrofibras sintéticas. Las microfibras a base de polipropileno se utilizan para controlar la contracción plástica del hormigón y mejorar su resistencia al fuego a temperaturas muy elevadas. Las macrofibras sintéticas a base de polipropileno ayudan a mejorar el comportamiento del hormigón frente a las grietas.

Una de las ventajas principales de las fibras sintéticas es que proporcionan un sistema de soporte interno al hormigón, lo que lleva a una exudación más uniforme y a evitar la segregación de los materiales, además de disminuir la posibilidad de agrietamiento por retracción plástica durante la etapa de rigidización y contracción inicial del hormigón, que es justamente cuando se llega a presentar la formación de microfisuras. En la etapa plástica, las fibras sintéticas mantienen estas microfisuras más cerradas debido a la fricción que existe entre las fibras y los áridos. Las grietas más comunes aparecen en el estado plástico y son ocasionadas por la retracción al ocurrir el endurecimiento del hormigón, específicamente cuando el agua se evapora, donde se generan tensiones dentro del hormigón, para ocupar el espacio que deja la pérdida de agua. Se forman dentro de las primeras horas posteriores a la colocación del hormigón; en muchas ocasiones, dichas grietas no se observan sino hasta que transcurre un tiempo. Con frecuencia son selladas en la superficie al llevar a cabo la operación de terminado o, simplemente, no son lo suficientemente anchas para ser observadas.

#### **2.2.17.1. MICROFIBRAS**

Las microfibras tienen un diámetro menor a 0,1 mm. Su función se limita al control de agrietamiento por contracción.

Son fibras que están destinadas a evitar la fisuración del hormigón en estado fresco o antes de las 24 horas. Las microfibras, según proveedores, se dosifican en el hormigón para volúmenes de 600 gr/m<sup>3</sup>. Son dosificaciones extremadamente bajas, pero muy eficientes para prevenir la fisuración en el hormigón (por retracción plástica). Las fibras de polipropileno son las más frecuentes, cuya dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m<sup>3</sup> de hormigón. Estas fibras tienen un diámetro entre 0.023 a 0.050 mm, tan pequeños que se clasifican con un parámetro denominado Denier. Es el peso en gramos de 9000 metros de una sola fibra.

### **2.2.17.2. MACROFIBRAS**

Las macrofibras más usadas son las de polipropileno, que cumplen con la norma ASTM C 1116, cuyos diámetros varían entre 0,2 a 0,8 mm, estas fibras cumplen la función de prevenir la fisuración en estado endurecido (antes de las 24 horas no tienen mayor efecto), a reducir el ancho de la fisura si esta se presenta y permite la correcta función de la estructura fisurada, entregando propiedades estructurales al hormigón, hasta reemplazar el refuerzo de malla electrosoldada. Por efecto, las macrofibras se incluyen en el hormigón para aumentar la tenacidad del material, en consecuencia, la matriz después de ser agrietada puede seguir siendo cargada; la tenacidad es la capacidad que tiene un material para soportar cargas antes de colapsar.

### **2.3.FACTOR DE SEGURIDAD**

Este factor es un concepto que se aplica en los métodos de análisis basados en el equilibrio límite, bajo este parámetro estas metodologías logran analizar la estabilidad de los taludes, es definido como la relación entre la resistencia del corte del suelo en una superficie o línea de falla y es comparado con la resistencia de corte necesaria para mantener estable las masas componentes del suelo, además, también depende de las características del suelo obtenido por pruebas y ensayos de laboratorio. También es definida como la relación cuantitativa de la resistencia de corte y los esfuerzos de corte que son originados el movimiento de las masas, se deberá de tomar en cuenta los esfuerzos que resisten y los que se contraponen que ofrecen resistencia, en los métodos de equilibrio límite se identifica franjas o dovelas y se analizan las fuerzas que intervienen en estos elementos. (Beresovsky de las Casas, 2018)

### **2.4.NORMATIVAS APLICABLES PARA EL SHOTCRETE DE SOSTENIMIENTO PARA MINADO**

Se describen a continuación:

Para la dosificación se la mezcla shotcrete se aplica la norma ACI 211, que aborda los métodos de selección de proporciones para el cemento hidráulico colocado por bombeo. Se dan directrices numéricas específicas aplicables a las proporciones de los componentes de la mezcla que conducen a los resultados de bombeo de hormigón más eficientes. Incluyen comentarios sobre cómo el bombeo afecta la mezcla y la bombeabilidad. ("Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea", 2004)

Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), es líder mundial en el desarrollo de normas de consenso voluntario utilizadas por particulares, empresas y otras instituciones de todo el mundo, ayudan a crear infraestructuras para industrias locales competitivas y seguras, y se incorporan a contratos, códigos, leyes y reglamentos de todo el mundo para brindar la orientación que se necesita para aplicarlas eficazmente. Para el control de shotcrete, se implementan:

- ASTM c-139-96, granimetría y módulo de fuerza
- ASTM D-2216, contenido de humedad
- ASTM C-117, materiales finos
- ASTM C-128, peso específicos y absorción de agregados
- Normas Europeas (EN) (2024), corresponde a requisitos fundamentales (presunción de conformidad, marcado Comité Europeo), y los Estados miembros deben aceptar la libre circulación de producto para garantizar la protección de la seguridad y la salud, de los consumidores o la protección del medio ambiente. Para evaluar la resistencia del shotcrete, se suele emplear:

EN 14488-5, para ensayo de resistencia inicial

EN- 14488-2, en ensayo de resistencia a edades tempranas de compresión

## **2.5.PROPIEDADES DEL SHOTCRETE LANZADO(AGREGADO)**

### **2.5.1. CURVA GRANULOMÉTRICA**

Según la norma ASTM C 136, demuestra la distribución de los agregados finos por tamizado, se conoce los pesos de cada tamaño por tamiz, lo cual se expresa en % retenidos y se calcula en % retenidos acumulados y % pasantes.

$$\% \text{ retenido parcial} = (\text{Peso retenido en cada malla}) / \text{Peso inicial} \times 100\%$$

### **2.5.2. MÓDULO DE FINEZA**

Según la norma ACI-506 (G2), Este ensayo se realiza para determinar la distribución granulométrica de los agregados. En el agregado fino adicionalmente se determina el módulo de fineza que debe estar en un rango de (2.3 a 3.1). Este es un valor adimensional que nos determina si el agregado fino o grueso está dentro de los parámetros. Para concreto proyectado de (shotcrete) se considera un módulo de fineza de 2.3 % hasta 4.0 %

### **2.5.3. ENSAYO MALLA #200**

Según la norma ASTM C - 117 NTP 339.185 determina la cantidad de material más fino que pasa 75  $\mu\text{m}$  (N°200), por el método de lavado, como partículas arcillosas. El resultado del material ensayado se encuentra dentro de parámetros establecido que es inferior del límite máximo 5% .

$$\% \text{ material pasante} = (\text{Muestra seca original} - \text{Muestra seca luego de lavado}) / \text{Muestra seca original} \times 100\%$$

### **2.5.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN**

Según la norma ASTM C 128, la gravedad específica se usa para el cálculo de volumen ocupado por el agregado y la absorción es el incremento en masa del agregado debido a la penetración en los poros.

### **2.5.5. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL AGREGADO**

Según la norma ASTM C 566, NTP 339.185 es para determinar el contenido de agua atrapado en el agregado tanto en superficie como en los poros, que dependerá mucho de las condiciones de almacenamiento. La humedad se encuentra en promedio 6% y 7%, se recomendó a los operadores de planta realizar el preparado con el 80% de agua y con el 20% reemplazar el concreto. (Ruano, Isla, & Luccioni, 2014)

### **2.5.6. ROBOT LANZADOR ALPHA 20.**

Es un equipo hidráulico que se traslada utilizando un motor diésel, teniendo gran capacidad de bombeo además siendo de una operación y mantenimiento simple. Está diseñado con un brazo que puede alcanzar una altura de siete metros para una aplicación óptima. La bomba BS 7622 fue diseñada para la proyección de concreto lanzado vía húmeda y tiene capacidad máx. para 18 m<sup>3</sup> por hora. A fin de incrementar la seguridad del operador la proyección del concreto es controlada desde un panel remoto de forma inalámbrica. “Su motor diesel de 110 KW del equipo Alpha 20, cumple con la norma TIER II. Cuenta con transmisión hidrostática con tracción y dirección a las cuatro ruedas, para facilitar su desplazamiento y maniobrabilidad en cualquier tipo de túnel y mina”.

### **2.5.7. MIXER**

Equipo de transporte y preparación de concreto lanzado vía húmeda. La capacidad de transporte es de 3 m<sup>3</sup>. El transporte actual de 76 concreto lanzado es de 2.5 m<sup>3</sup>, debido a la pendiente de las rampas (13 %), accesos (15%), en las cuales se arroja demasiada mezcla.

## **2.6.HIPÓTESIS**

### ***2.6.1. HIPÓTESIS GENERAL***

- El uso de la fibra sintética como refuerzo del shotcrete en el sostenimiento labores de desarrollo, preparación y explotación de minas reduce los costos del sostenimiento en la Unidad Minera Animon, Pasco.

### ***2.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS***

- El sostenimiento utilizado actualmente presenta características deficientes que incrementa los costos ya planificados en la Unidad Minera Animon, Pasco.
- La dosificación de Shotcrete reforzado con 5 kg/m<sup>3</sup> de fibra sintética provee los mejores resultados técnicos en el sostenimiento de minas de la Unidad Minera Animon, Pasco.
- El Shotcrete reforzado con fibra sintética tiene un menor costo que el actual para el sostenimiento de la Unidad Minera Animon, Pasco.

## **2.7.VARIABLES E INDICADORES**

### ***2.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE***

X: Uso de la Fibra Sintética como refuerzo de shotcrete

### ***2.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE***

Y: Costos de sostenimiento en la unidad minera Animon

## **2.8.OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

**Tabla 1: Operacionalización de Variables**

<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>INDEPENDIENTE</b>			
Uso de la Fibra Sintética como refuerzo de shotcrete	Mezcla del shotcrete	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación de Fibra por mezcla</li> </ul>	Kg/m <sup>3</sup>
<b>DEPENDIENTES</b>			
	Avance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo por avance</li> </ul>	\$/m
Costos de sostenimiento	\$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo por dosificación</li> <li>• Costo sostenimiento activo en labores de desarrollo, preparación y explotación</li> </ul>	\$/Kg  \$

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es del tipo cuantitativa y básica, ya que la investigación a realizar utiliza datos cuantitativos para analizar las técnicas de sostenimiento con shotcrete en una mina subterránea. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Es del tipo básica ya que la presente investigación servirá de fuente de consulta para futuras investigaciones del tipo técnico. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

#### **3.2.NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con los alcances de la investigación, la presente investigación es:

***Correlacional***, ya que tiene como finalidad conocer la relación que exista entre dos o más conceptos o variables en una muestra o contexto en particular. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

*Descriptiva*, ya que comprende la colección de datos para probar una hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos que intervienen en el estudio. Un estudio descriptivo determina los modos de ser de los objetos. (ÑAUPAS PAITAN, VALDIVIA DUEÑAS, PALACIOS VILELA, & ROMERO DELGADO, 2018).

*Explicativa*, es decir, que pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

### **3.3.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con los diseños de la investigación, la presente investigación es:

*No experimental*, de corte transversal, ya que la recolección de datos se hizo en un solo periodo de tiempo. (ÑAUPAS PAITAN, VALDIVIA DUEÑAS, PALACIOS VILELA, & ROMERO DELGADO, 2018).

### **3.4.POBLACIÓN**

La población de la investigación considerada será de las labores de Sosténimiento de la Unidad Minera Animon .

### **3.5.MUESTRA**

La muestra para la investigación se delimita a labores de desarrollo, preparación y explotación de la unidad minera Animon.

### **3.6.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE CAPTURA DE INFORMACIÓN**

#### **3.6.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las principales técnicas que utilizaremos son:

- Técnica Documental
- Observación
- Entrevista
- Trabajo de campo

### **3.6.2. INSTRUMENTOS**

- Ficha Documental
- Guía de Observación
- Guía de Entrevista
- Diario de campo

### **3.7.TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

La información recolectada será evaluada y analizada con el objetivo de identificar los parámetros en la operación para lo cual se hará uso de:

- Microsoft Excel.
- Macros en Excel.
- Microsoft Project.
- AutoCAD.
- Microsoft Office
- Software Rockscience

## **CAPÍTULO IV**

### **EVALUACIÓN DEL USO DE LA FIBRA SINTÉTICA**

Para el capítulo de procedimiento y resultados de la investigación, se debe ofrecer una descripción detallada y coherente de los métodos y técnicas empleadas durante el desarrollo del estudio, así como un análisis riguroso de los hallazgos obtenidos. Este capítulo es fundamental para validar la hipótesis planteada, ya que permite establecer un vínculo directo entre la metodología aplicada y los resultados obtenidos, los cuales servirán de base para las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

En este sentido, se describirá en detalle el proceso de evaluación del uso de fibra sintética como refuerzo del shotcrete en las labores de sostenimiento en la Unidad Minera Animon. La investigación se enfoca en analizar cómo esta tecnología puede influir en la eficiencia operativa y en la reducción de costos, lo cual es crucial para la sostenibilidad económica de las operaciones

mineras. Se presentará el diseño experimental utilizado, incluyendo la selección de las muestras, las condiciones controladas bajo las cuales se realizaron las pruebas, y los instrumentos de medición empleados para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados.

Asimismo, se explicará el procedimiento seguido para comparar el rendimiento del shotcrete reforzado con fibra sintética frente al shotcrete convencional, evaluando parámetros como la resistencia, durabilidad y tiempo de aplicación. Se incluirán los criterios utilizados para la selección de los frentes de trabajo en los cuales se implementó la nueva tecnología, así como los métodos de monitoreo y control de calidad adoptados durante la ejecución de las pruebas.

Finalmente, se presentará un análisis exhaustivo de los datos obtenidos, utilizando técnicas estadísticas para validar la significancia de los resultados. Este análisis permitirá determinar si la implementación de fibra sintética en el shotcrete ofrece ventajas tangibles en términos de reducción de costos, y si estas mejoras son suficientes para justificar su adopción generalizada en la Unidad Minera Animon. Con base en los resultados, se discutirá la viabilidad de esta tecnología y se ofrecerán recomendaciones para su aplicación futura, considerando tanto los aspectos técnicos como los económicos y operativos.

#### **4.1.DESCRIPCIÓN DE LAS LABORES EN ESTUDIO**

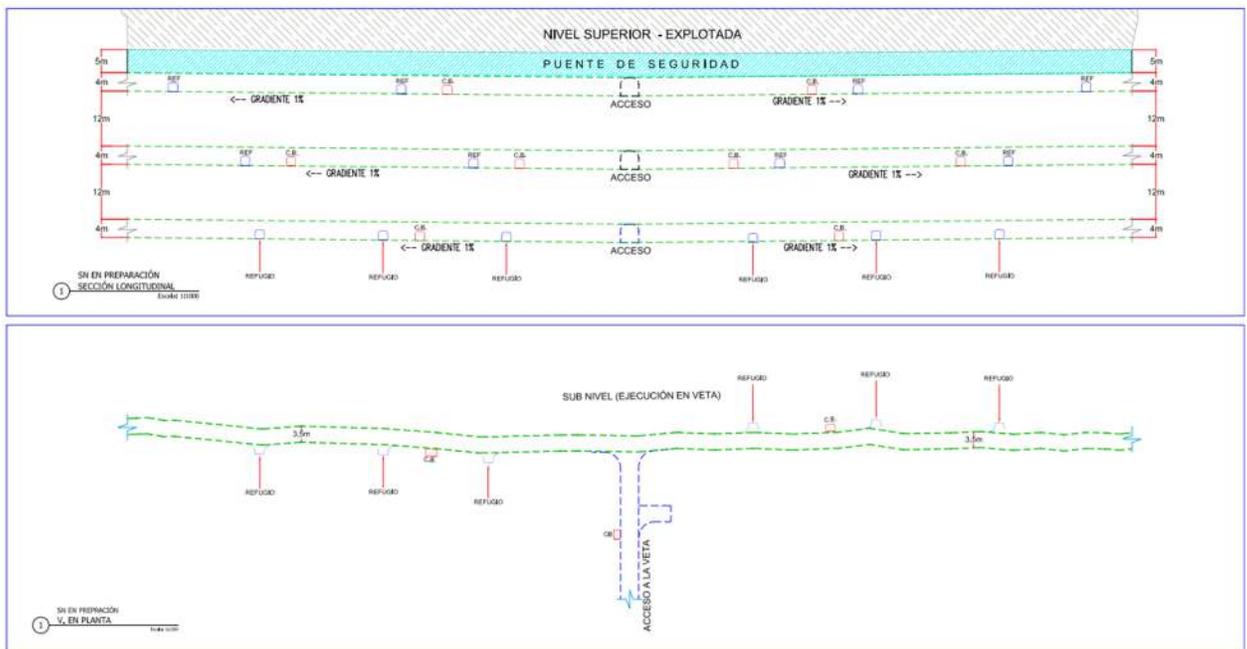
En esta sección, se procederá a describir en detalle las diferentes labores mineras que forman parte del estudio realizado en la Unidad Minera Animon. La correcta comprensión de estas labores es esencial para contextualizar la investigación y evaluar de manera precisa el impacto del uso de fibra sintética como refuerzo del shotcrete. Cada tipo de labor minera ya sea de preparación, desarrollo o explotación, presenta características particulares que influyen en la elección y efectividad de las técnicas de sostenimiento aplicadas. Además, se analizarán las características geomecánicas del macizo rocoso, un factor determinante en la selección del tipo de shotcrete a

utilizar, ya que las condiciones del macizo rocoso afectan directamente la estabilidad de las labores y, por ende, los costos asociados al sostenimiento.

#### 4.1.1. LABORES DE PREPARACIÓN

Para iniciar la explotación en un tajeo, se llevan a cabo diversas labores preparatorias esenciales. Estas incluyen la construcción de subniveles (SN) con dimensiones de 3.5 metros de ancho por 4.0 metros de alto, pivots (PV) con dimensiones de 3.8 metros de ancho por 4.0 metros de alto y accesos de 3.8x4.0 de sección. Estas labores son claves para garantizar un acceso seguro y eficiente a las áreas de producción.

**Figura 5: Labores de preparación**



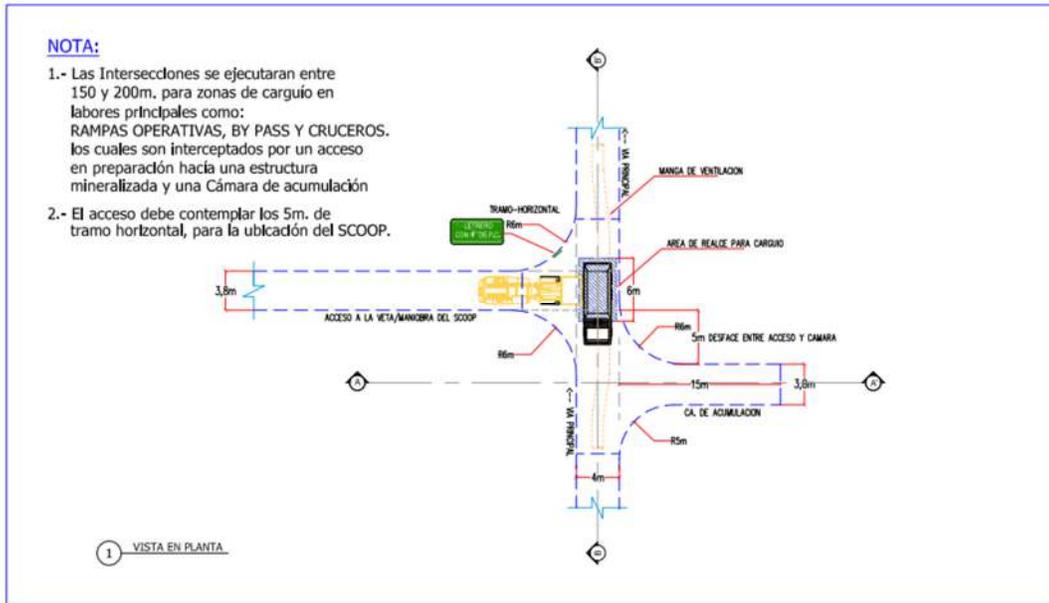
Fuente: Área Planeamiento

#### 4.1.2. LABORES DE DESARROLLO

Las labores de desarrollo comprenden estructuras como rampas (RP) con dimensiones de 4.0 metros de ancho por 4.0 metros de alto y cámaras (CA) con dimensiones de 4.0 metros de ancho por 4.0 metros de alto, las cuales se construyen para conectar y preparar los frentes de

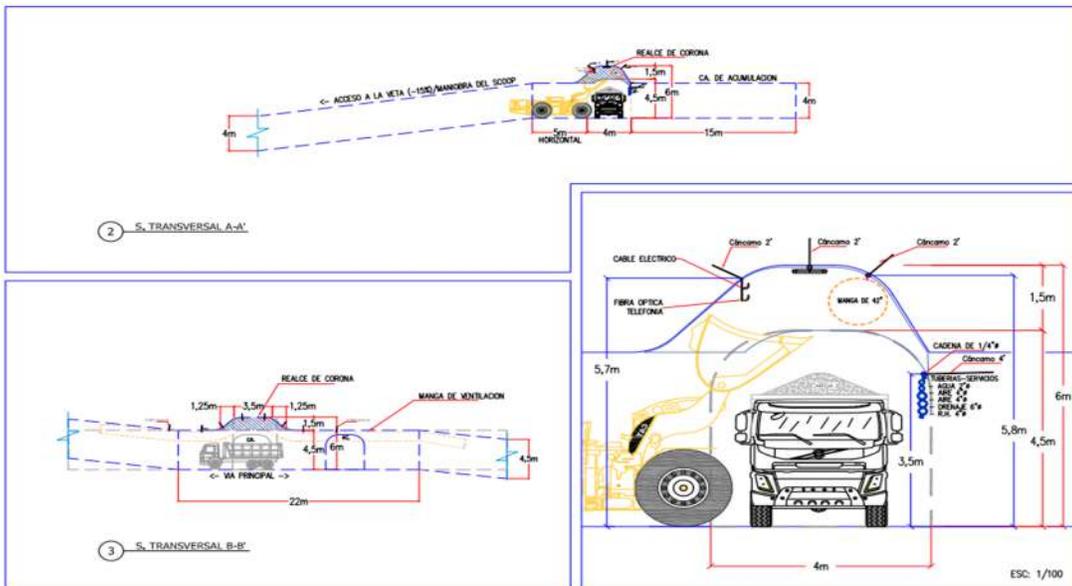
trabajo. Estas estructuras están diseñadas para soportar el tránsito continuo de equipos y personal, asegurando la operatividad en la mina.

**Figura 6: Zona de carguío – rampas – By pass – Cruceros Vista planta**



Fuente: Área Planeamiento

**Figura 7: Zona de carguío – rampas – By pass – Cruceros vista transversal**



Fuente: Área Planeamiento

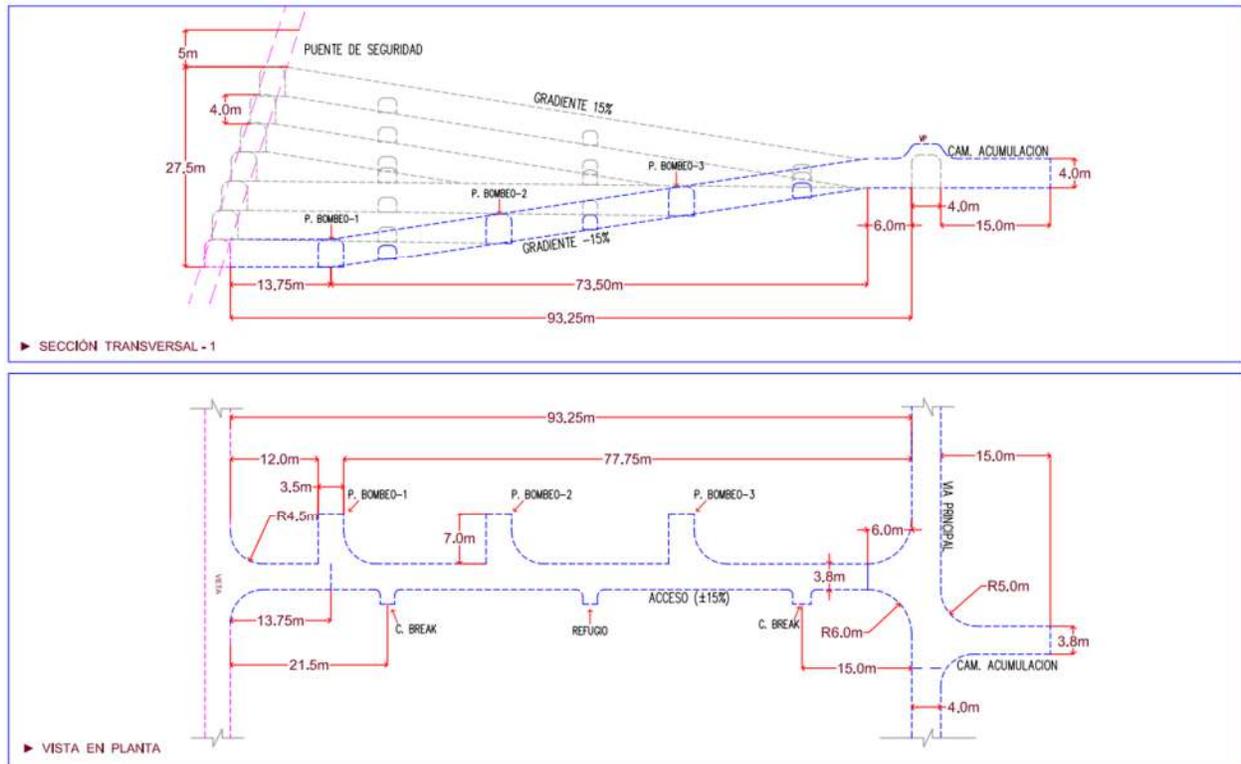
### ***4.1.3. LABORES DE EXPLOTACIÓN***

La explotación es la fase en la que se extrae el mineral del yacimiento, y es el núcleo de la operación minera. En esta subsección, se presentará una descripción detallada de las labores de explotación en la Unidad Minera Animon, incluyendo los métodos de extracción utilizados y las condiciones específicas que deben enfrentarse. La selección del sostenimiento adecuado en las labores de explotación es crítica para garantizar la seguridad de los trabajadores y la eficiencia en la extracción del mineral. Aquí se analizará cómo el shotcrete convencional y el shotcrete reforzado con fibra sintética se comportan en las condiciones exigentes de la explotación, evaluando su capacidad para mantener la estabilidad de las cámaras y pilares, y su impacto en la velocidad y costo de las operaciones.

El proceso de perforación horizontal, se desarrollan las cámaras de producción (Tj) con dimensiones de 3.5 metros de ancho por 4.0 metros de alto. Estas cámaras se diseñan para permitir la extracción eficiente del mineral, optimizando tanto los tiempos de operación como la seguridad del personal. En este método, se emplean explosivos de baja densidad para llevar a cabo las voladuras, y posteriormente, se utilizan scoops con una capacidad de 4 y 6 yardas cúbicas para el acarreo del material. El material resultante de la voladura es gestionado mediante relleno dendrítico y/o hidráulico, según el diseño del método de explotación establecido.

El diseño del método de explotación incluye una planificación detallada de la secuencia para acceder a la veta, así como la secuencia de las operaciones unitarias necesarias para llevar a cabo la explotación efectiva. Esta planificación y secuenciación se basan en los estándares y procedimientos establecidos por la Unidad Minera.

**Figura 8: Secuencia de las operaciones unitarias**



Fuente: Área Planeamiento

## 4.2. CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO

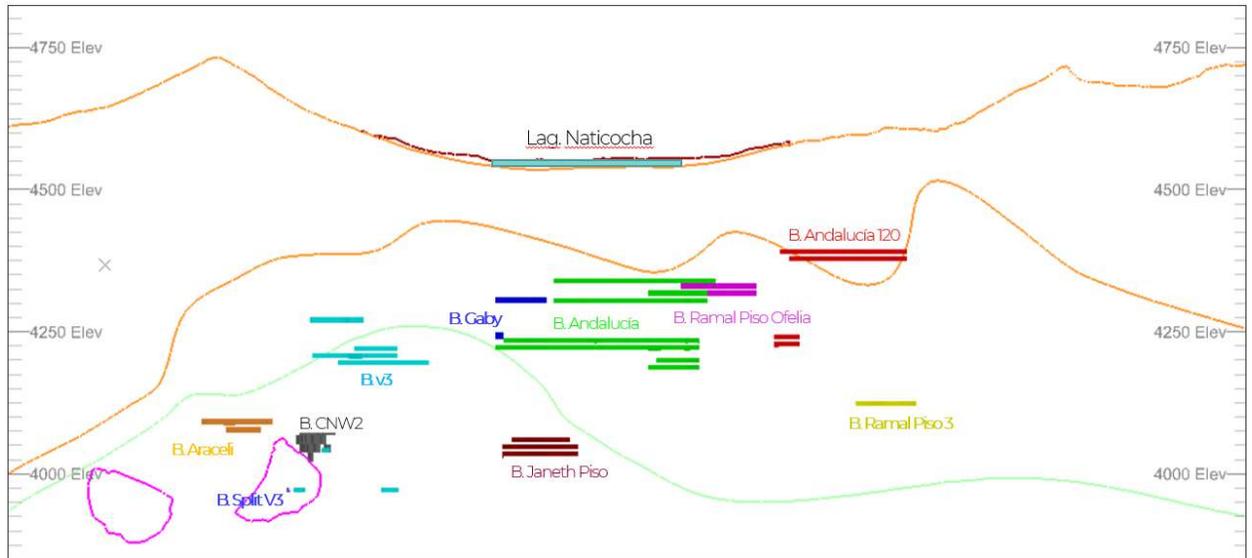
El comportamiento del macizo rocoso es un factor determinante en la selección de las técnicas de sostenimiento en minería subterránea. En esta subsección, se abordarán las características geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Animon, con el fin de comprender las exigencias que impone sobre el sostenimiento. Se describirán las propiedades físicas y mecánicas de la roca, incluyendo su resistencia, fracturamiento y alteración, y cómo estos factores influyen en la estabilidad de las excavaciones. Este análisis geomecánico servirá como base para justificar la selección del tipo de shotcrete utilizado y su dosificación, considerando las condiciones específicas del terreno.

Compañía Minera Chungar S.A.C., una subsidiaria de Volcan Compañía Minera S.A.A., es una entidad minera especializada en la extracción y procesamiento de minerales polimetálicos, que incluyen zinc, plata, plomo y cobre. Su operación se encuentra situada a una altitud de 4,600 metros sobre el nivel del mar en el departamento de Pasco, a 219 kilómetros al este de Lima. La compañía gestiona dos minas subterráneas, Animón e Islay, así como una Planta de Beneficio con una capacidad diaria de 5,500 toneladas métricas y un Depósito de Relaves con autorización de funcionamiento hasta una cota de 4,618 metros sobre el nivel del mar.

La estructura de Gestión Geomecánica proporciona una guía exhaustiva que abarca la información esencial, metodologías, herramientas de gestión administrativa y de seguridad, protocolos, formatos y guías que deben aplicarse desde la fase de planificación, a lo largo de la operación y hasta el cierre de la mina. Este enfoque tiene como objetivo prevenir resultados inseguros asociados con una gestión inadecuada del terreno, que podría llevar a incidentes como caídas de roca, derrumbes, subsidencias, colapsos en las excavaciones e inestabilidad geotécnica de las infraestructuras. Tales problemas no solo representan riesgos para la seguridad de los trabajadores, con posibles lesiones o incluso fatalidades, sino que también pueden impactar negativamente en la viabilidad económica de las operaciones. Entre las consecuencias económicas adversas se incluyen cambios significativos en los índices de producción, sobrecostos, dilución y, en el peor de los casos, el cierre de las operaciones mineras.

La evaluación geomecánica se centra en la creación de un modelo geotécnico detallado. La descripción de las características generales de cada componente del modelo se resume de la siguiente manera.

**Figura 9: Vista longitudinal mostrando la ubicación de las zonas de minado para el año 2024.**



Fuente: Área Planeamiento

Nota: Ubicación de las zonas de minado ubicado en el estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animón

#### 4.2.1.1. UNIDADES GEOTÉCNICAS

Para establecer las unidades geotécnicas en la Unidad Minera Animón, se aplican criterios específicos que se fundamentan en la caracterización tanto de la roca intacta como del macizo rocoso en su totalidad. La evaluación del macizo rocoso se basa en dos principales fuentes de información:

- Mapeo Geomecánico: Este se realiza en la masa rocosa expuesta en las excavaciones subterráneas. La frecuencia de este mapeo sigue los lineamientos establecidos en el protocolo de inspecciones geomecánicas ESO-VOL-GMC-COP-002.

- Logueo Geotécnico: Se lleva a cabo en testigos de roca obtenidos mediante sondajes diamantinos. La frecuencia del logueo geotécnico está regida por el procedimiento detallado en el documento PETS-CH-GMC-02-23, realizándose diariamente conforme a los taladros efectuados en el transcurso del día.

**Tabla 2: Requerimientos de información geotécnica.**

Modelo Macizo Rocoso	Requerimiento
Estimación de propiedades elásticas y resistentes de roca intacta	Ejecutar al menos 6 ensayos geotécnicos válidos UCS y 8 ensayos triaxiales para estimar propiedades elásticas y resistentes de cada unidad geotécnica definida.
Estimación de propiedades resistentes de las estructuras menores y mayores (fallas)	Según la caracterización geotécnica de los rellenos de falla típicos, ejecutar al menos 3 ensayos geotécnicos para estimar resistencia y deformación de los rellenos de falla que representan el comportamiento de este tipo de estructura dentro del área completa de minado o conforme sea definido en terreno.
Estimación de propiedades elásticas y resistentes de zonas de fallas que limitan zonas mineralizadas de los cuerpos mineralizados	Según la caracterización geotécnica representativa de los materiales que constituyen la zona de falla que rodea al cuerpo mineralizado, ejecutar al menos 5 ensayos geotécnicos para estimar resistencia y deformación de manera que representen adecuadamente el comportamiento dentro del área completa de minado o conforme sea definido en terreno.
Estimación de las propiedades resistentes y calificación del macizo rocoso	Actualización de Logueo geotécnico de sondajes geológicos y geotécnicos según clasificaciones de RMR y Barton asignadas según unidades geotécnicas definidas y según el mapeo de labores subterráneas disponibles.

Fuente: Área Geomecánica

Esta actividad se encuentra alineada con las directrices establecidas en la guía básica de geomecánica. A continuación, se detallan los parámetros de entrada utilizados para la construcción del modelo geotécnico en cada unidad geotécnica identificada:

Logueo Geotécnico: Durante los años 2023 y 2024, se llevó a cabo el logueo geotécnico en diversas vetas siguiendo un programa mensual establecido. Este logueo se realizó en zonas de interés específicas para la recolección de datos geomecánicos, los cuales sirven como insumo para los análisis geomecánicos posteriores relacionados con la estabilidad de las excavaciones.

**Tabla 3: Resumen del Logueo Geotécnico – 2023.**

Vetas	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Metro Logueo
C. Deby									427.7	427.7
C. Janeth			457							457
C. Juliana									85.2	85.2
C. NW Carmen		217.7								217.7
V. Andalucía	1486.6	785.4	458.4	662.7	989.05	1520.1	945.6			6847.85
V. Andalucía							25	297.8		322.8
V. Andalucía 120	89.6		899	1419.9	574.7		1400.1	276		4659.3
V. Andalucía 120		168.6								168.6
V. Andalucía 120 Techo		63.5								63.5
V. Andalucía V3			316.1							316.1
V. Aracely					362.3	654.1	239.9	138.8	144.6	1539.7
V. Cometa								178.8	202.9	381.7
V. Elva Piso									179.4	179.4
V. Gaby	456	670.6	123.2					723.8	402.8	2376.4
V. Janeth								814.8	704	1518.8
V. Juliana								218.7		218.7
V. Milagros					551	1123.55	867.75	715.9	367.2	3625.4
V. Principal		582.7	285.2	140.9						1008.8
V. Ramal Piso 3 Principal	120.8	135.3	429	596.5	88.5					1370.1
V. Ramal Piso Gisela						603.3				603.3
V. Ramal Piso Ofelia				136.2	758.4	584.6				1479.2
V. Ramal Piso Principal					240.5	485.1				725.6
Total Metro Logueo	2153	2623.8	2967.9	2956.2	3564.45	4970.75	3478.35	3364.6	2513.8	28592.85

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resumen del Logueo Geotécnico en el estudio geomecanico de la mina Unidad

Minera Animon

**Tabla 4: Resumen del Logueo Geotécnico – 2023.**

Vetas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Metro Logueo
C. Claudia			518.4	85.2								603.6
C. Deby	102.4						449.9	215.2	386			1153.5
C. Elva Piso											176.8	176.8
C. San Pedro							385.5	525.4	709.15	525.35		2145.4
Extension S V 3							130.5	217.7	83			431.2
Geofono										102.7	87.75	190.45
V. 3					253	624.8	21.1					898.9
V. Andalucía			840.4	1062.85	639.05	1491.6	2592.2	1932.6	1010.2	1128.7	1321.5	12019.1
V. Andalucía		65.1										65.1
V. Andalucía 120			1119.2	433.3	225.8	1028.1	765.7	1071.9	473.35	231	181.3	5529.65
V. Andalucía 120 Techo									539.55	773.1	78.2	1390.85
V. Andalucía Este	525	346.5			637.5							1509
V. Aracely	170.9		292									462.9
V. Carmen								82	518.6	322.5	79.7	1002.8
V. Catalaya				160.4	78.2	62.3						300.9
V. Cometa	204.4	278.3	367.9	144.9	183.6							1179.1
V. Elva Piso	151.1											151.1
V. Extension Split V3									222.5	227.2		449.7
V. Filomena				15.7	438	215.6						669.3
V. Gaby		584.1	580	525.3	329.9	460.2						2479.5
V. Grecia							390.8	343.3				734.1
V. Janeth	453.7	595.8	71.9									1121.4
V. Janeth Piso				845.4	629.2	682	115.8					2272.4
V. Jesica									392.62	500.53		893.15
V. Jesica 2										76.7		76.7
V. Karina 1										447.55	490.65	938.2
V. Karina 1 W											200.6	200.6
V. Lorena										179.4	234.9	414.3
V. Lourdes								110.9				110.9
V. Milagros						203.1			551.45	648.35	218.7	1621.6
V. Nancy			106.1									106.1
V. Ofelia								624.6	1048.77	683.03	709.6	3066
V. Principal	206.3	749.6	395.5							544.2	891.2	2786.8
V. R. Techo Lorena											403.9	403.9
V. Ramal 85										250.1		250.1
V. Ramal Claudia								309				309
V. Ramal Piso 3 Principal				308.6	576.4	1247.4	336.4			608.95	380.8	3458.55
V. Split 225 Principal						151.2	325	454.1				930.3
V. Split Janeth Piso										322.2		322.2
V. Split V3						158.4	396.1	615.3	386.4			1556.2
V. Vanina			81	22.5	317.8							340.3
V. Yenny				263.7								344.7
Total Metro Logueo	1813.8	2619.4	4372.4	3867.85	4308.45	6121.6	6112.1	6502	6321.59	7571.56	5455.6	55066.35

Fuente: Área Geomecánica

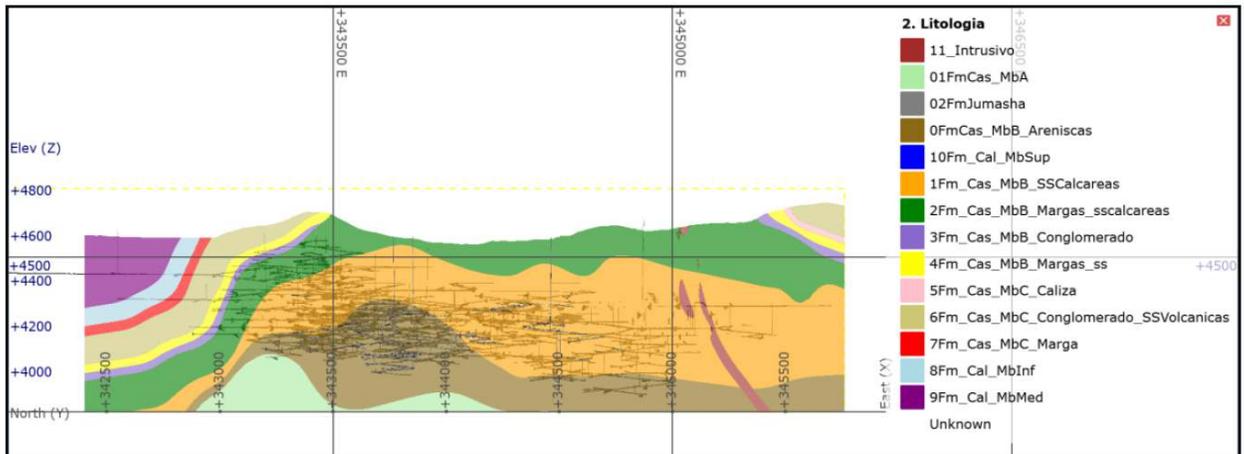
Nota: Resumen del Logueo Geotécnico en el estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

**Caracterización Litológica:** La geología de la zona está predominantemente compuesta por rocas sedimentarias, con una menor proporción de rocas volcánicas, pertenecientes a los Miembros B y C de la Formación Casapalca. En el Miembro B, también conocido como Cacuan, se identifican tres niveles geológicos:

- El nivel inferior está formado por intercalaciones de limo y arcillitas calcáreas con areniscas rojizas, con espesores que varían entre 600 y 700 metros.
- El nivel medio, con un espesor de entre 25 y 60 metros, está compuesto por conglomerados polimetálicos, clastos en una matriz de arenisca calcárea.
- El nivel superior se caracteriza por areniscas con algunas limolitas calcáreas rojizas, con espesores variables.

El Miembro C, o Shuco, se encuentra en discordancia angular con el Miembro B y está constituido principalmente por rocas sedimentarias, con algunas capas volcánicas. La base del Miembro C presenta calizas grises con nódulos de chert, que hacia el oeste se transforman en facies de areniscas calcáreas, con espesores aproximados de 30 metros. Esta unidad muestra una fuerte silicificación en algunos sectores debido a la presencia de estructuras mineralizadas. En la parte media, con espesores que oscilan entre 200 y 240 metros, predominan las areniscas con intercalaciones de conglomerados y limolitas con clastos volcánicos, así como tobas de lapilli y cenizas dacíticas. En la parte superior del Miembro C, se encuentra un nivel de margas rojizas con un espesor aproximado de 30 metros (UM Chungar, s.f.).

**Figura 10: Modelo Litológico de la Unidad Minera Animón.**

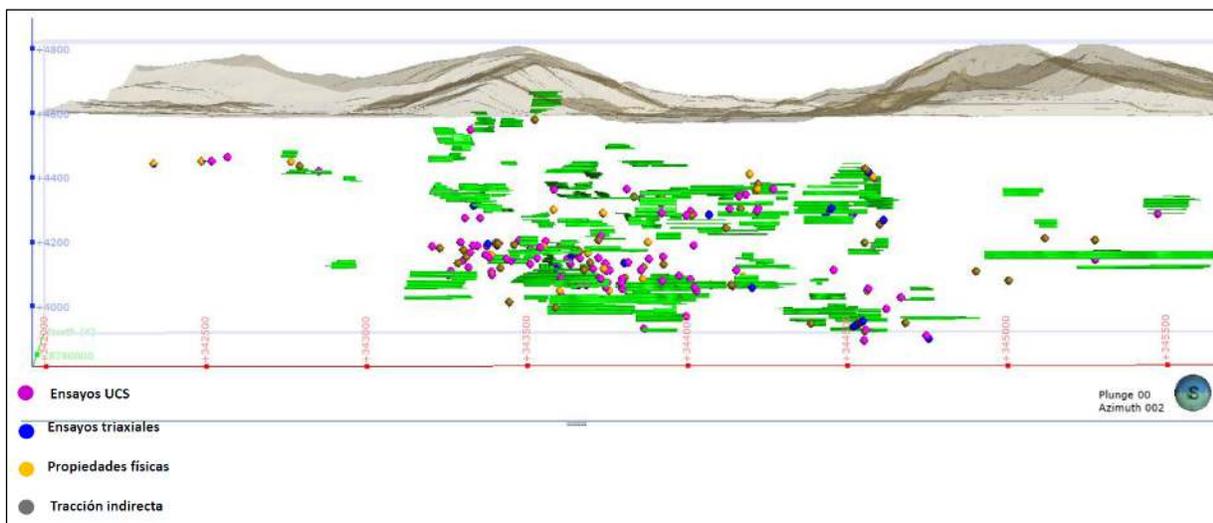


Fuente: Área Geomecánica

Nota: Modelo Litológico en el estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

Propiedades de la Roca Intacta y del Macizo Rocoso: Los ensayos realizados incluyen pruebas de carga puntual, compresión uniaxial, compresión triaxial, tracción indirecta, constantes elásticas y propiedades físicas. Los resultados de estos ensayos, correspondientes a la última campaña, con un resumen presentado en las tablas correspondientes.

**Figura 11: Sección E-W: Distribución de Ensayos de Laboratorio.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Distribución de ensayos de laboratorio en el estudio geomecanico de la mina Unidad

Minera Animon

**Tabla 5: Resumen de Ensayos de Laboratorio.**

	ARN	ARN_CLZ	ARN_SIL	CLZ	HRF	MIN	MRG	MRG_B	MRG_F	MRG_I	VLC_CLTO	Total
GEOMEC					41	11	7	38	38			135
CD					15			12	12			39
CE					3	3	1	3	3			13
PF					3			3	3			9
TI					6			6	6			18
TX					8	2	1	8	8			27
UCS					6	6	5	6	6			29
INGEOTEST	122	3	19	5	0	1	7	17	36	1	4	223
PF	36		3	2				3	12		2	15
TI	23		8				4	4	7			15
TX	13	1	1	1				1	3		1	4
UCS	50	2	7	2		1	3	9	14	1	1	27
UNI						20		20	19			59
CD						5		5	5			15
CE						1		1	1			3
CP						6		6	6			18
PF						3		3	3			9
TI						3		3	3			9
TX						1		1				2
UCS						1		1	1			3
<b>Total</b>	<b>122</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>41</b>	<b>32</b>		<b>75</b>	<b>93</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>255</b>

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resumen de ensayos en el estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

**Tabla 6: Resumen de Ensayos de Laboratorio – UCS.**

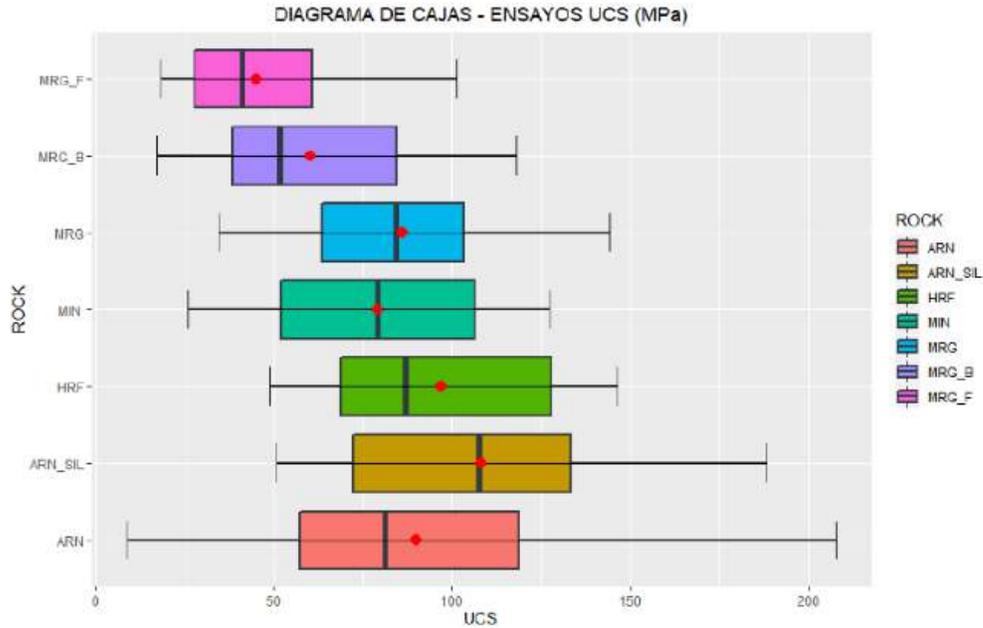
Litología	Cantidad ensayos	Promedio UCS	Mínimo UCS	Máximo UCS	SD UCS
ARN	49	92	27	208	47
ARN_CAL	2	86	56	115	42
ARN_SIL	7	108	51	188	49
CLZ	2	117	107	127	14
HRF	6	113	61	146	34
MIN	9	85	26	127	38
MRG	8	89	34	144	35
MRG_B	16	65	27	118	28
MRG_F	24	48	24	101	22
MRG_I	1	123	123	123	—
VLC_CLTO	1	52	52	52	—
<b>Total</b>	<b>125</b>	<b>81</b>	<b>24</b>	<b>208</b>	<b>42</b>

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resumen de ensayos de laboratorio – UCS en el estudio geomecanico de la mina

Unidad Minera Animon

**Figura 12: Diagrama de cajas – ensayos ucs (mpa)**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Diagrama de caja de ensayos en el estudio geomecanico de la mina Unidad Minera

Animon

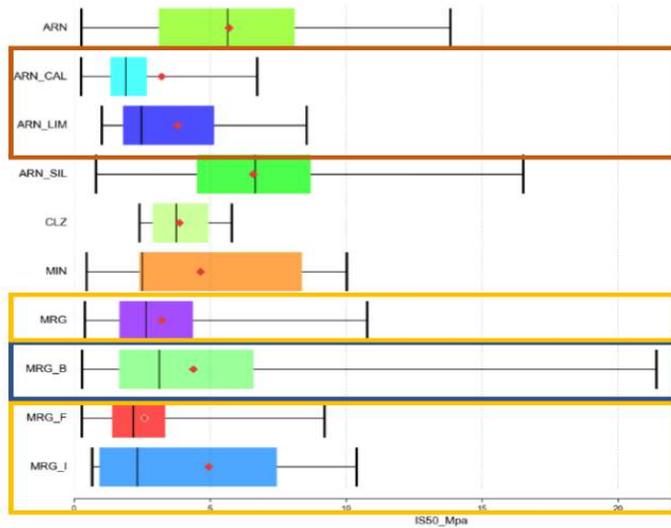
**Tabla 7: Resultado PLT – Is 50 – Rotura Combinada y Matriz.**

Litología	Rock_Cod	Cantidad Datos	MínimoMpa	MáximoMpa	PromedioMpa	SDMpa
Arenisca	ARN	674	0.26	13.84	5.7	3
Arenisca Calcárea	ARN_CAL	26	0.25	26.78	3.22	5.1
Arenisca limolitas	ARN_LIM	5	1.02	8.55	3.8	3.1
Arenisca Silíceas	ARN_SIL	115	0.8	16.52	6.59	3
Caliza	CLZ	9	2.4	5.8	3.87	1.2
Tramo mineralizado	MIN	9	0.46	10.03	4.65	3.5
Marga	MRG	76	0.39	10.77	3.22	2.1
Marga bituminosa	MRG_B	124	0.29	24.31	4.39	3.7
Marga ferruginosa	MRG_F	180	0.28	11.52	2.59	1.7
Marga indiferenciada	MRG_I	8	0.66	10.39	4.94	4.1
Total		1226				

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados PLT en el estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

**Figura 13: Diagrama de cajas – Rotura Combinada**

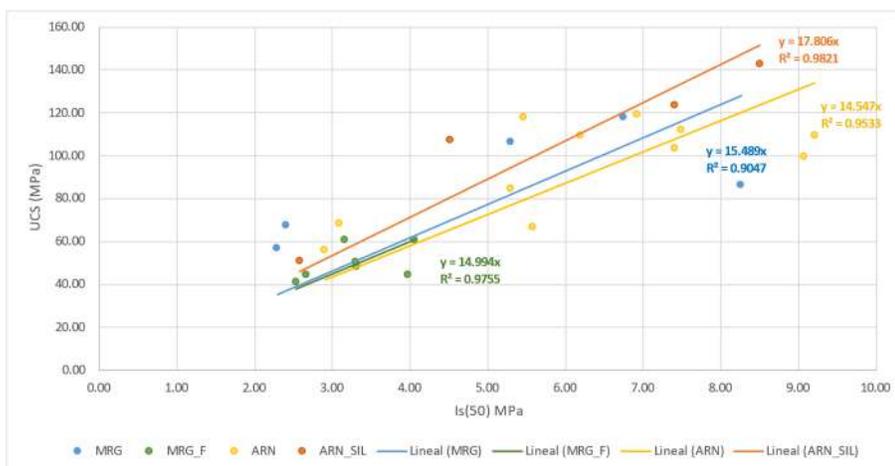


Fuente: Área Geomecánica

Nota: Diagrama de caja rotura combinada como parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

Los resultados reflejados en la Tabla corresponden a ensayos de roturas combinadas de la matriz de roca y microfractura.

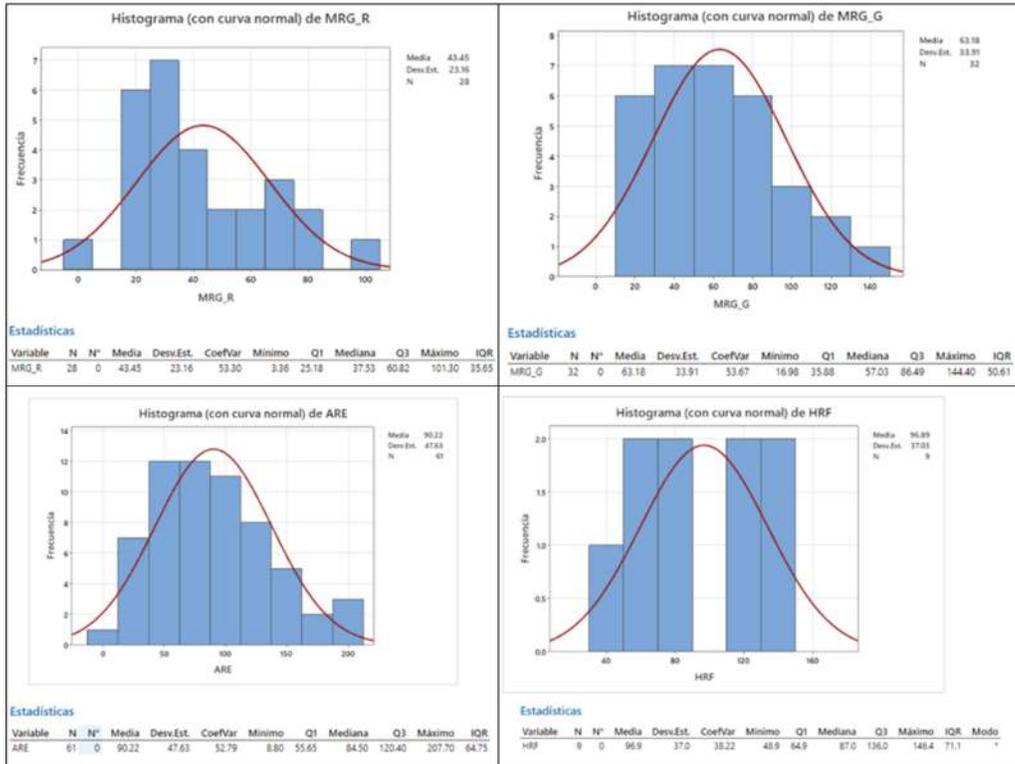
**Figura 14: Relación Is(50) y UCS por Unidad Geotécnica.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Relación Is como parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

**Figura 15: Resistencia de Roca Intacta (Ensayos de Laboratorio).**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resistencia de la roca intacta como parte del estudio geomecánico de la mina Unidad

Minera Animon

**Tabla 8: Resumen de Resistencia de Roca Intacta (Ensayos de Laboratorio).**

Modelo Litológico	Mín. de UCS (MPa)	Promedio de UCS (MPa)	Máx. de UCS (MPa)
<b>UG-1</b>	<b>18</b>	<b>45</b>	<b>136</b>
CP	25	36	46
CP LEJANA	18	49	136
CT	18	25	33
CT LEJANA	23	43	83
V	65	65	65
<b>UG-2</b>	<b>14</b>	<b>50</b>	<b>184</b>
CP	17	27	41
CP LEJANA	14	55	184
CT	24	42	98
CT LEJANA	14	50	153
<b>UG-3</b>	<b>15</b>	<b>83</b>	<b>388</b>
CP	26	64	145
CP LEJANA	15	80	388
CT	17	61	114
CT LEJANA	15	88	206
V	18	54	90
<b>UG-4</b>	<b>16</b>	<b>110</b>	<b>377</b>
CP	22	118	219
CP LEJANA	16	114	377
CT	76	113	138
CT LEJANA	16	105	294

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resumen de Resistencia de Roca Intacta como parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

Los ensayos de compresión triaxial, detallados en la Tabla, no solo proporcionan datos sobre la resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta, sino también sobre la constante “mi” del criterio de falla de Hoek & Brown (2002-2007), así como los parámetros de resistencia

al corte de Mohr-Coulomb, incluyendo la cohesión y el ángulo de fricción. Los ensayos de tracción indirecta se realizaron utilizando el Método Brasileño.

**Tabla 9: Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxial.**

Unidad Geotécnica	Dominio	Litología	UCS* (MPa)	mi**
UG.1-Margas	C.Techo	Marga gris	59	20
		Marga roja	39	10
UG.2-Marga - areniscas	C.Piso	Marga gris	59	22
		Marga roja	29	12
	C.Techo	Arenisca	60	25
		Marga gris	45	14
		Marga roja	56	14
	Veta	Mineral	45	26
UG.3-Areniscas	C.Piso	Marga gris	46	7
		Marga roja	44	8
	C.Techo	Marga gris	29	12
		Marga roja	47	8
UG.4-Hornfels	C.Piso	Hornfels	96	25
	C.Techo	Hornfels	110	20
	Veta	Mineral	98	38

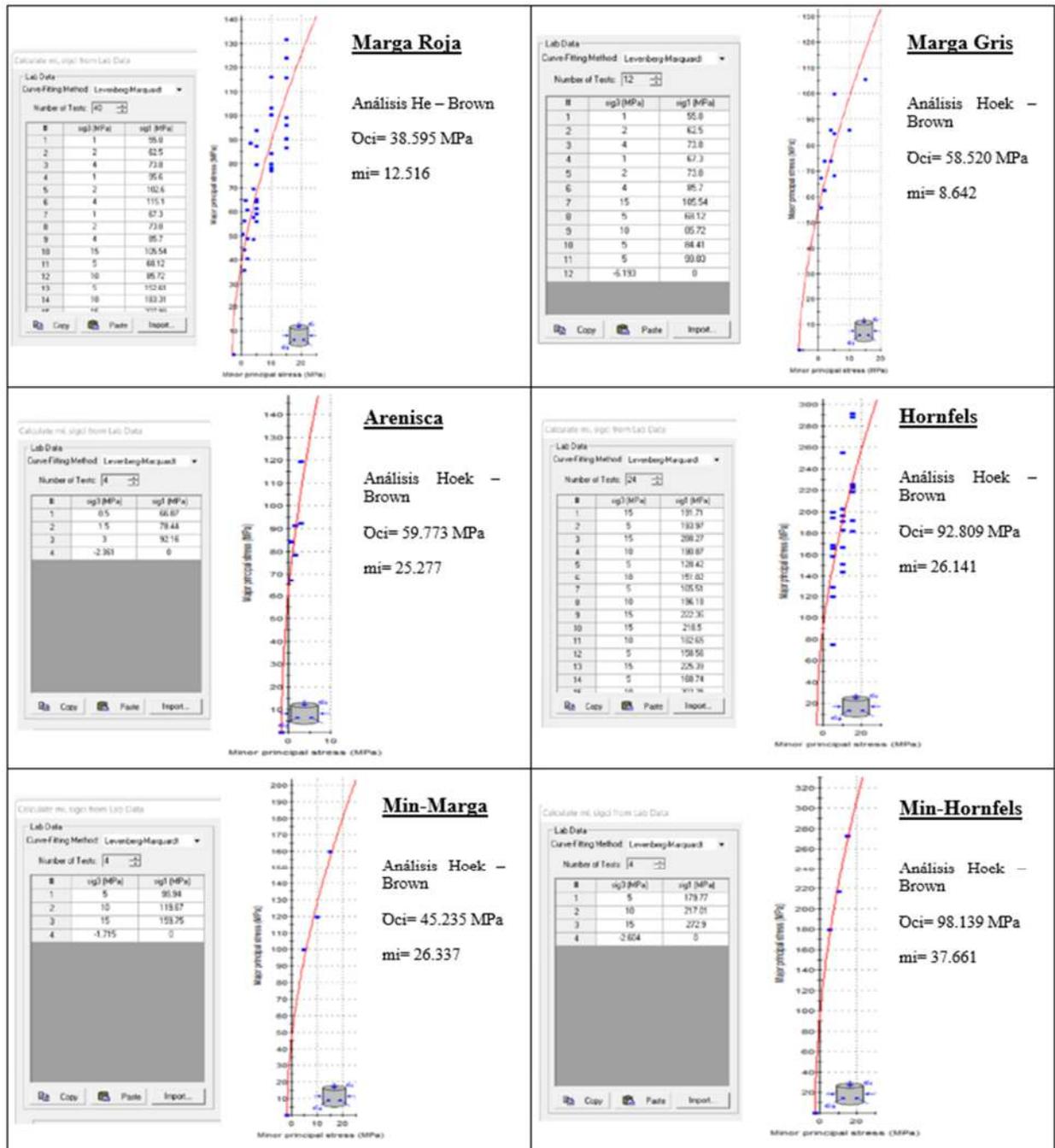
\* Resistencia a la compresión simple

\*\* Parámetro "mi" estimado a partir de ensayos triaxiales

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxial como parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon

**Figura 16: Gráfico de la curva de rotura Hoek & Brown: Análisis estadístico del módulo de Young medido mediante transductores y gauge.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Medido mediante Transductores y Gauge como parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

Finalmente, para la roca intacta, también se llevaron a cabo ensayos de constantes elásticas y de propiedades físicas.

**Tabla 10: Propiedades de la roca intacta y macizo rocoso (Determinadas bajo el criterio de rotura Hoek & Brown 2002).**

Unidad geotécnica	Dominio geotécnico	Densidad (KN/m3)	mi	UCS (MPa)	GSI	Resistencia Macizo Rocosó			Rigidez macizo rocoso	
						Hoek-Brown			E	V
						mb	s	a		
UG 1	C.Techo	27	10	39	36	0.973	0.0008	0.515	2796	0.19*
	Veta	35	10	45	33	0.914	0.0006	0.518	2521	0.18*
	C.Piso	27	10	39	36	0.973	0.0008	0.515	2796	0.19*
UG 2	C.Piso	28	12	29	46	1.751	0.0025	0.508	4302	0.11
	Veta	34	26	45	36	2.679	0.0008	0.515	3004	0.18
	C.Techo	26	14	45	51	2.45	0.0043	0.505	7092	0.19
UG 3	C.Piso	26	8	44	53	1.553	0.0054	0.505	7904	0.22
	Veta	33	26*	45*	40	3.09	0.0013	0.511	3782	0.18*
	C.Techo	28	8	47	45	1.107	0.0022	0.508	5114	0.22*
UG 4	C.Piso	28	25	96	45	3.574	0.0022	0.508	7352	0.12
	Veta	33	38	98	36	3.83	0.0008	0.515	4425	0.17
	C.Techo	28	20	110	38	2.248	0.001	0.513	5012	0.17

\* Valores estimados de las unidades geotécnicas conocidas

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Propiedades de la Roca Intacta y Macizo Rocosó parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

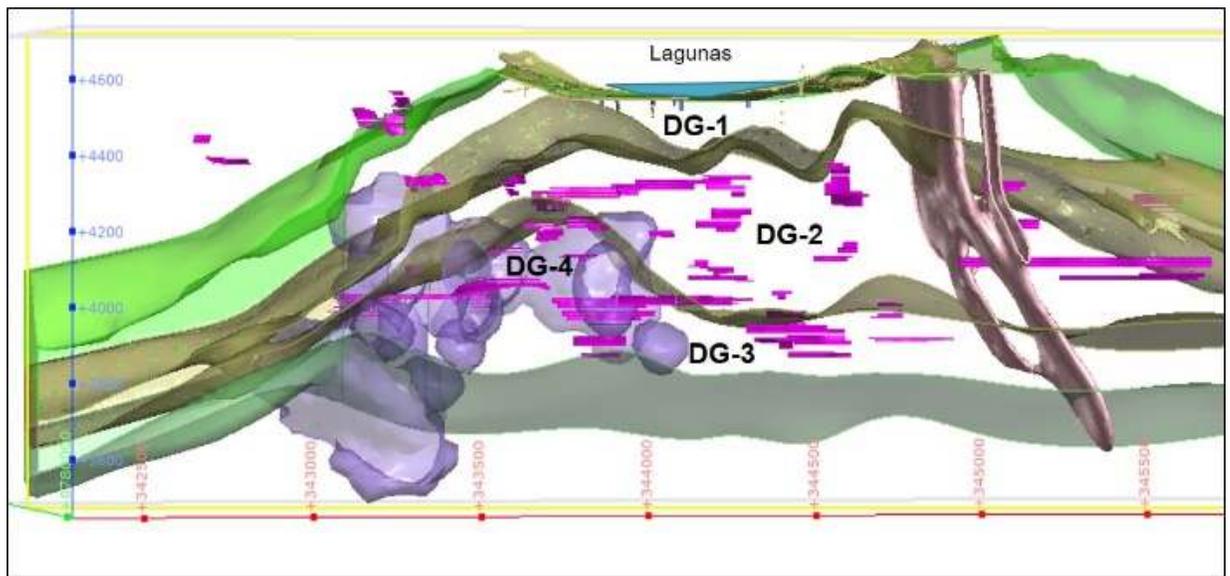
Los parámetros evaluados incluyen:

- GSI: Índice de Resistencia Geológica.
- $\sigma_{ci}$ : Resistencia Compresiva Uniaxial de la Masa Rocosá.
- g: Densidad de la Roca Intacta.
- mi: Constante de la Roca Intacta.
- mbmr: Constante de la Masa Rocosá.
- smr: Constante de la Masa Rocosá.

- Emr: Módulo de Deformación de la Masa Rocosa.
- v: Relación de Poisson de la Masa Rocosa.

Unidades Geotécnicas: Con la información recopilada a partir de mapeos geomecánicos, logueos geotécnicos y pruebas de resistencia de la roca intacta, se definieron las unidades geotécnicas.

**Figura 17: Vista en Sección longitudinal de las 4 unidades geotécnicas.**



Sección longitudinal a lo largo de las vetas mirando de **Sur a Norte**

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Vista en Sección Longitudinal de las 4 Unidades Geotécnicas parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

Se establecieron cuatro unidades geotécnicas (UG):

UG-1: Marga Calcárea.

UG-2: Marga y Arenisca.

UG-3: Areniscas.

UG-4: Hornfels.

Para cada unidad geotécnica, se presenta el porcentaje de ocurrencia en términos de calidad de roca RMR.

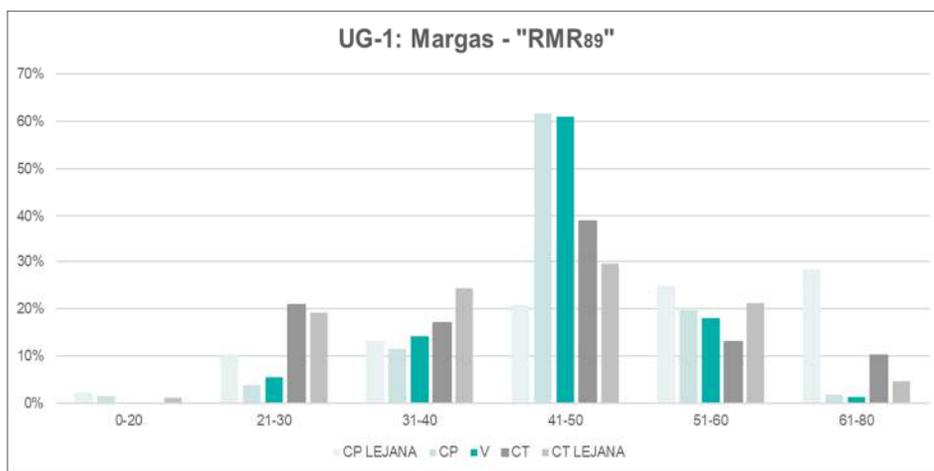
En la UG-4, que incluye Hornfels con presencia de arenisca, se observa una calidad de roca IVA-IIIB, mejorando a medida que se aleja de las estructuras mineralizadas, siendo la calidad de roca IIIB en las zonas más alejadas.

En la UG-3, la calidad de roca varía entre IVA-IIIB en las áreas más distantes, mientras que, en las zonas cercanas a las estructuras mineralizadas, la calidad puede ser IVB-IVA, dependiendo del grado de alteración.

En la UG-2, compuesta por margas ferruginosas con intercalaciones de areniscas, la calidad de roca puede variar desde IVB-IVA hasta V en áreas con alto grado de alteración

En la UG-1, que incluye margas ferruginosas y grises cerca del pilar corona, se observa una calidad de roca IVB, e incluso V, en zonas de contacto con estructuras mineralizadas, mientras que la calidad mejora a IVA en áreas más alejadas de estas estructuras.

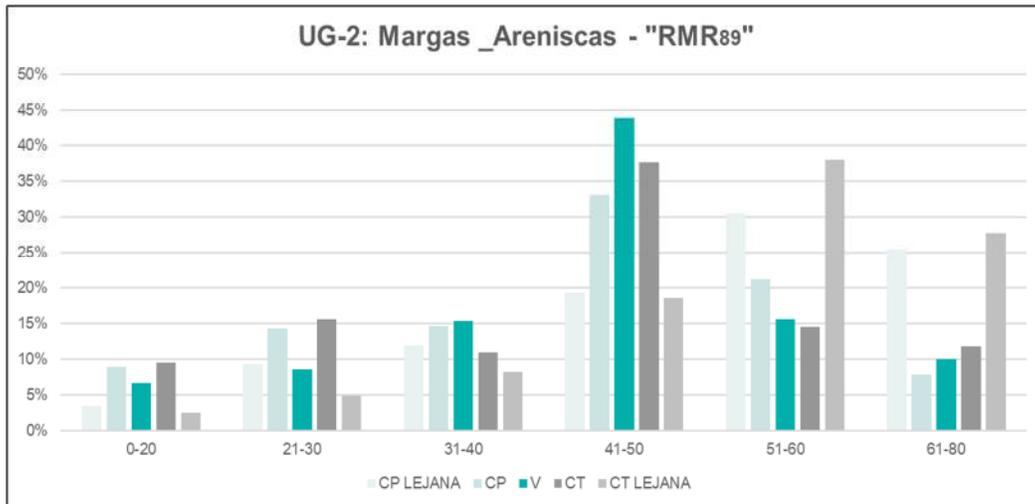
**Figura 18: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-1.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-1 parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon

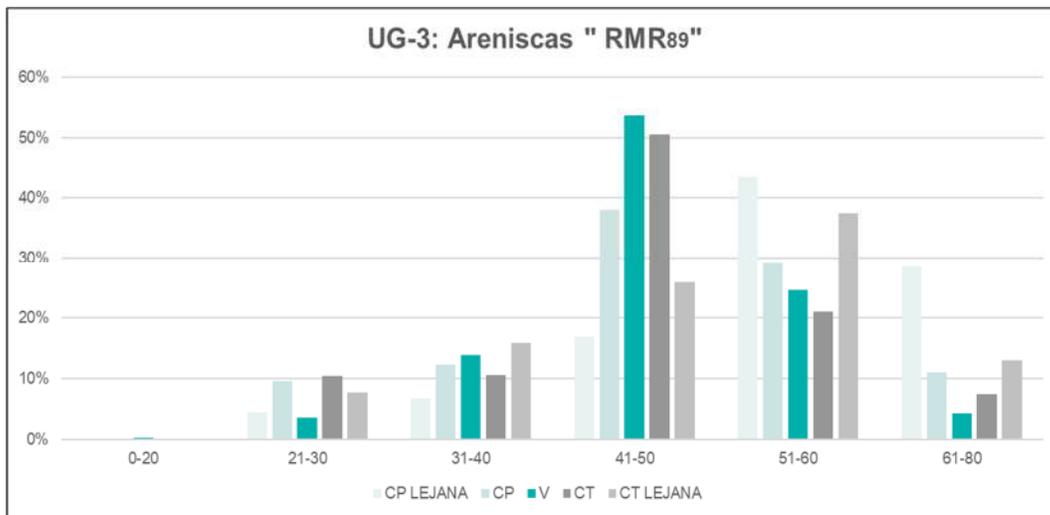
**Figura 19: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-2.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-2 parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon

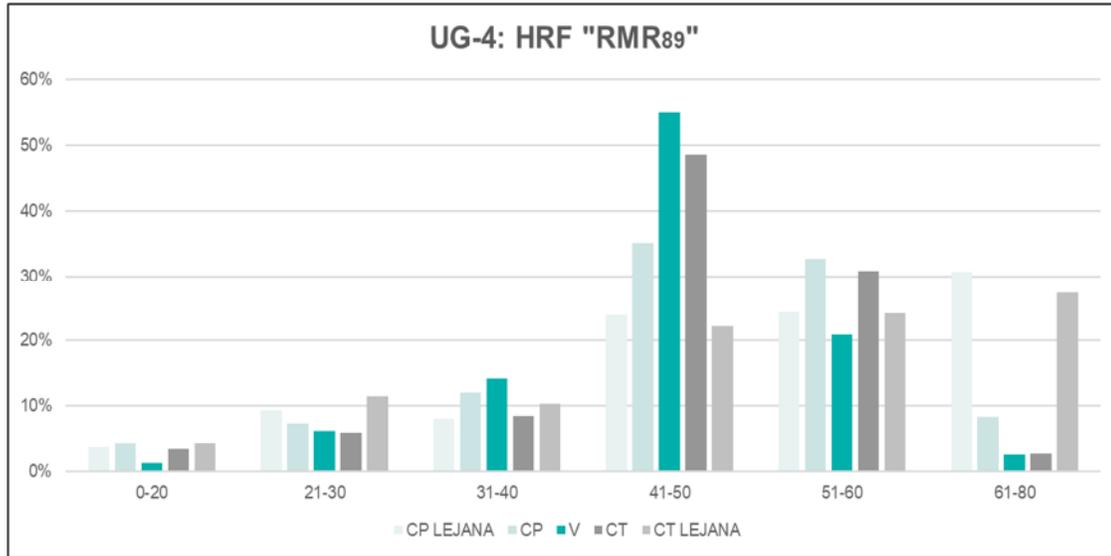
**Figura 20: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-3.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-3 parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon

**Figura 21: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-4.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: RMR de las vetas, caja piso y caja techo en la UG-4 parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon

#### 4.2.1.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO

El Índice de Calidad del Macizo Rocos (RQD, por sus siglas en inglés) es un parámetro clave en la evaluación geomecánica del terreno. En esta subsección, se presentará el cálculo del RQD para el macizo rocoso de la Unidad Minera Animon, describiendo la metodología utilizada para su obtención y los resultados obtenidos. Este índice se utiliza para clasificar la calidad del macizo rocoso y determinar la necesidad de sostenimiento en las diferentes labores mineras. Se analizará cómo el RQD influye en la elección del tipo de shotcrete y la dosificación de la fibra sintética, y se discutirán las implicaciones de estos resultados para el diseño del sostenimiento.

Sistema de Clasificación RMR: La evaluación geomecánica del macizo rocoso se lleva a cabo empleando el sistema de clasificación propuesto por Bieniawski en 1989, conocido como RMR (Rock Mass Rating) o Valoración de la Masa Rocosa. Este sistema asigna valores a la calidad

de la roca basándose en el registro de discontinuidades mediante un análisis lineal. La relación utilizada para este registro se basa en la metodología establecida por Priest & Hudson en 1986, con la frecuencia de fracturas por metro lineal como uno de los principales parámetros de entrada.

El criterio de clasificación de Bieniawski (1989), adaptado para esta evaluación específica, se presenta en el siguiente cuadro:

**Tabla 11: Criterios para la clasificación de la masa rocosa.**

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR	Color
II	> 60	Buena	
IIIA	60 - 51	Regular A	
IIIB	50 - 41	Regular B	
IVA	40 - 31	Mala A	
IVB	30 - 21	Mala B	
V	< 21	Muy Mala	

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Criterios para la Clasificación de la Masa Rocosa parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon.

Las fuentes empleadas para la clasificación de la masa rocosa en la totalidad de la zona de estudio incluyen el mapeo geomecánico de las labores subterráneas y el logueo geotécnico de los testigos rocosos obtenidos a través de sondajes diamantinos. Ambos procedimientos se realizaron como parte integral de los trabajos de campo del presente estudio.

En la Tabla se presenta un resumen detallado de la clasificación de la masa rocosa correspondiente a las vetas en análisis. A partir de las observaciones realizadas durante los trabajos de campo y el análisis en oficina, se destacan las siguientes conclusiones sobre la calidad de la masa rocosa:

a) La mayoría de las muestras de roca se clasifican predominantemente como Mala B (IVB), con una presencia menor de Mala A (IVA). Además, se identifica una calidad Regular (IIIB) y Regular A (IIIA) en menor medida.

b) Se han detectado secciones con calidad Muy Mala (V), las cuales están asociadas a condiciones específicas tales como zonas de falla o una alta presencia de agua, y tienen un alcance local.

Actualmente, esta información se está utilizando para actualizar y alimentar la zonificación RMR. Además, se continúa con la recolección de datos a través del mapeo geomecánico y el logueo geotécnico para obtener una comprensión más precisa y completa de las condiciones del macizo rocoso.

**Tabla 12: Calidad de la masa rocosa por vetas (especifica la separación ligera o inmediata/distancia límite entre diferentes secciones).**

Veta	Rango / Calidad	Caja piso lejana	Caja piso inmediata	Mineral	Caja techo inmediata	Caja techo lejana
V. Split 225 Principal	Rango RMR	25-43	27-46	36-53	27-50	27-47
	Calidad RMR	IVB-IIIB	IVB-IIIB	IVA-IIIA	IVB-IIIB	IVB-IIIB
V. Janeth	Rango RMR	16-51	16-48	16-39	18-40	17-46
	Calidad RMR	V-IIIA	V-IIIB	V-IVA	V-IVA	V-IIIB
V. Milagros	Rango RMR	17-45	18-40	18-45	18-41	17-39
	Calidad RMR	V-IIIB	V-IVA	V-IIIB	V-IIIB	V-IVA
V. Principal	Rango RMR	17-44	24-41	20-40	19-35	21-42
	Calidad RMR	V-IIIB	IVB-IIIB	V-IVA	V-IVA	IVB-IIIB
V. Ramal Piso 3 Principal	Rango RMR	20-55	25-48	20-46	25-49	21-53
	Calidad RMR	V-IIIA	IVB-IIIB	V-IIIB	IVB-IIIB	IVB-IIIA
V. Ofelia	Rango RMR	17-36	19-34	18-32	16-32	16-37
	Calidad RMR	V-IVA	V-IVA	V-IVA	V-IVA	V-IVA
V. Araceli	Rango RMR	16-48	18-51	21-47	19-47	16-49
	Calidad RMR	V-IIIB	V-IIIA	IVB-IIIB	V-IIIB	V-IIIB
V. Andalucía	Rango RMR	25-55	16-46	23-47	25-46	16-53
	Calidad RMR	IVB-IIIA	V-IIIB	IVB-IIIB	IVB-IIIB	V-IIIA
V. 3	Rango RMR	45-50	35-44	33-44	31-44	30-50
	Calidad RMR	IIIB	IVA-IIIB	IVA-IIIB	IVA-IIIB	IVB-IIIB
V. Ramal Piso Ofelia	Rango RMR	17-43	16-44	19-41	20-37	18-39
	Calidad RMR	V-IIIB	V-IIIB	V-IIIB	V-IVA	V-IVA

Fuente: Área Geomecánica

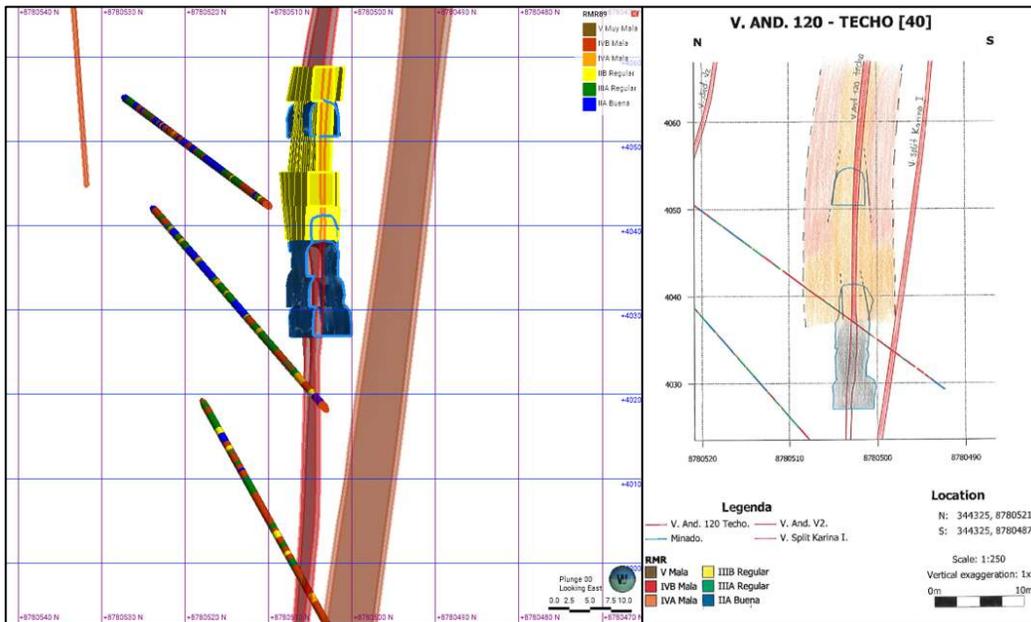
Nota: Calidad de la masa rocosa por vetas (especifica la separación ligera o inmediata/distancia límite entre diferentes secciones) parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon.

Nota: los términos "caja piso lejana" y "caja techo lejana" se refieren al macizo rocoso que se encuentra a cierta distancia de la veta, donde se observa claramente una zona intermedia de brechas o daños entre la veta y las áreas de la caja techo y caja piso. Estas zonas distantes presentan diferentes grados de potencia y evidentes signos de alteración más pronunciada. Por contraste, el término "caja piso inmediata" y "caja techo inmediata" se utiliza para describir las áreas del macizo

rocoso que están directamente adyacentes a la veta, sin la presencia de una zona de brechas significativa, y que muestran una menor alteración en comparación con las zonas lejanas.

**Figura 22: Ejemplo de clasificación RMR según logueo - Veta Andalucía 120**

**Techo.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Ejemplo de clasificación RMR según logueo - Veta Andalucía 120 Techo parte del estudio geomecanico de la mina Unidad Minera Animon.

#### 4.2.1.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GSI

El Índice de Resistencia Geológica (GSI) es una herramienta fundamental para la caracterización de macizos rocosos, evaluando la masa rocosa en función de dos criterios clave: la estructura y la condición superficial. La estructura de la masa rocosa se analiza a partir del grado de fracturamiento, que incluye la cantidad y distribución de fracturas, así como el número de familias de discontinuidades presentes. Por otro lado, la condición superficial se refiere a las

características de las discontinuidades, tales como resistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno y el grado de meteorización o alteración.

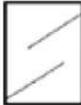
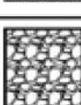
Para la evaluación de la estructura de la masa rocosa, se emplean cinco categorías:

- Masiva o Levemente Fracturada (LF)
- Moderadamente Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)
- Intensamente Fracturada (IF)
- Triturada o Brechada (T)

Mientras que, para la condición superficial, las cinco categorías son:

- Masa Rocosa Muy Buena (MB)
- Masa Rocosa Buena (B)
- Masa Rocosa Regular (R)
- Masa Rocosa Mala (M)
- Masa Rocosa Muy Mala (MM)

Figura 23: GSI (Hoek, Marinos 2000)

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es mas realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES SUPERFICIALES				
ESTRUCTURA		MUY BUENA Muy rugoso. Superficies frescas sin meteorización	BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido.	REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.	MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos	MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos
		DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE →				
	Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	90			N/A	N/A
	Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades	80	70			
	Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o mas familias de discontinuidades		60	50		
	Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad			40	30	
	Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas				20	
	Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte					10
		← DISMINUYE EL ENTRELAZADO DE PEDAZOS DE ROCA				

Fuente: Área Geomecánica

Nota: GSI (Hoek, Marinos 2000) parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera

Animon.

#### 4.2.1.4. CLASIFICACIÓN ÍNDICE Q

El Sistema Q ha sido actualizado continuamente, siendo la última versión del año 2016. Esta actualización incorpora estudios sobre el espesor, espaciamiento y refuerzo de arcos armados con concreto lanzado (RRS), en relación con la carga y calidad del macizo rocoso, así como la absorción de energía del concreto lanzado, según las Normas EFNARC. El Sistema Q proporciona una descripción de la calidad del macizo rocoso mediante la estimación de seis parámetros independientes, que se utilizan para calcular la calidad de la roca, expresada en el índice Q. La fórmula del Índice Q es:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD: Índice de Calidad de la Roca

J<sub>n</sub>: Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades

J<sub>r</sub>: Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades

J<sub>a</sub>: Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades

J<sub>w</sub>: Parámetro basado en la presencia de agua

SRF: Factor de Reducción de Esfuerzos

**Tabla 13: Interpretación del índice Q (Barton, 1974)**

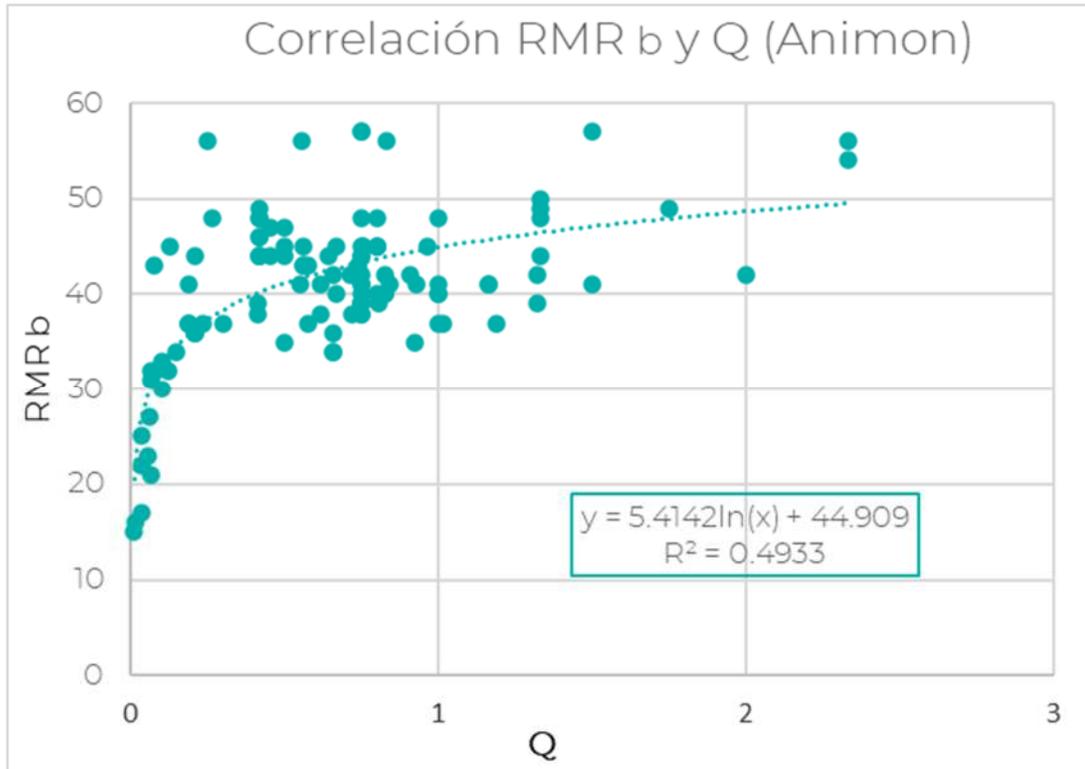
Descripción	Q
Roca excepcionalmente mala	0.001 – 0.01
Roca extremadamente mala	0.01 – 0.1
Roca muy mala	0.1 - 1
Roca mala	1 - 4
Roca regular	4 – 10
Roca buena	10 - 40
Roca muy buena	10 - 100
Roca extremadamente buena	100 - 400
Roca excepcionalmente buena	400 -1000

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Interpretación del índice Q (Barton, 1974) parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

La Tabla interpreta el índice Q, clasificando la roca en categorías que van desde "excepcionalmente mala" hasta "excepcionalmente buena", con valores de Q que varían desde 0.001 hasta 1000.

**Figura 24: Correlación RMRb (básico) y Q de Barton para mina Animón**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Correlación RMRb (básico) y Q de Barton para mina Animón parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

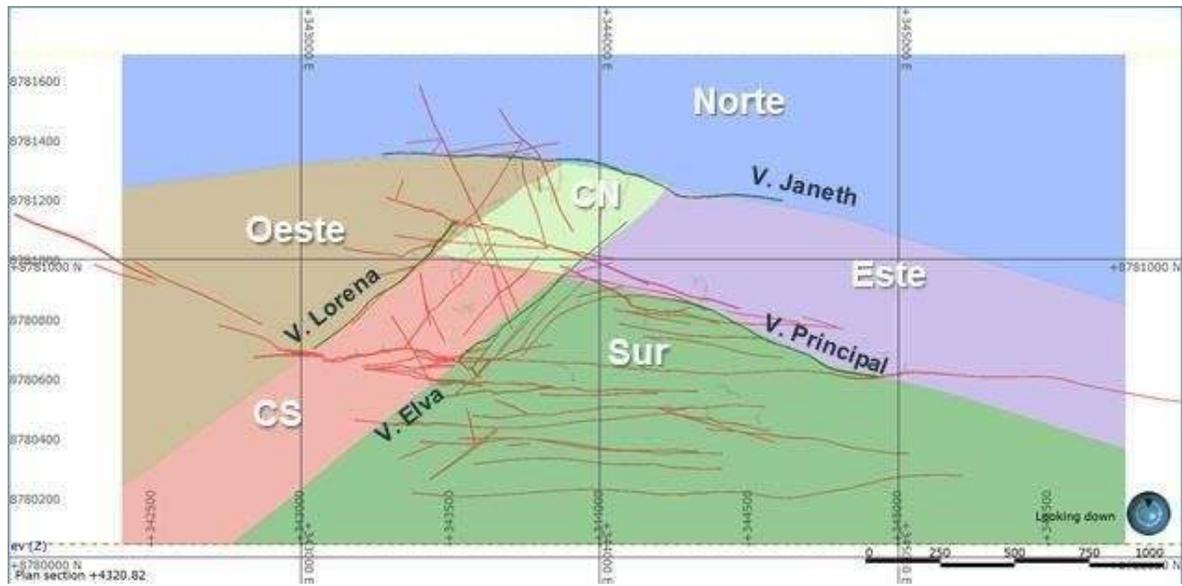
#### **4.2.1.5. DOMINIOS ESTRUCTURALES**

Los dominios estructurales se definen mediante una metodología que incluye:

- a) Identificación de Límites: Delimitación de cada dominio estructural según el modelo 3D, considerando un volumen de roca con la misma orientación en fallas principales y secundarias.
- b) Generación de Redes Estereográficas: Creación de redes estereográficas para cada dominio estructural, integrando la información de discontinuidades menores.
- c) Evaluación Litológica: Incorporación de datos litológicos en la definición de dominios estructurales.

- d) Definición de Familias: Determinación de la relevancia de las familias de discontinuidades en cada dominio, basándose en la frecuencia relativa de aparición.
- e) Análisis Estadístico: Análisis vectorial para obtener valores medios y variación de cada familia de discontinuidades.
- f) Se han identificado seis dominios estructurales en la Mina Animón, cada uno con características específicas:
1. Dominio Norte (N): Limitado al sur por la Veta Janeth, con estructuras predominantes E-W y NW-SE.
  2. Dominio Central Norte (CN): Delimitado por las vetas Janeth, Lorena, Principal y Elva, con estructuras E-W predominantes.
  3. Dominio Central Sur (CS): Limitado por las vetas Lorena y Elva, y la Veta Principal al norte, con estructuras NE-SW y NW-SE.
  4. Dominio Este (E): Limitado por Veta Janeth, Veta Elva y Veta Principal, con estructuras NW-SE predominantes.
  5. Dominio Oeste (W): Delimitado por las vetas Janeth y Lorena, con estructuras NW-SE y E-W.
  6. Dominio Sur (S): Predomina con estructuras E-W, limitado por las vetas Principal y Elva.

**Figura 25: Vista en planta de los dominios estructurales definidos en Mina Animón, estructuras modeladas (en rojo) y fallas límites de dominio (en verde).**



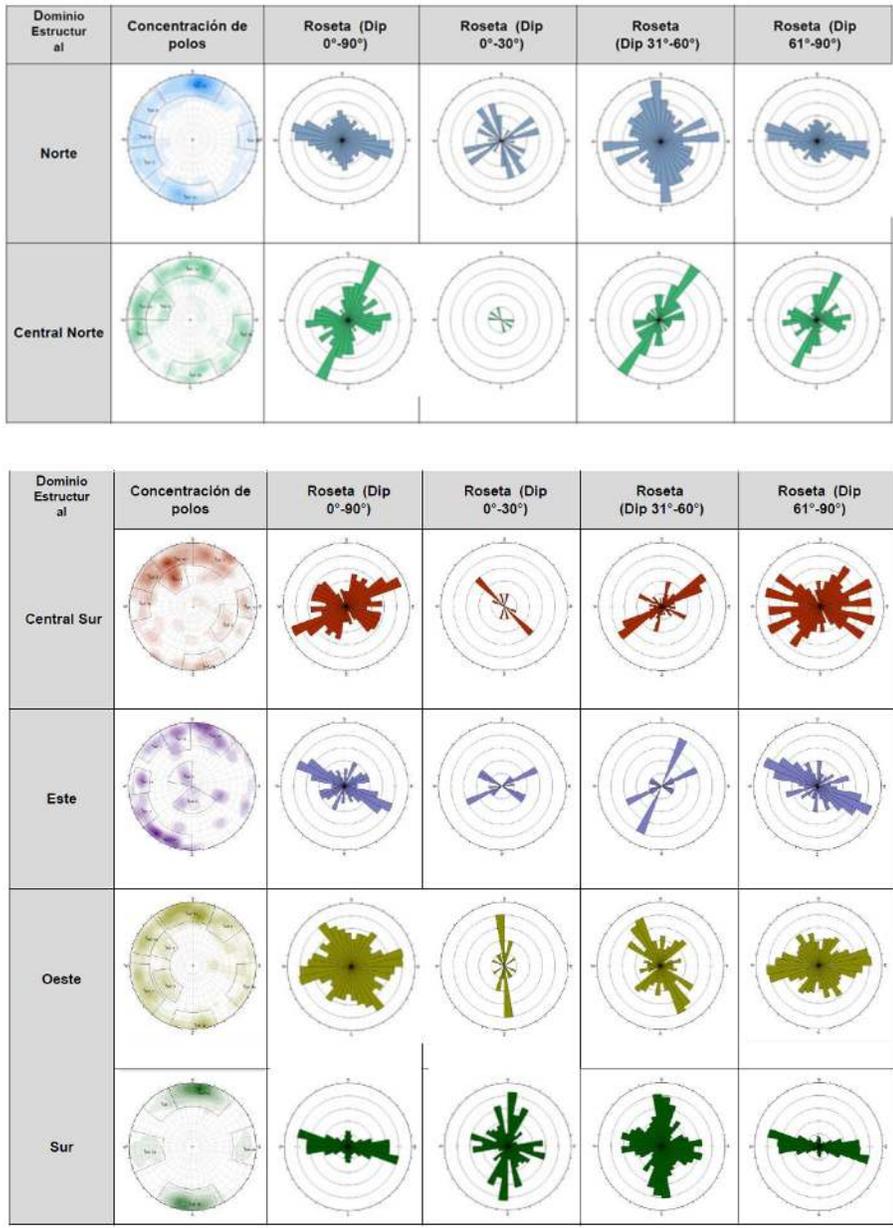
Fuente: Área Geomecánica

Nota: Vista en planta de los dominios estructurales definidos en Mina Animón, estructuras modeladas (en rojo) y fallas límites de dominio (en verde). parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animón.

#### 4.2.1.6. CARACTERIZACIÓN DE DOMINIOS ESTRUCTURALES

Para cada dominio, se han definido los sets estructurales predominantes a partir de un diagrama de concentración de polos y diagramas de roseta. Estos se han categorizado en diferentes rangos de inclinación (dip), permitiendo una comparación entre los dominios. Cada set estructural se caracteriza por parámetros como la media y rango de dip, dirección de dip, concentración, porcentaje de ocurrencia, K de Fisher y desviación angular.

**Figura 26: Características Estructurales**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Características Estructurales parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon, diagrama de polos y rosetas

Las características estructurales de las discontinuidades se han establecido mediante un análisis estadístico de los datos obtenidos del mapeo geomecánico y el logeo geotécnico en Mina Animón, complementado con observaciones in-situ. Las principales características observadas incluyen:

Fallas: Espaciadas de forma variable, con persistencia de decenas a centenas de metros. Presentan rellenos de materiales como arcilla, panizo y pirita, con espesores de hasta 15 cm y aperturas menores a 5 mm. Las superficies varían de ligeramente rugosas a lisas. Estas fallas sirven como conductos para la circulación de agua subterránea y están asociadas a vetas mineralizadas. La calidad de la masa rocosa en estas zonas es generalmente mala a muy mala (RMR < 41).

#### **4.2.1.7. SISMICIDAD**

**Sismicidad Regional:** El mapa sísmico del Perú muestra que la Unidad Minera Animón no está expuesta a eventos sísmicos significativos a nivel regional que puedan afectar de manera considerable las operaciones mineras. La normativa peruana, como la Resolución Ministerial N°355-2018, establece valores de energía sísmica para las áreas de trabajo.

**Micro Sismicidad o Sismicidad Inducida por la Actividad Minera:** Desde el 30 de agosto de 2022, se ha implementado un sistema de monitoreo sísmico en Mina Animón, que incluye geófonos uniaxiales y triaxiales. Hasta la fecha, no se ha registrado actividad micro sísmica significativa que pueda afectar las operaciones.

#### **4.2.1.8. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA**

**Metodología de Gráfico Múltiple GDE (Russo 2014):** Se emplea para analizar el modo de falla del macizo rocoso y determinar el comportamiento de la excavación. La metodología incluye:

- Determinación del GSI a partir de los parámetros  $J_c$  y  $V_b$ .

- Determinación de la resistencia del macizo rocoso ( $\sigma_{cm}$ ) utilizando GSI y resistencia a la compresión simple de la roca ( $\sigma_c$ ).
- Evaluación de la competencia (IC) a partir de la resistencia del macizo rocoso y el esfuerzo in-situ.
- Evaluación del comportamiento de la excavación en función del modo de falla, utilizando IC y RMR.

**Metodología de Gráfica con el Mecanismo de Inestabilidad (Kaiser 2000):** Esta metodología determina el mecanismo de falla basado en la calidad del macizo rocoso (RMR) y la relación entre esfuerzos y resistencia en el contorno de la excavación.

Con base en el análisis del modo de falla y las condiciones establecidas, como la calidad de la roca y la resistencia del material, se ha descartado el mecanismo de estallido de roca (rockburst) y la sismicidad inducida como factores relevantes para los bloques de minado en el presupuesto de 2023.

#### **4.2.1.9. RECOMENDACIONES INICIALES DE SOSTENIMIENTO**

Con base en el análisis de las características geomecánicas y el Índice de Calidad del Macizo Rocosos, se formularán recomendaciones iniciales para el sostenimiento en las diferentes labores mineras. En esta subsección, se presentarán las recomendaciones específicas para la aplicación de shotcrete convencional y reforzado con fibra sintética, teniendo en cuenta las condiciones del terreno y los requisitos de estabilidad. Estas recomendaciones servirán como punto de partida para la evaluación comparativa de los dos tipos de shotcrete, y se analizará cómo cada uno responde a las demandas del macizo rocoso en las condiciones particulares de la Unidad Minera Animon.

#### **4.2.1.9.1. REQUISITOS GENERALES PARA EL SOPORTE MINERO**

Para establecer un sistema de sostenimiento adecuado en las operaciones mineras, es crucial contar con la siguiente información:

- **Datos de Diseño:** Incluyen las dimensiones, la forma y el tiempo estimado de uso de la excavación.
- **Caracterización Geomecánica Estructural:** Involucra la evaluación de la calidad del macizo rocoso y el análisis de las propiedades y orientación de los principales sistemas de discontinuidades presentes en la masa rocosa.
- **Condiciones Iniciales:** Considera el estado de las tensiones en el área antes de la excavación, como la carga litostática, la geología del entorno, y la presencia o presión de agua.
- **Cambios en el Campo de Tensiones Locales:** Se refiere a las alteraciones en el campo de tensiones debido a la excavación.
- **Movimientos Repentinos o Deslizamientos:** Evalúa la posibilidad de deslizamientos en planos de debilidad preexistentes, como fallas planares o de cuña, y otros factores que puedan influir en estos movimientos.
- **Propiedades de los Materiales y Elementos de Soporte:** Considera las características y rendimiento de los materiales y componentes que se utilizarán para el soporte.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta:

- **Deformación de la Excavación:** La excavación experimentará deformaciones debido al proceso de construcción.
- **Tiempo de Utilización de la Excavación:** El diseño del sistema de sostenimiento debe contemplar la duración durante la cual la excavación estará en uso.

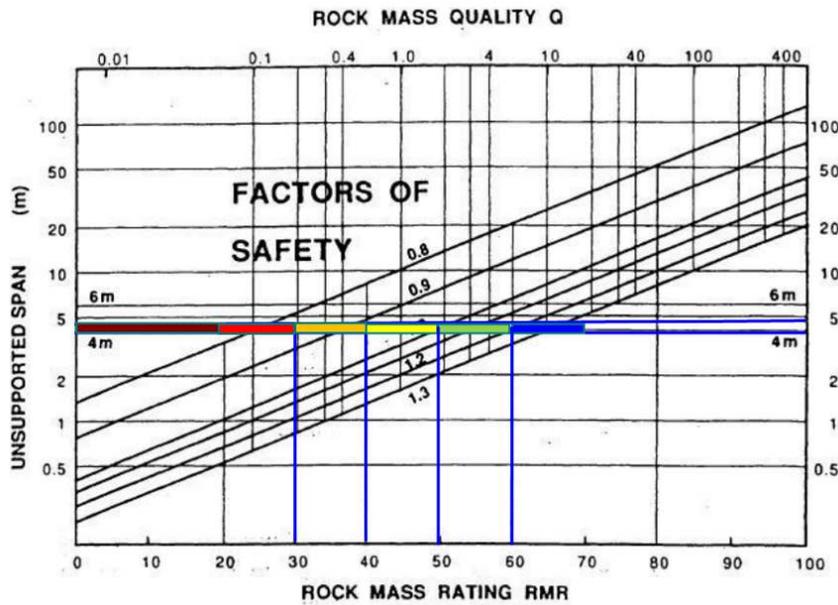
- Estado de Tensiones Iniciales: El diseño del sistema de fortificación debe ajustarse según las condiciones de tensión iniciales del entorno.

#### **4.2.1.9.2. SOPORTE PARA EL ANCHO DE LAS ABERTURAS**

Inicialmente, se utilizan los parámetros del ábaco de Bieniawski (1989), adaptado a partir del trabajo de Houghton & Stacey (1980), para definir el área de estabilidad en diferentes secciones de apertura: 3.5x4.0, 3.8x4.0, 4.0x4.5, 4.5x4.5 y 5.0x5.0. Estos valores están orientados al máximo alcance de soporte necesario.

La metodología empírica empleada para determinar el tipo de sostenimiento se basa en la versión actualizada del método desarrollado originalmente por Barton. Esta metodología incluye el espesor del shotcrete, el espaciamiento de los pernos y el refuerzo con arcos armados de concreto lanzado, todo en función de la calidad del macizo rocoso. La Figura presenta la actualización más reciente del Sistema Q, que ofrece recomendaciones para el sostenimiento, tales como el espesor del concreto lanzado reforzado con fibra (SRF), el espaciamiento entre pernos, y su longitud, además de valores de tenacidad obtenidos a partir de ensayos en panel EN 14488-5 para shotcrete reforzado con fibras (Grimstad y Barton, 2002).

**Figura 27: Rock Mass Quality Q**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Rock Mass Quality Q parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

**Figura 28: Las secciones de spam máximo**

Las secciones de Spam máximo , 4 y 4.5:

- Roca tipo V : Inestable donde  $FS < 0.8$
  - Roca Tipo IVB : Inestable donde  $FS < 0.85$
  - Roca Tipo IVA : Inestable donde  $FS < 0.92$
  - Roca Tipo IIIB : Inestablemente marginal  $FS : < 1$
  - Roca Tipo IIIA : Estable marginalmente  $FS < 1.2$
  - Roca tipo II : Estable :  $FS > 1.2$
- } U.M Animón

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Las secciones de spam máximo parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

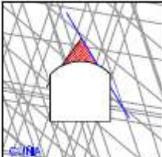
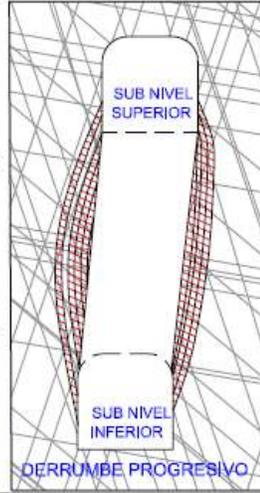
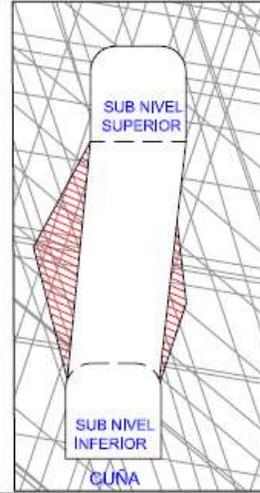
Tabla 14: Cartilla geomecánica de sostenimiento para labores permanentes

 <p>CHUNGAR COMPAÑIA MINERA S.A.C.</p>		<p><b>CARTILLA GEOMECÁNICA DE SOSTENIMIENTO PARA LABORES PERMANENTES</b></p>		
Departamento de Geomecánica				
Labor Permanente (>12 meses)				
TIPO DE ROCA		TIPO SOST.	TIPO DE ROCA	TIPO SOST.
	BUENA - B	P-1		MALA - A
	REGULAR - A	P-1		MALA - B
	REGULAR - B	P-2/P-3		MUY MALA
<b>TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>				
P-1	*Malla + P. de Adherencia (Hellcoidal) 7' Esp. (1,7x1,7m)			
P-2	*Malla + P. de Adherencia (Hellcoidal) 7' Esp. (1,2x1,2m) (RMR=46-50)			
P-3	Sh2"(04kgr) Gradiente + P. de Adherencia (Hellcoidal) 7' Esp. (1,7x1,7m) (RMR=41-45)			
P-4	Sh2"(04kgr) + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,7x1,7m) (RMR=36-40)			
P-5	Sh2"(04kgr) + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,5x1,5m) (RMR=31-35)			
P-6	Sh2"(05kgr) + Malla + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,2x1,2m) + Sh1"(SF) (26-30)			
P-7	Sh2"(05kgr) + Malla + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,2x1,2m) + **AN (RMR=21-25)			
P-8	Sh2"(06kgr) + Malla + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,3x1,3m) + Sh1"(SF) + **C			
*Malla: Malla Electrosoldada Tipo N°10 (4"x4" o 2"x2" según recomendación geomecánica)				
*AN: Arco Noruego Dimensiones 15x20x20cm, espaciado a 1,2 m.				
SF: Shotcrete sin fibra (sobremalla).				
C: Cimbras Metálicas en base al diseño y recomendación geomecánica, espaciado 1,2m				
Cumplir con el sostenimiento indicado y de realizarse algún cambio será según evaluación geomecánica.				
<b>SOSTENIMIENTO DE INTERSECCIONES</b>				
Span (m)	Sostenimiento Primario	Sostenimiento Secundario	Tipo	
≤ 5,5m	Sostenimiento Primario de acuerdo a la recomendación geomecánica	Longitud de Perno: 2,1m	No Requiere	P. Expan. (Omega)
≤ 6,5m (macizos rocosos competentes)		Longitud de Perno: 2,4m		P. de Adherencia (Hellcoidal)
5,5m-7m		Longitud de Perno: 2,1m o 2,4m.	Cable bolting según diseño geomecánico, Longitud de cable: 3,6m	P. Expan. (Omega), P. de Adherencia (Hellcoidal), Cable Bolting
5,5m-8m		Longitud de Perno: 2,1m o 2,4m.	Cable bolting según diseño geomecánico, Longitud de cable: 4,5m	P. Expan. (Omega), Super Omega, P. de Adherencia (Hellcoidal), Cable Bolting
6m-10m		Longitud de Perno: 2,1m o 2,4m.	Cable bolting según diseño geomecánico, Longitud de cable: 6m	P. Expan. (Omega), Super Omega, P. de Adherencia (Hellcoidal), Cable Bolting
8m-14m		Longitud de Perno: 2,1m o 2,4m.	Cable bolting según diseño geomecánico, Longitud de cable: 8m	P. Expan. (Omega), Super Omega, P. de Adherencia (Hellcoidal), Cable Bolting
****Intersecciones Temporales: uso de pernos expansivos (Super Omega) según evaluación				

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Cartilla Geomecánica De Sostenimiento Para Labores Permanentes

**Tabla 15: Cartilla geomecánica de sostenimiento para labores temporales parte del estudio geomecánico de la mina unidad minera animon.**

 CHUNGAR COMPAÑIA MINERA S.A.C.		<b>CARTILLA GEOMECÁNICA DE SOSTENIMIENTO PARA LABORES TEMPORALES</b>			
Departamento de Geomecánica					
Labor Temporal (<12 meses)					
TIPO DE ROCA	TIPO SOST.	TIPO DE ROCA	TIPO SOST.	TIPO DE ROCA	TIPO SOST.
BUENA - B	T-1	MALA - A	T-4/T-5		
REGULAR - A	T-1	MALA - B	T-6/T-7		
REGULAR - B	T-2/T-3	MUY MALA	T-8		
TIPO DE SOSTENIMIENTO					
T-1	*Malla E + P. Expan. (Omega) 7' Esp. ( 1,7 x 1,7m)				
T-2	*Malla E + P. Expan. (Omega) 7' Esp. ( 1,2 x 1,2m) (RMR=46-50)				
T-3	Sh 1,5"(04kgr) Gradiente + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,7x1,7m) (RMR=41-45)				
T-4	Sh 2"(03kgr) Gradiente + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,5x1,5m) (RMR=36-40)				
T-5	Sh 2"(03kgr) + P. Expan. (Omega)7' Esp. (1,7x1,7m) (RMR=31-35)				
T-6	Sh2"(04kgr) + Malla + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,2x1,2m) (RMR=26-30)				
T-7	Sh2"(04kgr) + Malla + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,2x1,2m) + Sh1"(SF) (RMR=21-25)				
T-8	Arco Noruego (Sostenimiento Estructural + Arco)				
*Malla: Malla Electrosoldada Tipo N°10 (4"x4" o 2"x2" según recomendación geomecánica)					
**Arco Noruego: Dimensiones 15x20x20cm, espaciado a 1.2 m.					
***Para labores en preparación de taladros largos espaciado de 1,2x1,2m					
Sostenimiento Estructural: Sh2"(05kgr) + Malla + P. Expan. (Omega) 7' Esp. (1,3x1,3m) + Sh1"(SF)					
SF: Shotcrete sin fibra (sobremalla).					
Cumplir con el sostenimiento indicado y de realizarse algún cambio será según evaluación geomecánica.					
MECANISMOS DE INESTABILIDAD					
					

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Cartilla Geomecánica De Sostenimiento Para Labores Temporales parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

Se llevaron a cabo análisis exhaustivos de la estabilidad estructural en áreas controladas por discontinuidades geológicas, con el objetivo de verificar la estabilidad de la mayor cuña posible. Estos análisis se basaron en la composición de las discontinuidades mapeadas en el campo.

**Tabla 16: Soporte en Intersecciones**

Span de la excavación (m)	Long. Mínima del perno (Soporte primario del techo)	Long. Mínima del sostenimiento secundario (m)	# Pernos mínimos por span, sostenimiento secundario	Tipo de Perno
≤5,5 m en roca de buena calidad $40 \leq \text{GSI} \leq 50$ ; ≤4,2 m en roca de mala calidad $\text{GSI} < 40$	2.1m Ver Tabla 3	No requiere		* Tipo Swellex (Omega o Hydrabolt, 2.1m)
5 < Span ≤ 6.5 m macizo rocoso competente $\text{GSI} > 50$	2.4m. Ver Tabla 3			* Perno Helicoidal cementado
6.5m - 7m	2.1m / 2.4m	3.6m (12')	Ver la figura 13 y 14, los requisitos de sostenimiento en intersecciones y el número de pernos helicoidales por span.	* Perno Helicoidal cementado (22mm Ø) o perno Tipo swellex (estándar)
7m - 8m	2.1m / 2.4m	4.5m (15')	Ver la figura 13, los requisitos de sostenimiento de la intersección, el número de pernos helicoidales por span.	* Perno Helicoidal cementado (22mm Ø), perno tipo super Omega o Cable bolting cementado.
8m - 10m	2.1 m / 2.4m	6m	Ver figura 15 / figura 16 de acuerdo al FS	*Cable bolting cementado o perno Super Omega (Conectable)
10m - 14m	2.1 m / 2.4m	8m		

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Soporte en Intersecciones parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

En las intersecciones de labores mineras, se implementaron directrices específicas de sostenimiento, que se ilustran en la Figura. Estas directrices aseguran que las áreas donde se cruzan las excavaciones tengan un soporte adecuado para prevenir fallas estructurales.

**Tabla 17: Instalación de cable bolting en vetas con inclinación menor a 60°**

Secciones [ 3.8 -4 ]	Secciones [ 3.8 -4 ]	
	Buz ≤ 60°	Buz [ 61° - 80 °]
Influencia (m)	2.5	2.5
Area (m2)	4.8	2.9
P.e (tn/m3)	2.6	2.6
Capacidad por cable (tn)	20	20
Carga (Tn)	31.2	18.9
Nº de Cable	2	1
Espaciamiento (m)	2.5	2.5
F.S	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Instalación de cable bolting en vetas con inclinación Menor a 60° parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

Para vetas con una inclinación inferior a 60°, se ha considerado la instalación de sistemas de sostenimiento mediante Cable Bolting, siguiendo el estándar ESO-CH-GMC-07-06. Este tipo de sostenimiento es esencial para garantizar la estabilidad en estas áreas. La Figura proporciona una estimación del sostenimiento activo necesario en estos casos.

**Tabla 18: Recomendaciones gráficas de estabilidad**

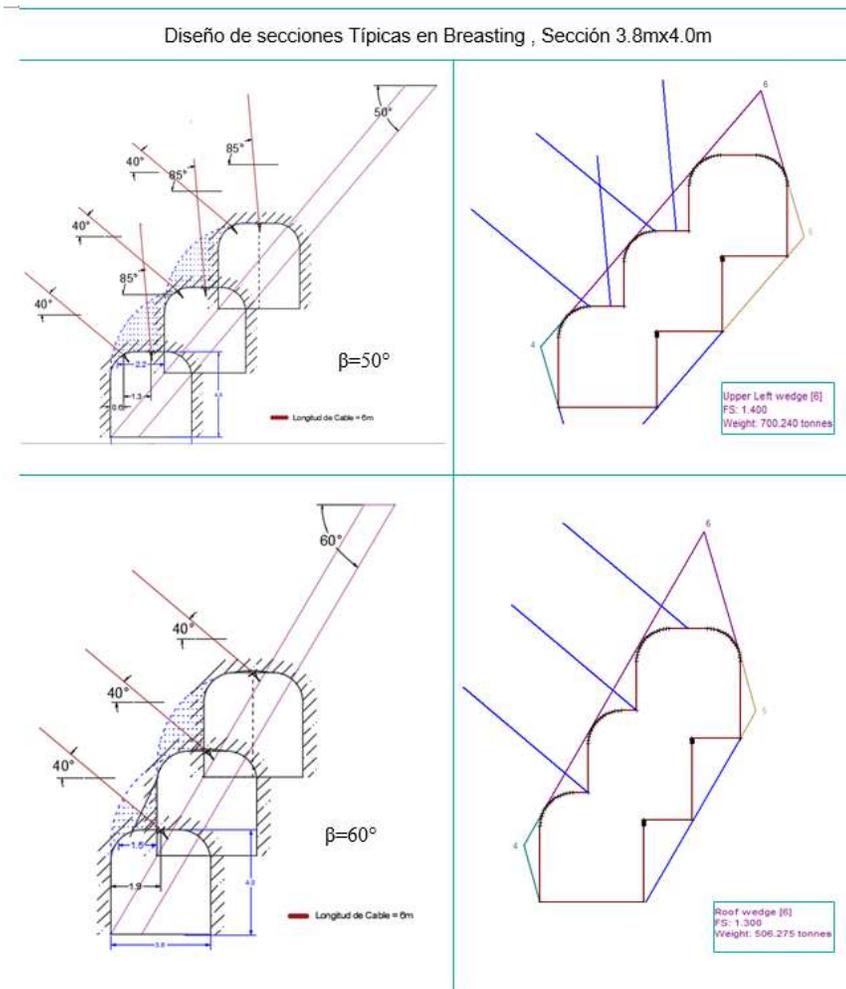
Angulo de veta	Voladizo (m)	Cables	Recomendaciones Según Gráfico
< 50 °	>2.2	2	01 cable de 6m (40°) y 01 Cable de 6m (85°)
50°-60°	1.5-2.2	2	01 cable de 6m (40°) y 01 Cable de 6m (85°)
60°-80°	1.5-0.5	1	01 cable de 6m (40°)
>80°	< 0.5	0	Sin Cables

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Recomendaciones gráficas de estabilidad

Se han elaborado recomendaciones gráficas que sirven de guía para garantizar la estabilidad en diferentes zonas de la operación minera. Estas recomendaciones están basadas en el estándar ESO-AN-IPL-02 y se presentan en las Figuras. Estas gráficas incluyen un esquema detallado de la disposición del Cable Bolting en zonas de minado, como se muestra en la Figura, según la evaluación geomecánica realizada.

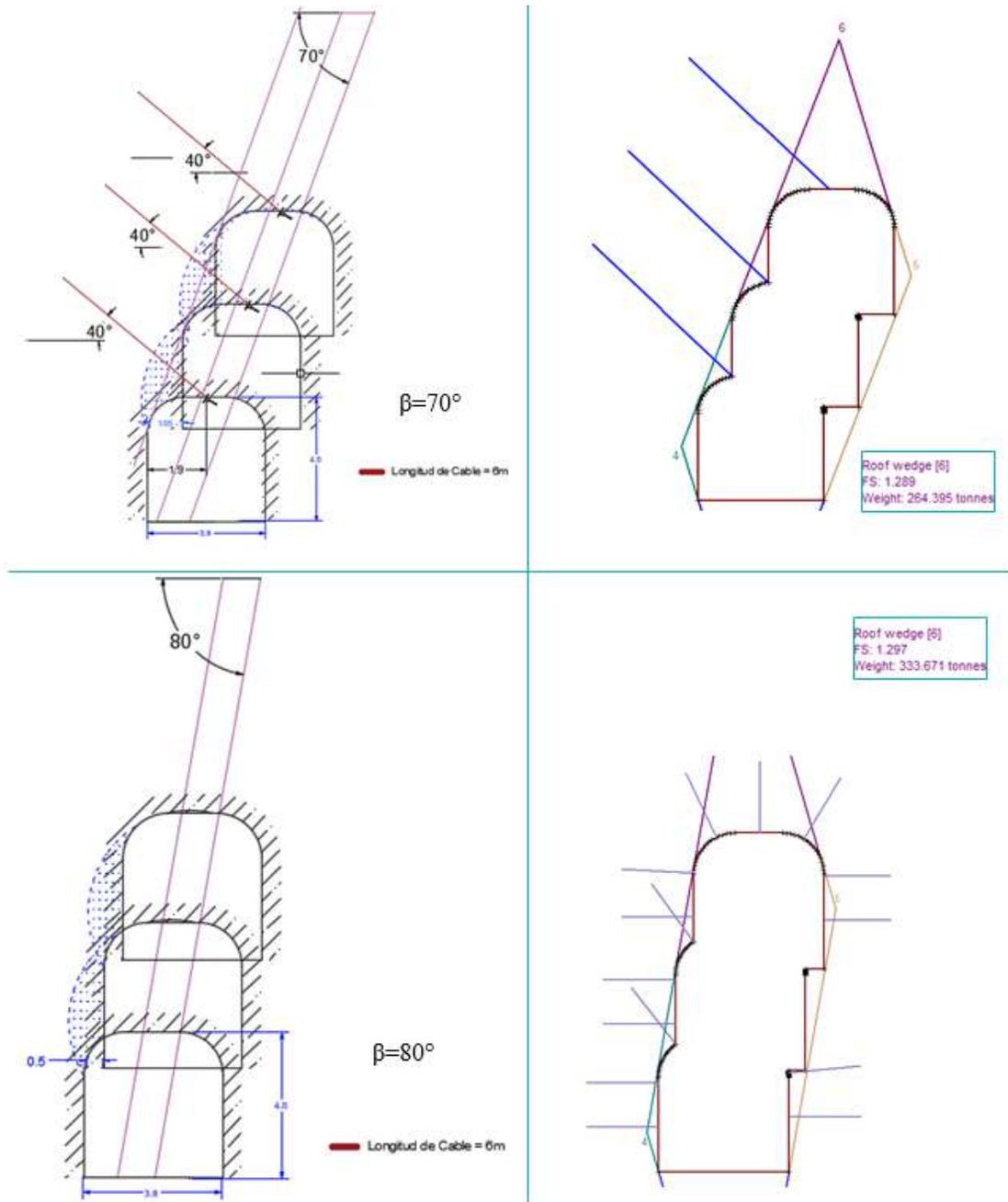
**Figura 29: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-I**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-I parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

**Figura 30: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-II**



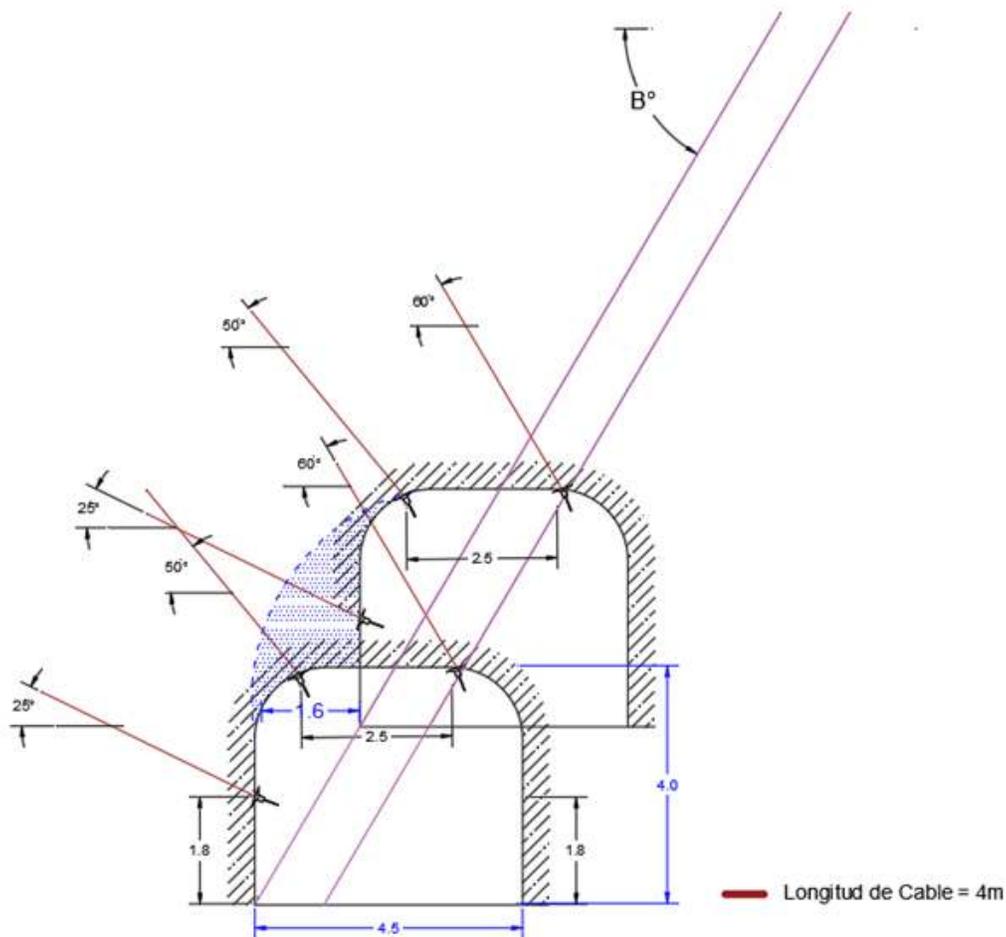
Fuente: Área Geomecánica

Nota: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-II parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

## Soporte secundario y recomendación Geomecánica

El esquema de sostenimiento secundario, que refuerza la estructura principal, se ilustra en la Figura. Además, se proporciona una recomendación geomecánica en la Figura, que guía las decisiones de sostenimiento según las características del macizo rocoso y las condiciones específicas del área de trabajo.

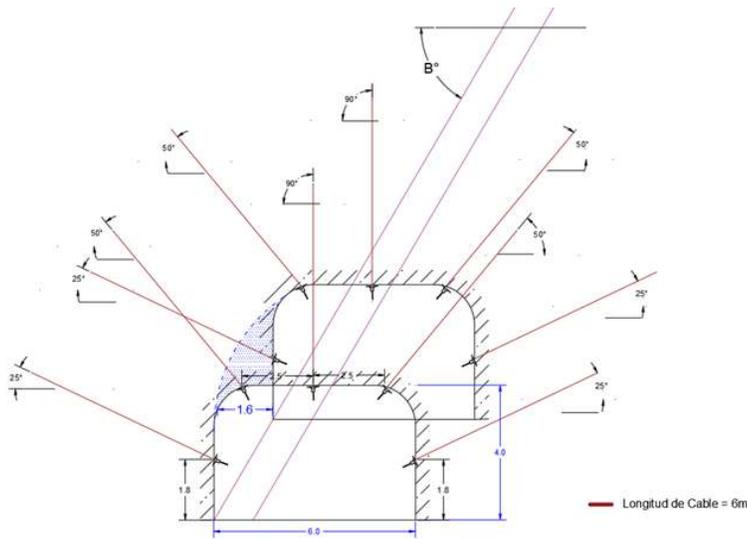
**Figura 31: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-I**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-I parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

**Figura 32: Recomendaciones gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-II**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Recomendaciones Gráficas de estabilidad (ESO-AN-IPL-02)-II parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

**Figura 33: Disposición de sostenimiento secundario.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Disposición de Sostenimiento secundario. parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

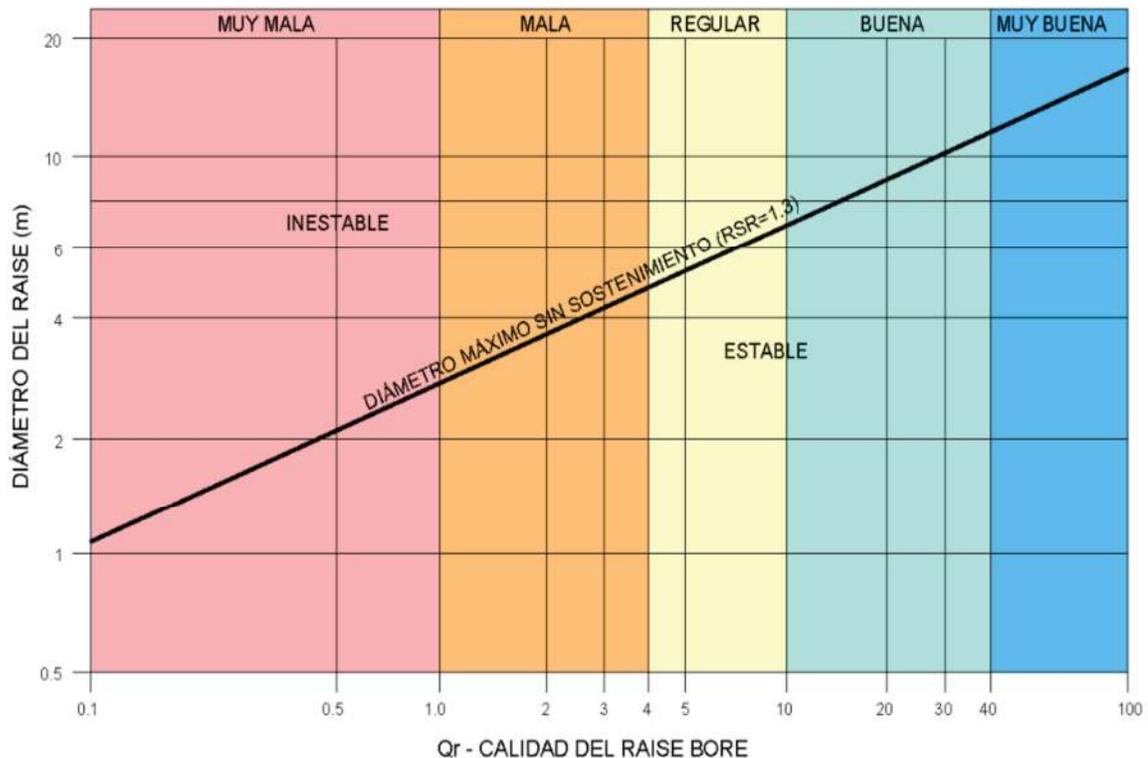
## **Soporte de frentes**

Finalmente, se consideró también el refuerzo de los frentes de excavación, como una medida preventiva ante la inestabilidad que puede generarse por la caída de rocas en estas áreas. Este refuerzo es crucial para asegurar la integridad de las excavaciones y la seguridad del personal.

### **5.3. Control Estándar del Terreno – Chimeneas o Aberturas Verticales**

Para ubicar correctamente las excavaciones verticales, se revisa la zonificación geotécnica, considerando las áreas con roca de mayor competencia y libre de influencias de fallas o estructuras predominantes. El dimensionamiento se realiza conforme a las directrices establecidas en el Estándar técnico ESO-VOL-GEO-09-01, que regula el dimensionamiento de excavaciones. En cuanto al control del terreno en aberturas verticales, como las chimeneas tipo raise boring ejecutadas en la Unidad Minera Animón, se sigue el método desarrollado por McCracken y Stacey (1989). Este enfoque evalúa la estabilidad de estas excavaciones mediante el uso del parámetro  $Q_r$  y el diámetro de la excavación, como se ilustra en la Figura. En las excavaciones verticales ubicadas en zonas de pasivos, donde la inaccesibilidad propia del tipo de trabajo impide realizar inspecciones, se sugiere utilizar drones para verificar la estabilidad. En caso de que el análisis geomecánico lo requiera, se procederá a revestir las paredes de la chimenea con shotcrete, aplicando equipo mecanizado especializado para este propósito.

**Figura 34: Relación entre el diámetro de la excavación vertical y el parámetro Qr.**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Relación entre el diámetro de la excavación vertical y el parámetro Qr parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

#### Criterios de Aceptación para el Diseño de Soporte

El criterio geomecánico principal que se debe tener en cuenta en las actividades de la mina Animón es el Factor de Seguridad (FS). Tradicionalmente, el diseño de estructuras de ingeniería se basa en la relación entre la capacidad de carga del sistema y la demanda o carga calculada sobre dicho sistema. El FS es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda). Se define como:

$$FS=C/D$$

Donde:

- FS = Factor de Seguridad.
- C = Capacidad de soporte de carga del sistema.
- D = Fuerzas actuantes o demanda sobre el sistema.

Al ejecutar el cálculo del factor de seguridad, se pueden presentar tres posibles escenarios:

- Cuando  $C > D$ , luego  $C/D > F > 1$  el sistema es estable.
- Cuando  $C < D$ , luego  $C/D > F < 1$  el sistema es inestable.
- Cuando  $C = D$ , luego  $C/D > F = 1$  el sistema está en equilibrio límite.

Los valores de FS considerados en el Estándar Técnico ESO-VOL-GEO-09-01 (sección 5) para la Unidad Minera Animón se detallan en el siguiente cuadro:

**Tabla 19: FS recomendados según tiempo de exposición.**

Tiempo de exposición	Rangos de FS
Temporal (< 1 año)	$\geq 1.3$
Permanente (> 1 año)	$\geq 1.5$

Nota: FS recomendados según tiempo de exposición parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animón.

Estos factores de seguridad se aplican en el diseño de todas las excavaciones, tanto en las fases de desarrollo, preparación y explotación de la mina, según los tiempos de exposición o duración considerados en la planificación y diseño. De manera excepcional, el FS correspondiente a los pilares (sill pillars, stope pillars y rib pillars) debe ser superior a 1.4, y mayor a 2 en el caso de crown pillars y para excavaciones de infraestructura permanente como talleres, comedores,

almacenes, entre otros. Todas las excavaciones que implican la exposición continua de personas, como talleres, comedores, almacenes y refugios, deben estar sostenidas conforme a la evaluación del terreno y reforzadas secundariamente con cable bolts.

#### ***4.2.2. TIPOS DE SOPORTE DEL TERRENO Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES***

##### **4.2.2.1. PERNOS – CABLE**

En la Unidad Minera Animón se emplean pernos tipo Swellex Omega Bolt. Desde el último trimestre de 2021, se ha implementado el uso de pernos helicoidales en labores permanentes en zonas activas y en el proceso de rehabilitación de pasivos.

##### **4.2.2.2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS:**

- a) Perno de roca tipo Swellex Omega Bolt: Actualmente, este tipo de perno se utiliza tanto en labores temporales como permanentes en zonas de roca de calidad Regular y Mala. Sin embargo, los pernos helicoidales serán implementados en trabajos permanentes. Los Omega Bolt, fabricados por la empresa DSI y utilizados en las operaciones de Animón, son del Tipo Estándar. Estos son anclajes expansivos que actúan por fricción, fabricados con acero de alta capacidad expansiva y resistencia mecánica, lo que permite ejercer presión sobre la pared interna de la perforación en el macizo rocoso, generando fricción. El sistema está diseñado para una instalación rápida y segura con presión de inflado de agua, asegurando una adaptación óptima del perno Omega Bolt a las irregularidades del macizo rocoso de manera inmediata.

**Tabla 20: Especificaciones técnicas de pernos Omega.**

PROPIEDADES	Valor	Unidad
Carga en el límite elástico	100	kN
Carga de rotura característica	130	kN
Carga última nominal	120	kN
Alargamiento de rotura característico	15	%
Alargamiento de rotura nominal	10	%
Diámetro externo de perfil	27.5	mm
Diámetro externo del tubo original	41	mm
Espesor de la pared	2	mm
Diámetro del barreno óptimo	35-38	mm
Presión de inflado	300	bar
Longitud de perno	2.1	m

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Especificaciones técnicas de pernos Omega. parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

b) Perno Helicoidal: Será utilizado en trabajos permanentes con calidades de macizo rocoso  $RMR_{89} \geq 40$ . Los pernos helicoidales deberán ser de 19 mm como mínimo para todas las excavaciones permanentes, infraestructuras y todas aquellas labores temporales que, debido a su condición geomecánica, ameriten la instalación de estos elementos. La longitud mínima de los pernos helicoidales a instalar será de 2.10 m (7 pies) para todas las excavaciones permanentes, infraestructuras y temporales. Si se requieren elementos de mayor longitud, esto se determinará en

función de la evaluación geomecánica, la cual considerará como mínimo el criterio propuesto por Barton et al. (1981). La composición química y propiedades mecánicas del elemento se rigen según la Norma ASTM A615 Grado 75. La placa y tuerca se aseguran después de 12 horas de la instalación del perno con lechada de cemento. La porción saliente del perno en la superficie de la excavación no debe ser mayor de 0.10 m, y en los hastiales, los pernos instalados por debajo de 2.0 m deben tener una longitud saliente máxima de 2.0 cm. Las placas de los pernos helicoidales deben tener las dimensiones de 0.20 m x 0.20 m, y tanto las tuercas como las placas deben ser galvanizadas para minimizar los efectos de la corrosión.

**Tabla 21: Especificaciones técnicas de la tuerca y placa de fijación.**

PROPIEDADES	VALOR	Unidad
Diámetro nominal de tuerca	22	mm
Diámetro exterior de tuerca	49	mm
Altura total de tuerca	41.3	mm
Altura de vástago	25	mm
Distancia entre caras	34.9	mm
Peso unitario	226	gr
Espesor de placa	4.5 +/- 0.45	mm
Tipo de placa	Volcán	
Diámetro de orificio de placa	38.0 +/- 1.0	mm
Lado de placa	200 +/- 5.0	mm

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Especificaciones técnicas de la tuerca y placa de fijación parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

c) Cable Bolting: En la Tabla se detallan las propiedades físicas y mecánicas del cable bolting bulbado que se utiliza en la unidad.

**Tabla 22: Especificaciones del cable bolting.**

PROPIEDAD	Valor		Unidad
	Minimo	Tipico	
Límite elástico a 0.2% de elongación	212	250	KN
Resistencia a la tracción	250	265	KN
Elongación a 600 mm de longitud de referencia	3.5	6.5	KN
Masa por metro	1.13		kg/m
Diámetro nominal de cable	15.2		mm
Área transversal del cable acerado	143		mm <sup>2</sup>
Diámetro del barreno óptimo	35-36		m
Longitudes de cable	4,6,9 y 15		-
Accesorios requeridos	Cuña Barril y Placa		-
Relación agua cemento del grouting	0.3		-

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Especificaciones del cable bolting. parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

#### **4.2.2.3. RETENCIÓN DE SUPERFICIES**

Mallas: Las mallas Meshpro utilizadas en la Unidad Minera Animón son mallas electrosoldadas de acero, con dimensiones de cuadrícula de 4" x 4" y calibre # 10. Estas mallas están compuestas por barras lisas laminadas en frío, que se cruzan en forma ortogonal y están soldadas en todas sus intersecciones.

**Tabla 23: Propiedades físicas y mecánicas de la malla electrosoldada.**

PROPIEDAD	Valor	Unidad
Número de alambres	10	mm
Área seccional	126.7	mm <sup>2</sup>
Diámetro nominal	3.4	mm
Longitud	15.24	m
Resistencia a la tracción	600	MPa

Fuente: Área Geomecánica

Fuente: Propiedades físicas y mecánicas de la malla electrosoldada. parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

#### **4.2.2.4. REVESTIMIENTO CON CONCRETO PROYECTADO – SHOTCRETE**

El shotcrete es un concreto especial que se proyecta sobre las superficies rocosas de una manera específica, utilizando equipos especializados que permiten la mezcla y proyección simultánea de los materiales constituyentes (cemento, arena, agregado fino y aditivos) mediante un flujo continuo de aire a alta presión. Este proceso puede ser neumático o por vía húmeda. Se utiliza en las operaciones de soporte para fortalecer los hastiales y techos de las labores mineras, mejorando la estabilidad de las excavaciones.

**Tabla 24: Propiedades mecánicas y físicas del shotcrete.**

PROPIEDAD	VALOR	Unidad
Resistencia a la compresión	30	MPa
Módulo de elasticidad	28.5	GPa
Espesor mínimo aplicado	50	mm
Tiempo de fraguado	30	min
Proporción de fibra sintética	4	kg/m <sup>3</sup>
Diámetro de boquilla	19	mm
Capacidad de adherencia	1.5	MPa

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Propiedades mecánicas y físicas del shotcrete. parte del estudio geomecánico de la mina Unidad Minera Animon.

Este tipo de shotcrete, debido a la incorporación de fibras sintéticas y un sistema de dosificación de aditivos optimizado, proporciona una mayor resistencia a la abrasión, mejor control de agrietamiento, y una mayor durabilidad frente a condiciones severas dentro del macizo rocoso. En la Unidad Minera Animón, se ha priorizado el uso de shotcrete reforzado con fibras sintéticas, debido a las ventajas en rendimiento y costos en comparación con otros métodos tradicionales de soporte.

#### **4.2.3. CONTROL DE CALIDAD DEL SOPORTE MINERO**

En la actualidad, se está gestionando la adquisición de equipos electrónicos que permitirán medir el espesor y evaluar el grado de corrosión en los componentes del sistema de sostenimiento

minero. A continuación, se detallan los procedimientos de control de calidad aplicados en el soporte minero:

#### **4.2.3.1. CONTROL DE CALIDAD EN LA INSTALACIÓN DEL SOPORTE MINERO**

Es imperativo que todos los elementos utilizados en el diseño de fortificación cuenten con certificados de calidad, así como con pruebas que validen su resistencia y las propiedades de los materiales empleados. Estos documentos deben ser enviados trimestralmente a la Superintendencia de Geomecánica.

##### **Control de Calidad de Pernos y Cable Bolts:**

Durante las actividades de control de calidad y mediciones del sostenimiento para la valorización, se realizan inspecciones detalladas que verifican diversos factores clave como:

- Correcta instalación del elemento en el taladro perforado, asegurándose de que pernos y cables no sobresalgan.
- Cumplimiento del espaciamiento entre pernos conforme a las recomendaciones.
- Uso adecuado del diámetro de la broca para la perforación.
- Orientación radial de los pernos según el estándar.
- Evaluación del grado de corrosión de los elementos instalados.
- Verificación de la presión de inflado de los pernos Swellex, conforme a las especificaciones técnicas.
- Longitud externa del cable bolt, que no debe exceder los 0.20 m de longitud.
- Correcta instalación de la cuña barril para garantizar la integridad del sistema completo.

##### **Pruebas de Calidad Pull Test para Pernos:**

Las pruebas de arranque para pernos, conocidas como "pull test," se realizan de acuerdo con la norma ASTM D4435. La ejecución de estas pruebas sigue una secuencia establecida en el procedimiento operativo de pruebas de arranque de anclajes y cable bolts, documentado en el PRO-VOL-GEOM-10-01. El equipo utilizado para estas pruebas incluye componentes como el castillo del equipo, gata hidráulica, cadena de seguridad, manguera de alta presión, manómetro, bomba hidráulica, y otros elementos de seguridad.

El procedimiento de estas pruebas implica:

- Instalar el perno o cable bolt conforme a los estándares establecidos.
- Seleccionar el kit adecuado para la prueba.
- Alinear el eje y el castillo con la dirección del perno a extraer, asegurando el conjunto con la tuerca tipo mariposa y la cadena de seguridad.
- Ejecutar la prueba pull test, evaluando los resultados según criterios de aceptabilidad.

#### **Pruebas de Calidad Pull Test para Cable Bolts:**

Para evaluar la resistencia de los cables, se realizan pruebas pull test en el 1% del total de cables instalados. Estas pruebas siguen los protocolos establecidos por el área de geomecánica. Para los pernos Swellex, la capacidad de soporte mínima aceptable es de 10 toneladas, mientras que para los cables bolts es de 20 toneladas. Valores por debajo de estos umbrales se consideran fallidos, requiriendo medidas correctivas.

#### **Control de Calidad de la Malla:**

Las inspecciones visuales de la malla incluyen la verificación de su correcta instalación según las recomendaciones geomecánicas, el traslape entre mallas, la tensión adecuada, la resistencia a la soldadura, y el diámetro del alambre conforme a las especificaciones técnicas. El

área de geomecánica también mantiene informes técnicos sobre ensayos de tracción realizados tanto a la malla electrosoldada como al alambre de acero.

#### **Control de Calidad del Shotcrete:**

El equipo de la Planta de Concreto no solo se encarga de la producción de concreto, sino también de actividades de control de calidad como mediciones de slump, ensayos de absorción de energía, control de espesores, y pruebas de resistencia a la compresión a distintas edades del concreto. Estas actividades se realizan siguiendo las normativas establecidas en el protocolo ESO-VOL-GEOM-11-01.

#### **4.2.3.2. TARPS PARA EL CONTROL DEL TERRENO**

En la sección 3.3., se discutió la implementación de los TARPs (Trigger Action Response Plans), diseñados para facilitar la toma de decisiones ante niveles de alerta específicos. Estos planes establecen protocolos de acción y comunicación para garantizar la seguridad de las personas, equipos, e infraestructura de la mina, minimizando el riesgo de accidentes en caso de condiciones inestables.

se incluyen los siguientes TARPs:

- TARP para la acción y respuesta ante la inestabilización de excavaciones debido al agua.
- TARP para el monitoreo de deformaciones con Smart Cable.
- TARP para el monitoreo con cinta extensiométrica.

Si los pernos no cumplen con los parámetros mínimos establecidos en el control de calidad, se deben tomar medidas correctivas, como la instalación de pernos adicionales o la sustitución de pernos defectuosos, especialmente si la instalación es realizada por una empresa externa.

#### **4.2.3.3. OTROS ELEMENTOS DE SOPORTE**

##### **Cable Bolting:**

El sistema de cable bolting utiliza cables de acero para proporcionar un anclaje inmediato y seguro, permitiendo la fortificación rápida de las labores mineras. Este sistema es obligatorio en todas las intersecciones de la Unidad Minera Animón, tanto en labores temporales como permanentes. Los cables deben tener una longitud mínima de 6 metros y estar instalados con cuña barril y placa galvanizadas, según las evaluaciones geomecánicas.

##### **Arcos Noruegos:**

En zonas con mayor deformación, donde el sostenimiento con shotcrete y malla no es suficiente, se utilizan ocasionalmente arcos noruegos. Estos arcos están contruidos con barras de acero de alta adherencia, conformando una estructura que se proyecta con shotcrete para garantizar su estabilidad. La instalación de estos arcos incluye un proceso de armado cuidadoso y la aplicación de una capa inicial de shotcrete de al menos 2 centímetros de espesor.

#### **4.3.Evaluación del shotcrete actual**

En esta sección, se procederá a una evaluación exhaustiva del shotcrete convencional actualmente utilizado en las labores de sostenimiento de la Unidad Minera Animon. Esta evaluación es fundamental para establecer una línea base con la cual comparar el rendimiento del shotcrete reforzado con fibra sintética. Se analizarán las propiedades físicas y mecánicas del shotcrete convencional, así como su dosificación y rendimiento en las diferentes labores mineras. Además, se llevará a cabo un análisis de los costos asociados al uso del shotcrete convencional, permitiendo una evaluación integral de su efectividad y eficiencia.

El concreto lanzado, según lo definido por la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras (EFNARC), es una mezcla de cemento,

agregados y agua que se proyecta neumáticamente desde una boquilla hacia un sitio específico, formando así una masa compacta y uniforme. Este tipo de concreto, conocido también como "shotcrete", generalmente incluye aditivos y puede incorporar fibras, ya sean metálicas o sintéticas, o incluso una combinación de ambas. Los términos "concreto lanzado" y "shotcrete" se refieren esencialmente al mismo material, utilizado en diversas aplicaciones para fortalecer estructuras.

**Tabla 25: Materiales**

Descripción Material	Dosificación	Denominación	Tipo Labor	RMR
Hormigon fibra de acero 65/35	20 Kgr/m <sup>3</sup>	Estandar	Permanente	>31
Hormigon fibra de acero 65/35	30 Kgr/m <sup>3</sup>	Especial	Permanente	<31
Hormigon fibra Sintética	5 Kgr/m <sup>3</sup>	Estándar	Temporal	>21
Hormigon fibra Sintética	7 Kgr/m <sup>3</sup>	Estándar	Temporal	<20

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Materiales empleados como parte del estudio de evaluación del shotcrete actual

Especificaciones del Estándar para el Concreto Lanzado:

- Tipos de Concreto: Para la aplicación de fibras sintéticas y de acero, se utilizan diferentes tipos de hormigón en función de la clasificación RMR (Rock Mass Rating) de la masa rocosa. La dosificación de los materiales se ajusta según esta valoración.
- Diseño del Hormigón: El diseño del hormigón lanzado sigue cuatro tipos de dosificación, los cuales se especifican en el cuadro mencionado. Estos diseños se presentan al final del documento.
- Ensayos de Granulometría: Para la arena fina utilizada en el concreto lanzado, se realiza un ensayo de granulometría conforme a la norma ASTM C136. El Módulo de Fineza debe encontrarse entre el 3 y 4%, mientras que la malla 200 debe registrar un rango de 3 a 3.5% según la norma ASTM C117, con una absorción del 3 al 4%.

- Ensayos de la Mezcla: La mezcla de shotcrete es sometida a una serie de ensayos, incluyendo la prueba de SLUMP (ASTM C-143) y la medición de temperatura (ASTM C-31). Además, se toman probetas cilíndricas para determinar la resistencia a la compresión del shotcrete a los 3, 7 y 28 días, siguiendo la norma ASTM C39.
- Resistencia a la Compresión: Se evalúa la resistencia a la compresión del shotcrete mediante muestras recogidas en el interior de la mina. Estas muestras, preparadas en paneles de 500x500x200 mm, se someten a pruebas según la Norma Europea EN 14488-5. Posteriormente, se extraen núcleos diamantinos de 3x6” (ASTM C39) para realizar ensayos de rotura a edades de 3, 7, 14 y 28 días.
- Ensayos de Resistencia Temprana: Se llevan a cabo ensayos de resistencia en edades tempranas utilizando una Pistola Hilti (prEN-14488-2) y un Dinamómetro para medir el fraguado inicial del shotcrete. En rocas clasificadas entre I y V, se espera que el shotcrete alcance una resistencia a la compresión de 1.5 a 2.5 MPa en un plazo de 3 horas.
- Ensayos de Flexotracción: Para determinar la energía absorbida por el shotcrete, se realizan ensayos de flexotracción en paneles cuadrados de 600 mm x 600 mm x 100 mm, conforme a la Norma Europea EFNARC 14488-5.
- Preparación de los Frentes de Trabajo: Es crucial que los frentes de labor estén limpios y que se verifique el desprendimiento de rocas antes de proceder con el lanzamiento del shotcrete.
- Presión de Proyección: La presión estática durante el lanzamiento del concreto debe mantenerse entre 5 y 7 bares. En su defecto, se puede utilizar una presión dinámica

de 4.0 a 4.5 bares, asegurando un caudal de aire constante de 12 a 13 m<sup>3</sup>/h durante el proceso.

- **Distancia de Proyección:** La distancia de proyección del shotcrete hacia la pared del macizo rocoso debe estar comprendida en un rango de 1.0 a 1.2 m. Es importante mantener la perpendicularidad y comenzar la proyección desde la parte inferior hacia la superior, siguiendo un patrón de movimientos ondulados.
- **Control del Rebote:** Durante el proceso de lanzado, el porcentaje de rebote del shotcrete debe ser inferior al 10% para asegurar la eficacia y calidad del revestimiento aplicado.

Este documento tiene como finalidad detallar las especificaciones técnicas y los procedimientos esenciales para la correcta elaboración, manejo y aplicación del shotcrete, una mezcla de concreto lanzado. Este tipo de concreto es indispensable en la minería subterránea, ya que se emplea para reforzar y estabilizar las estructuras internas de las minas, tales como túneles y galerías. El documento se enfoca en asegurar que la mezcla de shotcrete cumpla con los requisitos de calidad necesarios para soportar las difíciles condiciones que se encuentran en las operaciones mineras subterráneas, garantizando así la seguridad y durabilidad de las estructuras.

#### ***4.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO SHOTCRETE***

##### **Diseño del Hormigón Proyectado:**

- **Objetivo:** El diseño de la mezcla de shotcrete busca desarrollar un concreto adecuado para ser aplicado mediante proyección con equipos especializados. Este concreto debe adherirse eficazmente a las superficies rocosas y poseer una resistencia mecánica suficiente para cumplir su función de sostenimiento en las labores subterráneas.

- Especificación de la Fibra de Refuerzo:
  - La mezcla incorpora fibra de acero Dramix 65/35 como refuerzo, en dosificaciones de 20 kg y 30 kg por metro cúbico, ajustadas según las necesidades estructurales específicas.
  - La inclusión de fibra de acero mejora notablemente la resistencia a la tracción del concreto, reduce la propagación de fisuras y optimiza el desempeño del shotcrete bajo cargas dinámicas.

**Relación Agua/Cemento (a/c):**

La relación entre el agua y el cemento es un factor crítico que influye directamente en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto. En este caso, la relación a/c se ajusta para equilibrar la fluidez necesaria del shotcrete con la resistencia final requerida, asegurando que el concreto cumpla con los estándares necesarios

**Slump (Asentamiento):**

El asentamiento es una medida de la trabajabilidad del concreto. Se especifica un rango de asentamiento en pulgadas que varía según la dosificación y el tipo de trabajo a realizar, lo que garantiza que la mezcla tenga la consistencia adecuada para ser proyectada de manera efectiva.

**Agregados:**

- Procedencia de los Agregados:
  - Los agregados utilizados provienen de Cochamarca, una fuente local conocida por su calidad y consistencia.
- Volumen de Prueba:

- El volumen de prueba en metros cúbicos se especifica para asegurar que la mezcla cumple con las proporciones adecuadas de agregados finos y gruesos.
- Relación AF/AG (Agregado Fino/Agregado Grueso):
  - Se establece una relación de 100 - 0, lo que implica que se utiliza exclusivamente agregado fino, optimizando la mezcla para el proceso de proyección.

### **Cementante Total:**

Se especifica un contenido de cemento de 400 kg por metro cúbico de mezcla, lo que proporciona una base sólida de material cementante, esencial para la resistencia y durabilidad del shotcrete.

### **Materiales y Aditivos:**

#### **Cemento:**

- Tipo: Se emplea cemento Andino Tipo I, un cemento portland reconocido por su versatilidad y propiedades de fraguado y resistencia.
- Peso Seco: Se dosifica 400 kg por metro cúbico de mezcla, asegurando una proporción adecuada de cemento para alcanzar las propiedades mecánicas deseadas.

#### **Aditivos:**

- Viscocrete SC-90
  - Proveedor: Sika, una empresa globalmente reconocida en productos para la construcción.

- Dosificación: 2.77 kg por metro cúbico, lo que representa el 0.69% del peso total del cemento.
- Función: Este aditivo superplastificante mejora la trabajabilidad del concreto sin necesidad de aumentar el agua, permitiendo mantener una relación agua/cemento baja mientras se asegura que la mezcla sea lo suficientemente fluida para su proyección.
- Fibra Dramix 65/35:
  - Proveedor: Prodac, una empresa especializada en la producción de fibras de acero de alta calidad.
  - Dosificación: 20 kg y 30 kg por metro cúbico, representando el 5% y el 7.5% del peso total del cemento, respectivamente.
  - Función: La fibra de acero se añade para aumentar la resistencia a la tracción del shotcrete y disminuir la incidencia de fisuras bajo condiciones extremas en la mina.

#### Ensayos de Calidad del Concreto Fresco

El documento detalla una serie de ensayos que se realizan en la mezcla de concreto fresco para asegurar que cumple con los estándares de calidad antes de su aplicación en campo.

- Peso Unitario:
  - Se mide el peso unitario de la mezcla durante las diferentes fases de preparación para garantizar que la densidad del shotcrete es adecuada para las condiciones de trabajo en la mina.
- Aspectos Visuales

- Se inspeccionan características clave como la segregación y la exudación de la mezcla, aspectos críticos para evaluar la calidad y la idoneidad del shotcrete para su proyección.
- Temperatura:
  - Se registra la temperatura de la mezcla y del ambiente para asegurar que el shotcrete se aplica en condiciones óptimas, ya que las variaciones de temperatura pueden afectar negativamente el fraguado y las propiedades finales del concreto.
- Pérdida de Asentamiento:
  - Se mide la pérdida de asentamiento a lo largo del tiempo, desde los 0 minutos hasta los 120 minutos, evaluando cómo la mezcla se comporta y mantiene su trabajabilidad durante el período necesario para su proyección.

### **Procedimiento de Muestreo**

El muestreo de la mezcla es un paso crucial para garantizar que el shotcrete cumpla con los requisitos técnicos y normativos.

- Edades de Rotura:
  - Las muestras de concreto se preparan y se prueban para su resistencia a edades específicas de 3 y 7 días. Estas pruebas son esenciales para evaluar la ganancia de resistencia del concreto a corto plazo, asegurando que la mezcla pueda soportar las cargas previstas en las primeras etapas de servicio.
- Condiciones Ambientales:

- Durante el proceso de muestreo y prueba, se registran las condiciones ambientales, como la humedad relativa y la temperatura, ya que estas pueden influir en el fraguado y el rendimiento del shotcrete.

### **Consideraciones para la Dosificación**

- Corrección por Humedad:
  - Se incluyen procedimientos para ajustar las cantidades de los materiales en función de la humedad presente en los agregados, garantizando que la mezcla final tenga las proporciones adecuadas de agua, lo cual es fundamental para la resistencia y la trabajabilidad del concreto.
- Uso de Filler:
  - En ciertos diseños de mezcla, no se aplica filler, lo que indica un enfoque simplificado en la formulación de la mezcla, posiblemente para reducir costos o adaptarse a las condiciones específicas del sitio.

### **Pruebas de Resistencia y Rendimiento**

- Pruebas de Resistencia a la Compresión:
  - Las muestras de shotcrete se someten a pruebas de compresión para asegurar que alcanzan las resistencias mínimas especificadas, validando que la mezcla cumple con las expectativas de rendimiento estructural.
- Evaluación de la Durabilidad:
  - La durabilidad del shotcrete se evalúa mediante pruebas de resistencia a ciclos de congelación y descongelación, así como a la penetración de agua, asegurando que la mezcla pueda resistir las condiciones extremas y prolongadas en una operación minera.

## **Implementación y Control de Calidad**

El documento también incluye lineamientos sobre cómo implementar un sistema de control de calidad en campo, cubriendo aspectos clave como:

- Supervisión en la Aplicación:
  - Asegurar que la mezcla se aplique de manera uniforme y consistente, con una supervisión constante para evitar errores en la dosificación y aplicación.
- Documentación y Registro:
  - Mantener registros detallados de todas las pruebas y ajustes realizados, lo cual facilita la trazabilidad y la mejora continua de los procesos.

### **4.4.Evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética**

El uso de fibras sintéticas como refuerzo en el shotcrete representa una innovación en las técnicas de sostenimiento, con el potencial de mejorar el rendimiento mecánico y reducir los costos asociados. En esta sección, se procederá a una evaluación exhaustiva del shotcrete reforzado con fibra sintética, analizando los tipos de fibras utilizadas, la dosificación óptima y las propiedades resultantes del shotcrete. Se comparará el rendimiento del shotcrete reforzado con el del shotcrete convencional, evaluando su capacidad para proporcionar un sostenimiento eficaz y económico en las diferentes labores mineras de la Unidad Minera Animon.

#### ***4.4.1. EVALUACIÓN DE LA FIBRA SINTÉTICA BARCHIP EN EL SHOTCRETE***

##### **Análisis del Comportamiento del Shotcrete en Excavaciones Subterráneas**

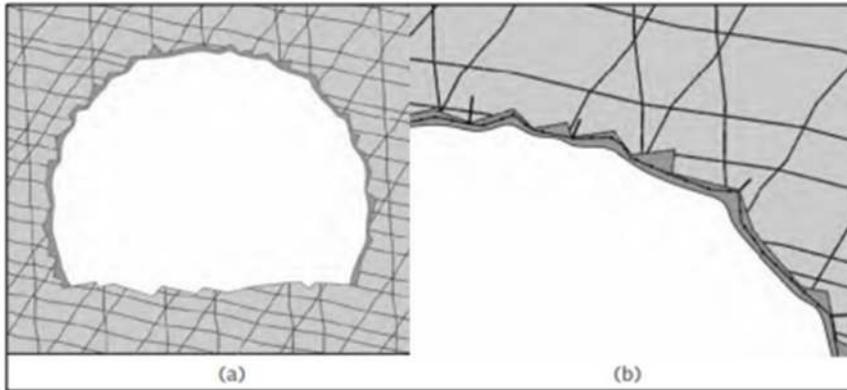
Cuando se analiza la aplicación de shotcrete en una excavación subterránea realizada en un macizo rocoso fracturado, se deben tener en cuenta varias consideraciones críticas debido a la naturaleza irregular y compleja de la excavación. Estas excavaciones, que se llevan a cabo

mediante métodos como perforación y voladura, presentan desafíos únicos que afectan tanto el comportamiento del shotcrete como su eficacia en el refuerzo de la estructura.

- Irregularidad del Perfil de la Sección: El contorno de la excavación puede ser extremadamente irregular, especialmente en el caso de un macizo rocoso con múltiples sistemas de discontinuidad. Esta irregularidad implica que, para espesores pequeños de shotcrete, las irregularidades del contorno del túnel se vuelven muy significativas, afectando la uniformidad y efectividad del recubrimiento.
- Espesor y Homogeneidad del Shotcrete: El espesor del shotcrete aplicado no será constante ni homogéneo a lo largo de toda la superficie de la excavación. Esto puede dar lugar a la presencia de vacíos y puntos débiles dentro de la capa de shotcrete, lo que compromete su capacidad para actuar como una barrera uniforme y eficaz.
- Comportamiento Inicial del Shotcrete: Durante las primeras horas después de su aplicación, el shotcrete exhibe un comportamiento viscoso y altamente deformable. Este material plástico se adapta rápidamente a las deformaciones del macizo rocoso, pero cuando adquiere suficiente rigidez y resistencia, sus características difieren notablemente de un material homogéneo, continuo e isótropo.

Debido a estas condiciones, es difícil concebir que una capa delgada de shotcrete pueda comportarse de manera ideal como un arco portante, y es poco realista analizarla utilizando modelos homogéneos tradicionales, como vigas o placas. Un perfil optimista de la sección de análisis podría parecerse a lo representado en la Figura. Si se aplican de 5 a 10 cm de shotcrete, el contorno ampliado del túnel se vería como en la Figura.

**Figura 35: Contribuciones del Shotcrete a la Estabilización y Refuerzo de Excavaciones**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Contribuciones del Shotcrete a la Estabilización y Refuerzo de Excavaciones como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

El shotcrete aporta varias mejoras significativas en la estabilización y el refuerzo de excavaciones subterráneas en roca:

- Estabilización: Sella grietas, fisuras y otras discontinuidades presentes en la superficie expuesta del macizo rocoso, contribuyendo a la estabilización inmediata de la excavación.
- Refuerzo: Al endurecerse, el shotcrete aumenta la resistencia de la superficie interna del macizo rocoso a través del efecto de "membrana resistente", actuando como un refuerzo adicional.
- Protección: Crea una capa endurecida que protege la roca expuesta de los efectos perjudiciales de la meteorización, preservando su integridad a largo plazo.
- Adhesión y Restricción de Deformaciones: En su estado plástico, el shotcrete sigue de cerca las deformaciones del macizo rocoso al que está adherido, reduciéndolas

hasta cierto punto. Una vez endurecido, el shotcrete restringe las deformaciones diferidas del terreno, ofreciendo resistencia adicional hasta alcanzar su límite de rotura.

Una consideración fundamental es que, al aplicarse una capa delgada de shotcrete en una excavación subterránea con un contorno irregular, este material se integra al terreno y está sujeto desde el principio a esfuerzos que generan flexión.

#### **4.4.1.1. DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL CONCRETO LANZADO CON FIBRA SINTÉTICA**

El diseño del shotcrete reforzado con fibra sintética se centra en mejorar su capacidad de flexión, un aspecto crucial dado el entorno en el que se aplica. La interacción compleja entre el macizo rocoso, que está al límite de su capacidad de carga, y una capa de shotcrete de espesor variable, con propiedades que cambian con el tiempo, desafía los intentos de análisis teórico convencional. Por lo tanto, el parámetro de análisis más relevante para el diseño del shotcrete es su capacidad de flexión, medida y definida como absorción de energía (Joule).

#### **4.4.1.2. CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL SHOTCRETE**

Tradicionalmente, la resistencia a la compresión simple ha sido el parámetro básico para definir el comportamiento del concreto convencional, con otras resistencias (tensión, flexión, cortante) y el módulo de elasticidad derivados de correlaciones simples con dicha resistencia. Sin embargo, cuando se trata de shotcrete aplicado en el contorno de una excavación, el comportamiento real de este material dista mucho de lo esperado en configuraciones preestablecidas para concreto convencional. Por esta razón, es más adecuado hablar de su comportamiento y capacidad in situ, siendo la capacidad de flexión, expresada en términos de absorción de energía, el parámetro crucial.

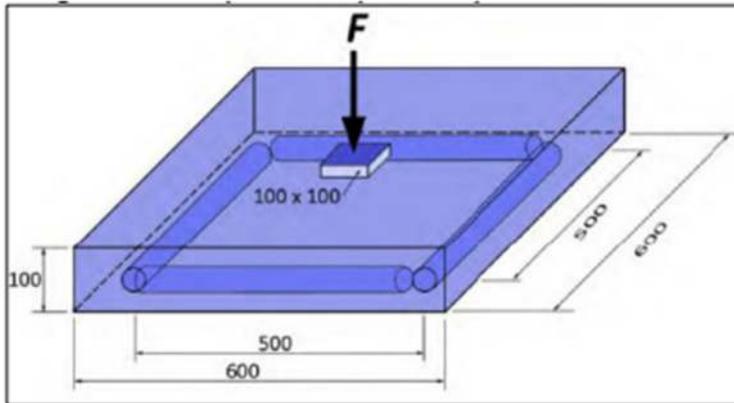
#### **4.4.1.3. ENSAYOS ESPECÍFICOS PARA SHOTCRETE CON FIBRA EN EXCAVACIONES ROCOSAS**

Para el shotcrete aplicado en excavaciones rocosas, la norma europea EN 14487-1 establece los estándares que deben cumplir las mezclas, especialmente en estructuras que interactúan con el terreno. Esta norma permite el uso de vías secas o húmedas y especifica cómo se debe medir la ductilidad del shotcrete, ya sea en términos de resistencia residual o capacidad de absorción de energía, aunque distingue que son conceptos diferentes. De acuerdo con De Rivaz (2011), la absorción de energía medida en un panel cuadrado puede ser un valor de diseño adecuado cuando se requiere que el sistema absorba energía durante la deformación de la roca, especialmente en el shotcrete combinado con pernos de sostenimiento.

La compañía Ferroviaria Nacional (SNFC) de Francia, junto con el laboratorio Alpes Essai, diseñaron una prueba para medir la absorción de energía específica para sostenimientos de túneles bajo presiones de roca en torno a los pernos de anclaje. Esta prueba, avalada por EFNARC y recogida en la Norma Europea EN 14487, consiste en un ensayo de punzonamiento y flexión sobre un panel cuadrado apoyado en los cuatro bordes, con una carga puntual aplicada en el centro del panel. El panel mide 600×600×100 mm y la carga se aplica en una superficie de contacto de 100×100 mm<sup>2</sup>, registrando la curva carga-deflexión hasta alcanzar 25 mm al centro del panel.

#### **4.4.1.4. CLASIFICACIONES DEL CONCRETO LANZADO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO**

**Figura 36: Esquema del panel de punzonamiento**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Esquema del panel de punzonamiento como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sinteítica

Según la Norma Europea, los resultados de las pruebas de punzonamiento permiten clasificar el Concreto Lanzado Reforzado con Fibra de Acero (CLRFA) en tres categorías: E500, E700 y E1000, correspondientes a concretos con una resistencia a la compresión de 280 - 300 kg/cm<sup>2</sup>. Estas categorías indican la capacidad de absorción de energía del shotcrete bajo diferentes condiciones del terreno:

- 500 Joules: Para terrenos de buena calidad.
- 700 Joules: Para terrenos de calidad intermedia.
- 1,000 Joules: Para condiciones difíciles.

Estas clasificaciones proporcionan una guía valiosa para seleccionar el tipo de shotcrete adecuado según las exigencias específicas del entorno subterráneo en el que se aplicará.

#### **4.4.1.5. PROCESO DE PRUEBAS**

En el proceso de pruebas para evaluar la eficacia de la fibra sintética Barchip R50 en el shotcrete, se implementaron una serie de pasos rigurosos y detallados para asegurar la precisión y la calidad de los resultados obtenidos. La supervisión de todas las etapas del proceso, desde la dosificación hasta la aplicación del shotcrete, fue realizada por Miguel Vicente, Técnico de Calidad en la planta de concreto, y Steve Tinoco, Técnico Geomecánico de Chungar. Este equipo de supervisores se encargó de monitorear y ajustar variables críticas como la presión del aire, el ángulo de lanzamiento y el método de llenado de los paneles, considerando aspectos como la superficie a proyectar, el espacio disponible para la aplicación y la técnica de lanzado empleada.

En el laboratorio de calidad, se llevaron a cabo ensayos exhaustivos para diseñar mezclas de shotcrete con diferentes dosificaciones de fibra Barchip R50: 5, 6 y 7 Kg/m<sup>3</sup>. Cada diseño de mezcla se preparó en pequeños lotes de 0.025 litros para evaluar la trabajabilidad del shotcrete. Estas mezclas fueron formuladas utilizando el diseño de shotcrete actual como referencia, lo que permitió una comparación precisa y una evaluación de la eficacia del refuerzo con fibra sintética en las condiciones experimentales.

Para evaluar el rendimiento y la aplicabilidad del shotcrete con fibra, se emplearon tanto diseños teóricos como prácticas en el laboratorio y en campo. Esta metodología garantizó una comprensión integral del comportamiento del shotcrete bajo diferentes condiciones y permitió ajustar los parámetros de la mezcla para optimizar su rendimiento en aplicaciones reales.

**Tabla 26: Diseños shotcrete teóricos**

<b>Diseño 01</b>	<b>Diseño 02</b>	<b>Diseño3</b>
Cemento: 400 Kg.	Cemento: 400 Kg.	Cemento: 400 Kg.
Arena: 1596 Kg.	Arena: 1593 Kg.	Arena: 1591 Kg.
Agua: 176 Lt.	Agua: 176 Lt.	Agua: 176 Lt.
SC 90: 2.5 Lt.	Sc90: 2.5 Lt.	SC 90: 2.5 Lt.
Barchip R50: 5.0 Kg	Barchip R50: 6.0 Kg.	Barchip R50: 7.0 Kg.

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Diseños shotcrete teóricos como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sinteítica

En el contexto del desarrollo de los trabajos de diseño y aplicación de shotcrete en la planta de concreto e interior de mina, se llevaron a cabo procedimientos específicos que involucraron la incorporación de la fibra sintética BarChip R50 en diversas dosificaciones, específicamente en proporciones de 5, 6, y 7 Kg/m<sup>3</sup>. Este proceso fue realizado en la planta de concreto, donde el personal técnico de calidad se encargó de la dosificación precisa de la fibra en las mezclas correspondientes, garantizando que cada diseño cumpliera con los parámetros establecidos para su evaluación.

El diseño de shotcrete con una dosificación de 7 Kg/m<sup>3</sup> se inició el 12 de octubre de 2021. Durante el desarrollo de este diseño, se registraron datos relevantes como la caída de mezcla o "slump," que fue de 8 ¾" en la planta de concreto y 5 ¾" en la labor. Además, se tomaron lecturas de temperatura, donde la temperatura del concreto en la planta fue de 16 °C y en la labor alcanzó los 19.9 °C. La temperatura ambiente también fue monitoreada, siendo de 7.2 °C en la planta y 3 °C en la labor. Es importante destacar que el tiempo de traslado del concreto desde la planta hasta la labor fue de aproximadamente 1 hora y 50 minutos, lo que influyó en las propiedades finales del shotcrete.

Para el diseño con 6 Kg/m<sup>3</sup> de fibra, también iniciado el 12 de octubre de 2021, se registró un "slump" uniforme de 9" tanto en la planta como en la labor. Las temperaturas del concreto y del ambiente fueron de 20.1 °C y 7.2 °C respectivamente en la planta, y de 20 °C y 3.5 °C en la labor. En este caso, el tiempo de traslado fue de 34 minutos, lo que permitió un control más preciso de las propiedades del shotcrete en el sitio de aplicación.

Respecto al diseño con 5 Kg/m<sup>3</sup>, que comenzó el 13 de octubre de 2021, el "slump" registrado fue de 6" tanto en la planta como en la labor, manteniendo la uniformidad deseada para la aplicación. Las temperaturas fueron de 18.1 °C y 7.4 °C en la planta, y de 24.2 °C y 20.1 °C en la labor, con un tiempo de traslado de 2 horas y 6 minutos. Durante este proceso, el técnico de calidad, Miguel Vicente, se encargó de regularizar la mezcla en la labor para garantizar que el "slump" se mantuviera en los 6", asegurando así la trabajabilidad y consistencia del shotcrete.

En cuanto a la presión de aire utilizada en la proyección del shotcrete, se observó que, en promedio, la presión estática fue de 4 bares, mientras que la presión en flujo fue de 3.3 bares. Este dato es relevante ya que la presión de aire juega un papel crucial en la calidad del lanzado del shotcrete, afectando su adherencia y compactación en la superficie de la roca.

Finalmente, se realizaron tomas de muestras en paneles cuadrados utilizando las tres dosificaciones de fibra mencionadas (5, 6 y 7 Kg/m<sup>3</sup>) en diferentes labores subterráneas. Las muestras se extrajeron de la Rampa Terry progresiva 0+150 para las dosificaciones de 7 y 6 Kg/m<sup>3</sup>, y del Nivel 4275 Acceso 500-3 Anda Lucia para la dosificación de 5 Kg/m<sup>3</sup>. Las pruebas demostraron que la mezcla presentaba una buena apariencia y trabajabilidad, con una homogeneización adecuada de la fibra BarChip R50 con los demás componentes del shotcrete. Asimismo, la presión de aire empleada en la mina durante el lanzado se mantuvo en un rango regular de 3.3 bares, lo que contribuyó a una proyección efectiva del material.

Los resultados obtenidos a partir de estas pruebas serán fundamentales para evaluar el desempeño del shotcrete reforzado con fibra sintética en las condiciones específicas de la mina, permitiendo determinar su viabilidad como método de sostenimiento en operaciones subterráneas.

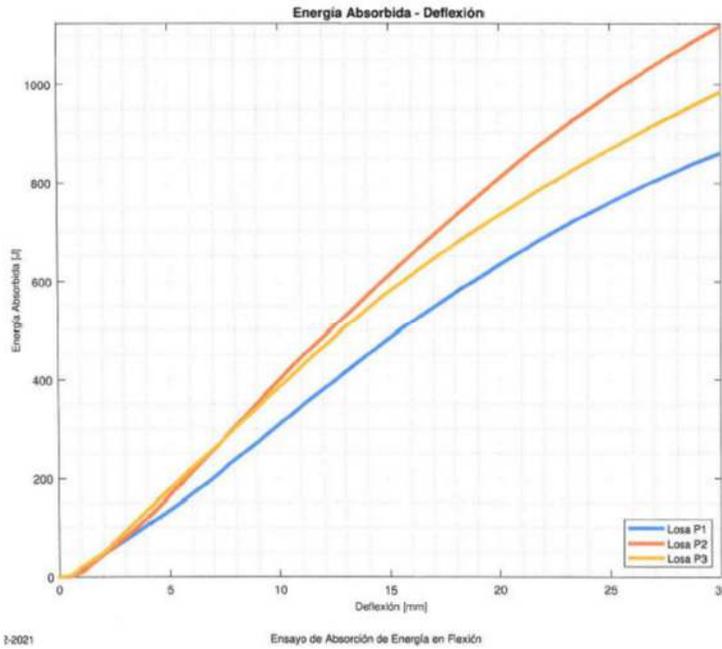
**Tabla 27: Resultados de ensayo con 5 Kg/m<sup>3</sup>**

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados									
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-30mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (kN)	42.641	42.641	16.796	31.371	36.629	33.261	28.067	22.470	17.871	16.796
	Deflexión (mm)	1.067	1.067	31.727	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	31.727
	Energ. Abs. (J)	15.053	15.053	891.013	135.067	308.140	483.348	634.237	760.310	860.969	891.013
P-2	Carga (kN)	42.134	46.024	26.061	48.017	47.320	41.226	37.589	30.770	26.058	26.061
	Deflexión (mm)	1.326	4.978	30.160	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.160
	Energ. Abs. (J)	20.177	163.183	1123.703	164.399	398.404	612.881	809.934	979.624	1119.542	1123.703
P-3	Carga (kN)	43.528	45.822	21.933	42.311	41.097	33.915	28.709	24.865	22.482	21.933
	Deflexión (mm)	0.860	4.463	30.748	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.748
	Energ. Abs. (J)	13.534	154.589	1002.315	177.271	383.966	579.180	735.349	868.173	985.648	1002.315

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de ensayo con 5 Kg/m<sup>3</sup> como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

**Figura 37: Resultados de ensayo con 5 Kg/m3**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de ensayo con 5 Kg/m3 como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética.

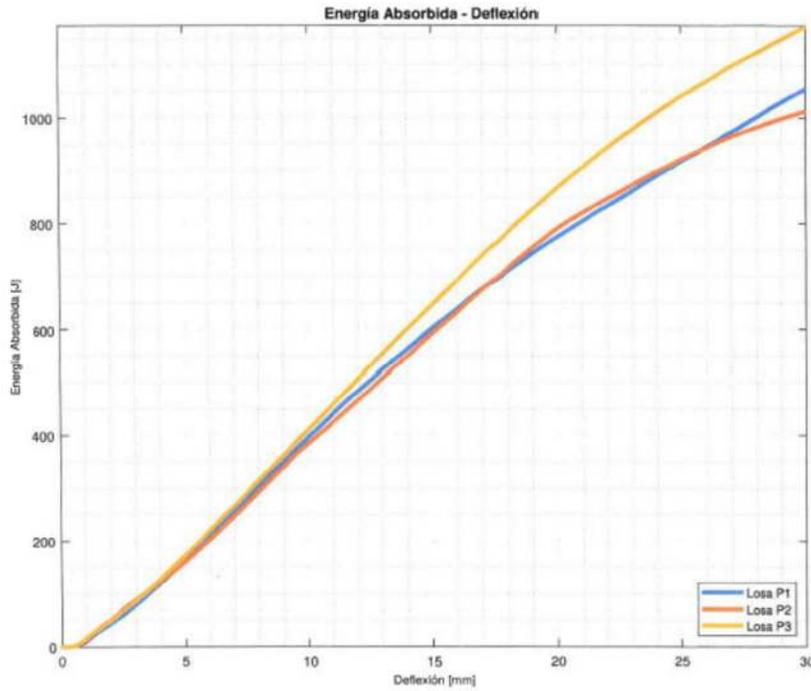
**Tabla 28: Resultados de ensayo con 6 Kg/m3**

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados									
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-30mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (kN)	43.574	46.993	25.899	44.475	45.962	38.588	30.631	26.748	25.904	25.899
	Deflexión (mm)	1.142	8.421	30.027	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.027
	Energ. Abs. (J)	17.077	323.260	1056.229	163.812	396.742	602.013	775.248	917.993	1055.571	1056.229
P-2	Carga (kN)	44.598	48.273	13.835	39.923	40.262	42.002	33.223	22.854	14.015	13.835
	Deflexión (mm)	1.038	9.412	30.157	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.157
	Energ. Abs. (J)	15.796	360.327	1015.188	161.598	384.974	591.873	790.953	921.541	1013.018	1015.188
P-3	Carga (kN)	42.373	48.769	24.959	46.094	48.185	46.161	39.768	28.612	24.942	24.959
	Deflexión (mm)	0.978	9.609	30.059	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.059
	Energ. Abs. (J)	15.719	392.246	1174.619	173.351	411.263	647.117	867.376	1040.987	1173.184	1174.619

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de ensayo con 6 Kg/m3 como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

**Figura 38: Resultados de ensayo con 6 Kg/m3**



1021 Ensayo de Absorción de Energía en Flexión

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de ensayo con 6 Kg/m3 como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

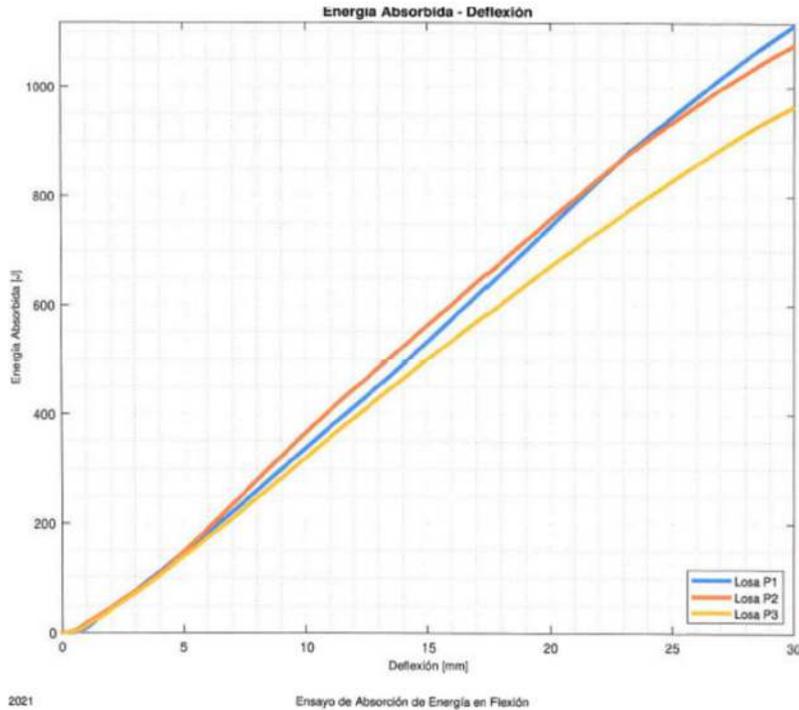
**Tabla 29: Resultados de ensayo con 7 Kg/m3**

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados									
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-30mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (kN)	44.425	44.425	30.233	36.327	38.364	41.709	43.189	36.634	30.371	30.233
	Deflexión (mm)	1.253	1.253	30.122	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.122
	Energ. Abs. (J)	18.204	18.204	1117.610	146.764	336.807	532.217	744.198	945.761	1114.031	1117.610
P-2	Carga (kN)	35.139	44.751	25.771	41.372	42.371	38.951	38.441	32.085	25.874	25.771
	Deflexión (mm)	0.891	6.406	30.071	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.071
	Energ. Abs. (J)	14.063	208.529	1080.304	147.524	364.702	562.193	757.712	935.205	1078.537	1080.304
P-3	Carga (kN)	33.516	38.447	20.555	33.362	37.783	34.983	32.358	30.068	21.316	20.555
	Deflexión (mm)	1.001	2.073	30.127	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	30.127
	Energ. Abs. (J)	13.048	44.865	967.517	140.075	319.108	499.616	671.350	828.420	964.909	967.517

Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de ensayo con 7 Kg/m3 como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

**Figura 39: Resultados de ensayo con 7 Kg/m<sup>3</sup>**



Fuente: Área Geomecánica

Nota: Resultados de ensayo con 7 Kg/m<sup>3</sup> como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

Las pruebas de resistencia de los paneles de concreto, realizadas en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú, proporcionaron datos clave para evaluar la efectividad del uso de la fibra sintética BarChip R50 en el shotcrete utilizado en operaciones mineras. En estas pruebas, se midió la energía de absorción del shotcrete, un indicador esencial de su capacidad para soportar cargas y deformaciones sin sufrir daños estructurales.

Los resultados mostraron que la energía de absorción varía según la cantidad de fibra incorporada en la mezcla. Para la mezcla con 5 kg/m<sup>3</sup> de fibra, los valores de energía de absorción oscilaron entre 891.0 y 1123.7. En el caso de la mezcla con 6 kg/m<sup>3</sup> de fibra, la energía absorbida se situó en un rango de 1015.1 a 1174.6. Finalmente, la mezcla con 7 kg/m<sup>3</sup> de fibra presentó un

rango de absorción de energía de entre 967.5 y 1117.6. Estos resultados subrayan que el incremento de la cantidad de fibra no sigue una relación lineal directa con la mejora en la capacidad de absorción de energía, sino que depende de una combinación de factores que incluyen la mezcla, la aplicación y las condiciones específicas de cada prueba.

Un aspecto crítico revelado por estas pruebas es que la fibra sintética BarChip R50 demuestra una notable resistencia al agua ácida, lo que es de suma importancia en el entorno minero, donde la exposición a condiciones agresivas es frecuente. Esta resistencia asegura que el comportamiento a la flexión del shotcrete no se degrade con el tiempo, manteniendo su capacidad de soporte estructural en el largo plazo.

A la luz de estos resultados, se propone la implementación del uso de la fibra sintética como un componente estándar en las operaciones de sostenimiento de mina, dado que ofrece ventajas claras en términos de durabilidad y capacidad de absorción de energía. No obstante, antes de proceder con la implementación generalizada, es necesario realizar una evaluación detallada en conjunto con el área de servicios de mina. Esta evaluación debe considerar la viabilidad técnica de integrar la fibra sintética en el sistema existente, prestando especial atención a la protección de equipos críticos como las bombas de agua, ya que la presencia de la fibra podría alterar su funcionamiento.

Asimismo, es fundamental coordinar con el área de planta de concentrado para analizar cómo la fibra sintética podría afectar el procesamiento y tratamiento del mineral. Este análisis debe asegurar que la incorporación de la fibra en el shotcrete no interfiera negativamente en las etapas posteriores del procesamiento mineral, garantizando que su uso sea seguro y efectivo en toda la cadena operativa de la mina.

**Figura 40:** CA 16 VAND 4350, Rp lanzado con shotcrete y fibra sintética



Fuente: Elaboración Propia como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

**Figura 41:** Fibras empleadas



Fuente: Elaboración Propia como parte del estudio de evaluación del shotcrete reforzado con fibra sintética

#### ***4.4.2. EVALUACIÓN DE LA FIBRA SINTÉTICA DSI FS 500 EN LA UNIDAD MINERA ANIMÓN***

La compañía DSI Underground Perú S.A.C., en colaboración con el equipo de Geomecánica de la empresa minera CHUNGAR, llevó a cabo una evaluación técnica exhaustiva en la Unidad Minera Animón. Esta evaluación se centró en demostrar la eficacia de su producto, la fibra sintética DSI FS 500, en condiciones subterráneas. Con el fin de validar el desempeño de esta fibra en el entorno minero, se planificó y ejecutó una serie de pruebas de absorción de energía mediante el lanzamiento de paneles en interior mina.

La supervisión de las actividades de laboratorio estuvo a cargo del técnico Miguel Vicente Silvestre, quien veló por el cumplimiento de los protocolos establecidos durante todo el proceso. DSI Underground Perú S.A.C. llevó a cabo las coordinaciones necesarias con el ingeniero Wilson Suaña para asegurar que el lanzamiento de los paneles se realizara de manera eficiente y conforme a la dosificación actual utilizada en la mina, que es de 5 kg/m<sup>3</sup> de fibra sintética.

El día de la evaluación, el equipo, acompañado por el técnico Miguel Vicente, ingresó a las instalaciones subterráneas de la labor SN 300 en el Nivel 225 Andalucía. En esta área específica, se procedió con el lanzamiento de cinco paneles utilizando la fibra DSI FS 500. De estos paneles, tres fueron seleccionados para ser enviados al laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) para su análisis exhaustivo, mientras que los otros dos fueron ensayados en el laboratorio de planta de shotcrete de Animón después de un período de curado de 28 días.

Además de las pruebas de absorción de energía, se incluyó un ensayo físico de los agregados utilizados en la mezcla de shotcrete. Este paso fue fundamental para garantizar que los materiales utilizados cumplieran con los estándares de calidad y control necesarios para asegurar la validez de los resultados obtenidos. Esta evaluación de los agregados también proporciona una

base sólida para la interpretación de los resultados, asegurando que cualquier variación en el desempeño del shotcrete pueda ser atribuida con precisión a la fibra sintética DSI FS 500, y no a inconsistencias en los materiales base.

**Tabla 30: Normas ASTM.**

NOMBRE DEL ENSAYO	NORMA
Granulometría	ASTM C-139-96
Módulo de Fineza	ASTM C-139-96
Contenido de Humedad	ASTM D-2216
Material más fino tamiz 200	ASTM C-177
Peso Específico y Absorción del agregado	ASTM C-128

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 31: Resultados de Ensayos Físicos.**

NOMBRE DEL ENSAYO	RESULTADO
Módulo de Fineza	3.82
Contenido de Humedad	10.0
Pasante Malla 200	2.95
Peso Específico de masa	2.512
Peso Específico S.S.S.	2.533
% Absorción	4.0

Fuente: Elaboración Propia

Diseño de mezcla (Animón) El diseño de mezcla, fue el utilizado actualmente en la unidad A/C: 0.44 y Aditivo Hiperplastificante 0.75%.

**Tabla 32: Diseño de Mezcla Animón**

Diseño de mezcla Animón							
Materiales	Procedencia	Peso específico kg/m <sup>3</sup>	Humedad %	Absorción %	Peso seco kg/m <sup>3</sup>	Tanda de prueba	
						Dosificación	Und
Cemento t-i	Andino	3115			400	400	Kg
Arena	Vico	2533.0	10.5	4.0	1585	1698.34	Kg
Agua	Mina	1000.0			176	87.66	Kg
Aditivo plastificante	Sika	1111.0			3.108	3	Kg
Fibra sintética fs 500	Dsi	756.0			5	5	Kg
Aditivo acelerante	Sika	1430.0			12	12	Kg
Total					2206.0	2206.0	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 33: Cuadro de Asentamiento.**

PERDIDA DE ASENTAMIENTO				
Lugar	Hora	Slump (Pulg.)	T. Amb. (°C)	T. Conc. (°C)
Planta de shotcrete Animón	10:10	9	7.5	16.5
Int. Mina SN 300 Andalucía	12:05	6 1/2	22.8	19.8

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 34: Resultados de absorción de energía realizado en PUCP**

Muestra	Unidad Minera	Labor de lanzado	Dosificación (kg/m <sup>3</sup> )	Fecha de Lanzado	Fecha de Ensayo PUPC	Energía abs. (J)
P1		SN 300	5	10-Abr	8-May	1195
P1	Animón	NV 225	5	10-Abr	8-May	1318
P3		Andalucía	5	10-Abr	8-May	1213

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron pruebas utilizando una dosificación de 5 kg/m<sup>3</sup> de la fibra sintética DSI FS 500 en cinco paneles. Para estas pruebas, se empleó un diseño de mezcla que incluía la fibra sintética y aditivos de Sika. Las condiciones de aplicación fueron las habituales en la mina, con una presión de aire de lanzado establecida en 3 bares. Durante el proceso, se midió el asentamiento del concreto (slump), que resultó en 9 pulgadas en la planta y 6.5 pulgadas en el interior de la mina, después de aproximadamente dos horas.

La supervisión de los trabajos estuvo a cargo de la empresa ROBOCON, garantizando la calidad del proceso. Según el informe INF-LE-115-23, elaborado por la Pontificia Universidad Católica del Perú, los resultados de absorción de energía, basados en el promedio de tres ensayos, alcanzaron los 1242.55 joules, cumpliendo así con los estándares requeridos por la empresa minera Chungar en la Unidad Minera Animón.

Se recomienda que los paneles lanzados sean retirados del interior de la mina en un plazo de 24 horas para evitar posibles daños causados por voladuras o el tránsito de equipos. Además, se sugiere realizar un adecuado curado de los paneles para asegurar el rendimiento óptimo del shotcrete.

Las imágenes adjuntas muestran diferentes etapas del proceso: pruebas de asentamiento en planta con un slump de 9 pulgadas, el lanzamiento del shotcrete en los paneles en la labor SN 300 NV 225 ANDALUCIA a una presión de 3 bares, y la colocación de los paneles para su

lanzamiento. También se documentó la utilización del equipo robot lanzador 75 y el aspecto final de los paneles con la fibra DSI FS 500.

**Figura 42: Pruebas de asentamiento – planta, con slump de 9”.**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 43: Lanzado de shotcrete en paneles, labor SN 300 NV 225 ANDALUCIA, zona IESA, a presión de 3 bar**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 44: Colocado de paneles en labor SN 300 para lanzado.**



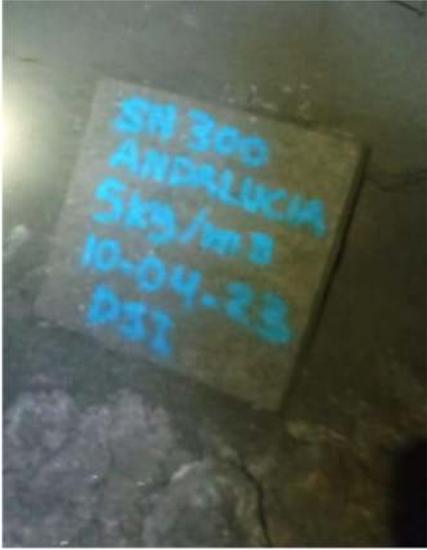
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 45:** Presión de lanzamiento de 3 bar, equipo robot lanzador 75.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 46:** Panel lanzado, fibra DSI FS 500, dosificación de 5kg/m<sup>3</sup>.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 47: Fibra DSI FS 500 utilizada para pruebas de absorción de energía mediante lanzado de paneles.**



Fuente: Elaboración Propia

### **4.4.3. COMPARACIÓN DETALLADA DE LAS FIBRAS SINTÉTICAS BARCHIP R50 Y DSI FS 500**

El uso de fibras sintéticas como refuerzo en el shotcrete es una práctica común en la minería subterránea, ya que mejora la resistencia del material, particularmente en cuanto a la absorción de energía, lo que es crucial para la seguridad y estabilidad de las labores. A continuación, se presenta una comparación detallada entre las fibras sintéticas Barchip R50 y DSI FS 500, basándome en los informes técnicos proporcionados.

#### **4.4.3.1. FIBRA SINTÉTICA BARCHIP R50**

##### **4.4.3.1.1. CONDICIONES DE PRUEBA**

- a) Ubicación: Las pruebas de la fibra Barchip R50 se llevaron a cabo en entornos subterráneos en una mina activa.
- b) Dosificaciones Evaluadas: Se realizaron pruebas con tres diferentes dosificaciones: 5 kg/m<sup>3</sup>, 6 kg/m<sup>3</sup>, y 7 kg/m<sup>3</sup>, para evaluar su efectividad en distintas concentraciones.
- c) Métodos de Evaluación: Las evaluaciones incluyeron la medición de la absorción de energía, la trabajabilidad de la mezcla de shotcrete y su comportamiento en condiciones reales de mina.

##### **4.4.3.1.2. RENDIMIENTO EN ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

- a) 5 kg/m<sup>3</sup>:
  - a. Los paneles de shotcrete reforzados con 5 kg/m<sup>3</sup> de Barchip R50 mostraron una absorción de energía que osciló entre 891.0 J y 1120.0 J.

- b. Estos valores son indicativos de un refuerzo moderado, adecuado para condiciones menos exigentes o donde se requiere un equilibrio entre costo y rendimiento.
- b) 6 kg/m<sup>3</sup>:
- a. Aumentando la dosificación a 6 kg/m<sup>3</sup>, se observó una mejora significativa en la absorción de energía, aunque los valores específicos no se detallan en el informe.
  - b. Este incremento en la dosificación proporcionó un refuerzo adicional, mejorando la resistencia a impactos y deformaciones.
- c) 7 kg/m<sup>3</sup>:
- a. Con una dosificación de 7 kg/m<sup>3</sup>, Barchip R50 ofreció la mayor absorción de energía entre las tres dosificaciones probadas, demostrando que mayores concentraciones de fibra aumentan la capacidad del shotcrete para resistir tensiones y deformaciones.

#### ***4.4.3.1.3. TRABAJABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL SHOTCRETE***

- a) Consistencia y Manejo:
- a. La mezcla de shotcrete con Barchip R50 mantuvo una buena consistencia en todas las dosificaciones, facilitando su aplicación en las condiciones subterráneas.
  - b. El shotcrete reforzado con esta fibra no mostró problemas significativos de segregación o pérdida de asentamiento, lo que es crucial para su aplicación en túneles y galerías mineras.

b) Efectos en la Aplicación:

- a. Durante la aplicación, la fibra Barchip R50 permitió una proyección uniforme y una cobertura adecuada de las superficies, lo que es fundamental para asegurar la calidad y durabilidad del soporte estructural.

**4.4.3.1.4. CONCLUSIONES DEL RENDIMIENTO**

a) Ventajas:

- a. Barchip R50 demostró ser una opción efectiva para mejorar la resistencia del shotcrete, especialmente en cuanto a absorción de energía y trabajabilidad.
- b. Es particularmente beneficiosa en escenarios donde se necesita un refuerzo medio a alto, dependiendo de la dosificación utilizada.

b) Desventajas:

- a. Aunque su rendimiento es adecuado, el costo podría ser un factor limitante si se requieren dosificaciones más altas para alcanzar los niveles de absorción de energía deseados.

**4.4.3.2. FIBRA SINTÉTICA DSI FS 500**

**4.4.3.2.1. CONDICIONES DE PRUEBA**

- a) Ubicación: Las pruebas de la fibra DSI FS 500 se realizaron en la U.M. Animón, dentro de la Compañía Minera Chungar.
- b) Dosificación Evaluada: La fibra DSI FS 500 se probó con una dosificación fija de 5 kg/m<sup>3</sup> en condiciones típicas de mina.
- c) Métodos de Evaluación: Se lanzaron cinco paneles de shotcrete reforzado con DSI FS 500, tres de los cuales fueron enviados al laboratorio de la PUCP para pruebas

de absorción de energía. Las pruebas también incluyeron la medición del slump (asentamiento) y la observación de la trabajabilidad en condiciones de mina.

#### **4.4.3.2.2. RENDIMIENTO EN ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

a) 5 kg/m<sup>3</sup>:

- a. Los resultados obtenidos indicaron una absorción de energía promedio de 1242.55 J, un valor superior al observado con la misma dosificación de Barchip R50.
- b. Este desempeño destaca la efectividad de la DSI FS 500 para incrementar la resistencia del shotcrete en entornos mineros exigentes.
- c. El cumplimiento con los requisitos del cliente en términos de calidad y control fue confirmado, lo que respalda su uso en aplicaciones donde la seguridad y la durabilidad son prioritarias.

#### **4.4.3.2.3. TRABAJABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL SHOTCRETE**

a) Pérdida de Asentamiento:

- a. Se midió una pérdida de asentamiento desde 9 pulgadas en la planta de shotcrete hasta 6.5 pulgadas en el interior de la mina, en un lapso de aproximadamente dos horas.
- b. Esta pérdida de asentamiento es aceptable y refleja la capacidad del shotcrete reforzado con DSI FS 500 para mantener su trabajabilidad durante el transporte y la aplicación en condiciones subterráneas.

b) Aplicación en Mina:

- a. El shotcrete con DSI FS 500 se aplicó utilizando una presión de aire de 3 bar, sin problemas de segregación o dificultades en la proyección, lo que demuestra su buena compatibilidad con los equipos de proyección de shotcrete en uso.

#### **4.4.3.2.4. CONCLUSIONES DEL RENDIMIENTO**

##### a) Ventajas:

- a. La fibra DSI FS 500 mostró un rendimiento superior en términos de absorción de energía, lo que la hace especialmente adecuada para aplicaciones donde se requiere un alto nivel de resistencia a impactos y deformaciones.
- b. Su trabajabilidad y estabilidad durante la aplicación refuerzan su idoneidad para entornos mineros donde las condiciones pueden ser desafiantes.

##### b) Desventajas:

- a. No se menciona en los informes ninguna desventaja significativa, aunque como con cualquier aditivo, el costo y la logística de implementación deben considerarse.

#### **4.4.3.3. COMPARACIÓN GENERAL ENTRE BARCHIP R50 Y DSI FS 500**

##### **4.4.3.3.1. RENDIMIENTO EN ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

- a) Barchip R50: Ofreció un rango de absorción de energía que varió según la dosificación, con un rendimiento notable a 7 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, en 5 kg/m<sup>3</sup>, la absorción fue inferior a la de DSI FS 500.
- b) DSI FS 500: Superó a Barchip R50 en términos de absorción de energía a una dosificación de 5 kg/m<sup>3</sup>, alcanzando un promedio de 1242.55 J, lo que sugiere una mayor eficiencia en el refuerzo.

#### **4.4.3.3.2. TRABAJABILIDAD Y APLICACIÓN**

- a) Barchip R50: Mantuvo buena consistencia y trabajabilidad, sin problemas significativos de segregación, lo que facilitó su uso en condiciones de mina.
- b) DSI FS 500: También mostró buena trabajabilidad, con una pérdida de asentamiento moderada, lo que indica su idoneidad para aplicaciones que requieren transporte y proyección prolongados.

#### **4.4.3.3.3. CONCLUSIONES GENERALES**

- a) Eficiencia y Costo: DSI FS 500, con un mejor rendimiento en absorción de energía a la misma dosificación que Barchip R50, podría ser más eficiente en términos de costos en proyectos donde se prioriza la máxima resistencia con una menor dosificación.
- b) Aplicación Recomendada: La elección entre ambas fibras debe basarse en las condiciones específicas de la operación minera, los requisitos de resistencia y los costos asociados. Para aplicaciones que requieren una alta absorción de energía con una dosificación más baja, DSI FS 500 parece ser la opción preferida. Sin embargo, Barchip R50 sigue siendo una opción viable, especialmente en situaciones donde se pueden ajustar las dosificaciones para alcanzar el rendimiento deseado.

Este análisis exhaustivo ofrece una comprensión completa del desempeño y la viabilidad de las fibras sintéticas en el refuerzo del shotcrete, lo que resulta crucial para tomar decisiones fundamentadas en proyectos de minería subterránea. Si se requiere un informe más detallado o surgen dudas adicionales, estaré dispuesto a proporcionar el soporte necesario.

#### **4.4.3.4. APLICACIÓN DE SHOTCRETE CON FIBRA SINTÉTICA**

Para garantizar la estabilidad de las labores y la seguridad del personal, es fundamental establecer especificaciones técnicas precisas para el uso de shotcrete reforzado con fibra sintética.

Este método, combinado con el uso de pernos Omega y malla electrosoldada, según las recomendaciones geomecánicas, asegura una estructura sólida en las diferentes etapas de operación minera, como la desarrollo, preparación y explotación de áreas críticas como cruceros, by-pass, ventanas, subniveles y tajeos.

#### **Proceso de Aplicación de Shotcrete Vía Húmeda con Fibra Sintética:**

- a) Preparación del Frente de Labor: Es crucial mantener los frentes de trabajo libres de material suelto y verificar el desate de rocas, asegurando que el área esté lista para la proyección del shotcrete.
- b) Presión de Aire durante el Lanzado: La presión estática recomendada oscila entre 5 y 7 bares, mientras que la presión dinámica debe mantenerse entre 4.0 y 4.5 bares. Es esencial asegurar un flujo de aire constante de 12 a 13 m<sup>3</sup>/hora durante todo el proceso de aplicación para garantizar una distribución uniforme del material.
- c) Distancia y Técnica de Proyección: La proyección del shotcrete debe realizarse a una distancia de 1.0 a 1.2 metros de la pared del macizo rocoso, manteniendo siempre la perpendicularidad del equipo de proyección. Es recomendable iniciar el lanzado desde la parte inferior hacia la superior con movimientos ondulados para optimizar la cobertura y minimizar la pérdida de material.
- d) Control de Rebote: Es crucial que el rebote de shotcrete durante el proceso de aplicación no exceda el 10%. Este porcentaje es un indicador clave de la eficiencia del lanzado y de la calidad del material proyectado.
- e) Diseño de la Mezcla de Concreto con Fibra Sintética: El diseño de mezcla debe adherirse a las especificaciones detalladas en la tabla, con un contenido de humedad entre 10% y 11% y una dosificación de 5 kg de fibra sintética por metro cúbico.

Esto asegura que la mezcla tenga la consistencia y trabajabilidad óptimas para la proyección en condiciones subterráneas.

- f) Slump del Concreto: El slump de la mezcla debe mantenerse entre 7 y 9 ½ pulgadas al punto de lanzado. Es crucial controlar la pérdida de slump, la cual no debe superar 1 pulgada por hora, permitiendo una ventana de trabajabilidad de 3 horas. Si es necesario extender este tiempo, se deberá ajustar la mezcla con aditivos plastificantes.
- g) Energía de Absorción: La mezcla de shotcrete debe alcanzar una energía de absorción entre 800 y 1100 joules, lo que asegura un refuerzo adecuado del macizo rocoso.
- h) Resistencia Inicial: La resistencia inicial del shotcrete debe estar entre 1.5 y 3.0 MPa dentro de las primeras 3 horas después de la aplicación. Este parámetro es fundamental para la evaluación de la tenacidad del concreto, la cual debe ser monitoreada mediante paneles cuadrados, siguiendo la norma europea EN14488-5.

#### **4.4.3.5. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL TERRENO**

Dependiendo de la clasificación del terreno, utilizando las escalas RMR y Q, la energía de absorción requerida varía, tal como se indica en la siguiente tabla:

- a) Terrenos muy débiles (RMR 0-10): Se requiere una energía de absorción superior a 1000 joules.
- b) Terrenos débiles a moderadamente fuertes (RMR 11-30): La energía de absorción necesaria varía entre 700 y 1000 joules.
- c) Terrenos moderadamente fuertes a fuertes (RMR 31-50): Se requiere una energía de absorción entre 500 y 700 joules.

- d) Terrenos fuertes a muy fuertes (RMR 51-70): La energía de absorción debe ser inferior a 500 joules.

#### **4.4.3.6. GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL DEL CONCRETO PROYECTADO (SHOTCRETE)**

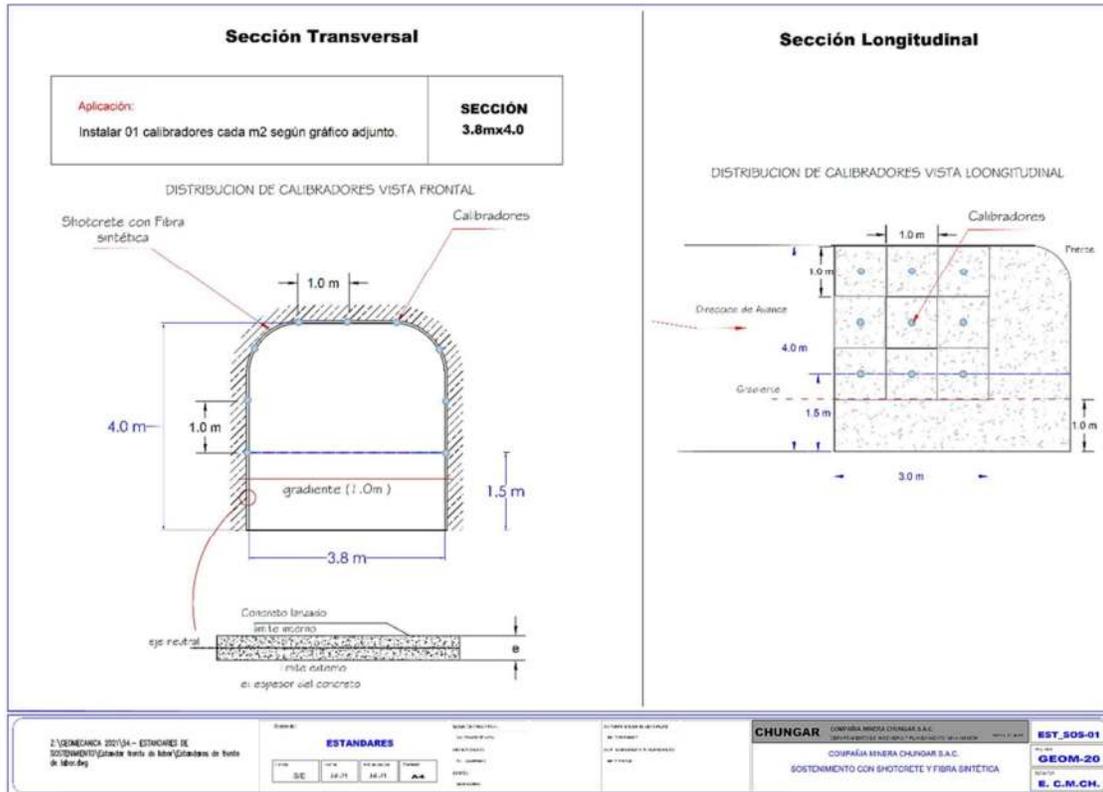
Instalación de Calibradores:

- a) Características del Calibrador: Se deben utilizar calibradores de madera con clavos, con un diseño específico que incluye un lado recto y otro diagonal de 45°. Las medidas varían según el espesor de shotcrete requerido, con opciones de 1 ½”, 2” y 3”.
- b) Distribución de Calibradores: Se deben colocar calibradores en una densidad de uno por metro cuadrado, con un total de nueve calibradores por cada metro de avance. En labores de alto riesgo, identificadas por geomecánica, se debe evitar la instalación de calibradores.
- c) Colocación y Supervisión: Los calibradores deben ser instalados según los procedimientos establecidos por la empresa especializada en la aplicación de shotcrete. Solo se deben colocar calibradores en los primeros tres metros de lanzado por disparo.

#### **4.4.4. CONTROL ESTADÍSTICO DEL CONCRETO SHOTCRETE**

Este control es esencial para asegurar la calidad y durabilidad del shotcrete aplicado en condiciones subterráneas, cumpliendo con los más altos estándares de seguridad y eficacia en la minería.

**Figura 48: Sostenimiento con fibra**



Fuente: Área Planeamiento

#### 4.4.4.1. CONTROL ESTADISTICO DE CONCRETO SHOTCRETE VIA HUMEDA DE MINA

Este análisis se enfoca en el control estadístico del concreto shotcrete aplicado mediante la vía húmeda.

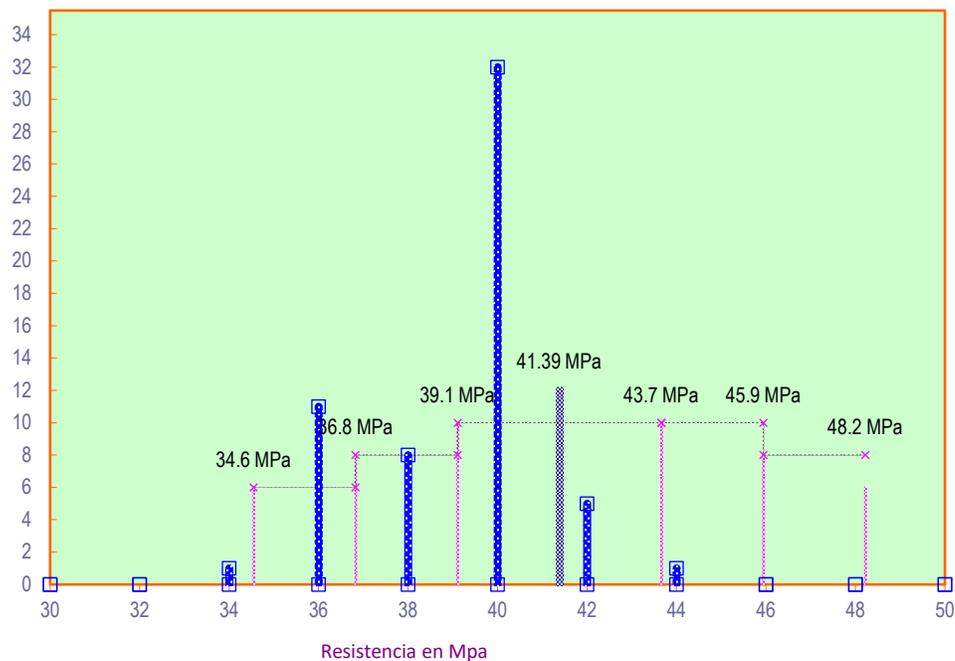
- a) Dosificación y Resistencia Especificada
  - a. Dosificación: La mezcla fue diseñada para alcanzar una resistencia especificada de 42.0 MPa.
  - b. Edad de Prueba: 28 días.
- b) Resultados de Resistencia

- a. Resistencia Media ( $Xm$ ): La resistencia media obtenida de las probetas evaluadas es de 41.4 MPa.
  - b. Resistencia Promedio ( $f'c$ ): La resistencia promedio considerando la variabilidad en la prueba es de 44.9 MPa.
  - c. Desviación Estándar ( $S$ ): Se obtuvo una desviación estándar de 2.3 MPa, lo que indica la dispersión de los datos alrededor de la media.
  - d. Coeficiente de Variación ( $V$ ): El coeficiente de variación fue del 5.5%, lo que refleja la homogeneidad de las muestras en relación con la resistencia.
- c) Análisis Estadístico
- i. El análisis estadístico se realizó sobre las 32 muestras (de la 148 a la 177) tomadas en distintas zonas y niveles de la mina. Se identificaron las siguientes estadísticas clave:
    - b. Resistencia Media Móvil (5 valores): Se empleó una media móvil para analizar la tendencia de las resistencias a lo largo de las muestras.
    - c. Intervalo Promedio ( $Rm$ ): Se determinó un intervalo promedio de 1.3 MPa.
    - d. Desviación Estándar ( $S1$ ): El valor de la desviación estándar considerando las variaciones en las pruebas fue de 1.9 MPa.
    - e. Coeficiente de Variación ( $V1$ ): El coeficiente de variación ajustado fue de 4.48%.
- d) Cumplimiento de Normas
- a. Criterios de Cumplimiento: Se evaluó la conformidad con la especificación de resistencia, resultando que la resistencia media  $Xm$  no cumple con la resistencia especificada  $f'c$  de 42 MPa.

- b. Normas de Control: Según la tabla 3.5 de la ACI 214-77 para control de concreto, se evaluó la variabilidad total y se clasificaron las estadísticas de acuerdo a la desviación estándar y el coeficiente de variación.
- e) Calificación de las Estadísticas
- a. Desviación Estándar: Calificada como "Excelente" con un valor de 2.28 MPa.
  - b. Coeficiente de Variación (Prueba): Calificado como "Bueno" con un valor de 4.48%.
- f) Representación Gráfica
- a. Se incluye una representación gráfica de la distribución de las resistencias obtenidas durante el período de análisis y su correspondiente distribución normal.

**Figura 49: Representación gráfica**

***Distribución de frecuencia de resultados de resistencia y la correspondiente distribución normal***



Fuente: Elaboración Propia

El control estadístico del concreto shotcrete vía húmeda demuestra un desempeño general aceptable con algunas áreas de mejora, especialmente en términos de alcanzar la resistencia especificada de 42 MPa. La desviación estándar y el coeficiente de variación se encuentran dentro de los rangos aceptables según las normas aplicables, lo que sugiere un control adecuado del proceso de mezcla y aplicación del shotcrete. Se recomienda continuar con el monitoreo y ajustes necesarios para asegurar la consistencia y cumplimiento de las especificaciones en el futuro.

#### **4.4.4.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**

Esta tabla presenta los resultados de ensayos de resistencia a la compresión realizados en diversas muestras de concreto que contienen fibra sintética. Los ensayos se llevaron a cabo en diferentes edades, desde 12 horas hasta 28 días.

- a) Fecha de muestreo: Indica la fecha en que se tomaron las muestras.
- b) Veta: Probablemente se refiere al lugar específico de donde se extrajo la muestra.
- c) Labor: Indica el tipo de trabajo o proyecto al que corresponde la muestra.
- d) Diseño: Podría referirse a la mezcla de concreto utilizada (dosificación, tipo de agregados, etc.).
- e) Edad: Tiempo transcurrido desde la elaboración de la muestra hasta el ensayo.
- f) Resistencia: Valor de la resistencia a la compresión obtenido en el ensayo, expresado en una unidad no especificada (se asume que es una unidad de esfuerzo, como MPa o kg/cm<sup>2</sup>).
- g) Promedio: Promedio de las resistencias obtenidas para cada tipo de muestra y edad.
- h) Observaciones:
  - a. Tendencia general: Se observa un aumento en la resistencia a la compresión a medida que aumenta la edad de las muestras, lo cual es esperado debido al proceso de hidratación del cemento.

- b. Variabilidad: Existen variaciones significativas en los resultados, incluso para muestras del mismo tipo y edad, lo que podría deberse a factores como la heterogeneidad del concreto, las condiciones de curado o errores en el ensayo.
- c. Valores nulos: A partir de los 28 días, se obtienen valores nulos de resistencia para todas las muestras. Esto podría indicar un fallo en el ensayo o que el material ha perdido por completo su capacidad de soportar carga.

**Tabla 35: Ensayo de resistencia por compresión simple**

ENSAYO DE RESISTENCIA POR COMPRESIÓN SIMPLE							
FECHA DE MUESTREO	VETA	LABOR	DISEÑO	EDAD	RESISTENCIA	PROMEDIO	
30/12/2020	Prosperidad I	BP-080	Fibra	12	Horas	6.15	6.71
			Sintética 4kg/m3	12	Horas	7.26	
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra	12	Horas	9.88	8.82
			Sintética 7kg/m3	12	Horas	7.76	
	Prosperidad I	BP-080	Fibra	1	Día	12.34	11.93
			Sintética 4kg/m4	1	Día	11.51	
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra	1	Día	12.91	12.41
			Sintética 7kg/m4	1	Día	11.90	
	Prosperidad I	BP-080	Fibra	3	Día	13.57	13.53
			Sintética 4kg/m5	3	Día	13.49	
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra	3	Día	14.08	13.98
			Sintética 7kg/m5	3	Día	13.88	
	Prosperidad I	BP-080	Fibra	7	Día	15.44	15.25
			Sintética 4kg/m6	7	Día	15.06	
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra	7	Día	16.40	8.20
			Sintética 7kg/m6	7	Día	0.00	
	Prosperidad I	BP-080	Fibra	14	Día	35.59	35.86
			Sintética 4kg/m7	14	Día	36.13	
Prosperidad Techo	CA-738	Fibra	14	Día	37.71	37.06	
		Sintética 7kg/m7	14	Día	36.41		
Prosperidad I	BP-080	Fibra	28	Día	0.00	0.00	
		Sintética 4kg/m8	28	Día	0.00		
Prosperidad Techo	CA-738	Fibra	28	Día	0.00	0.00	
		Sintética 7kg/m8	28	Día	0.00		

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4.4.3. ENSAYO DE ASENTAMIENTO (SLUMP TEST)**

Esta tabla resume los resultados de ensayos de asentamiento realizados en diversas muestras de concreto. El ensayo de asentamiento es una prueba que mide la consistencia del concreto fresco.

a) Componentes de la Tabla:

- a. Hora: Momento en que se realizó el ensayo de asentamiento.
- b. Asentamiento: El valor obtenido en el ensayo, el cual refleja la trabajabilidad del concreto. Los valores están en milímetros (mm).
- c. Comentario: Observaciones adicionales sobre el estado del concreto o del ensayo.

b) Observaciones sobre la Tabla:

- a. Variabilidad en los resultados: Se observa que la consistencia del concreto varía considerablemente entre las diferentes muestras. Algunos valores de asentamiento son significativamente mayores que otros, lo que sugiere diferencias en la mezcla, el tiempo de mezclado o las condiciones ambientales.
- b. Errores o inconsistencias: Algunos valores son extremadamente altos, como los 21 cm registrados en algunas muestras, lo que podría indicar un error en la medición o un problema en la mezcla del concreto.

**Tabla 36: Ensayo de asentamiento**

ENSAYO DE RESISTENCIA INICIALES A EDAD TEMPRANA							
FECHA DE MUESTREO	VETA	LABOR	DISEÑO		EDAD	RESISTENCIA	
30/12/2020	Prosperidad I	BP-080	Fibra Sintética 4kg/m3		6	Minutos	0.139
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra Sintética 7kg/m3		6	Minutos	1.127
	Prosperidad I	BP-080	Fibra Sintética 4kg/m4		10	Minutos	0.229
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra Sintética 7kg/m4		10	Hora	0.204
	Prosperidad I	BP-080	Fibra Sintética 4kg/m5		30	Hora	0.413
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra Sintética 7kg/m5		30	Hora	0.398
	Prosperidad I	BP-080	Fibra Sintética 4kg/m6		1	Hora	0.573
	Prosperidad Techo	CA-738	Fibra Sintética 7kg/m6		1	Hora	0.514
	Prosperidad I	BP-081	Fibra Sintética 4kg/m7		2	Hora	0.942
	Prosperidad Techo	CA-739	Fibra Sintética 7kg/m7		2	Hora	0.898
	Prosperidad I	BP-082	Fibra Sintética 4kg/m8		3	Hora	3.030
	Prosperidad Techo	CA-740	Fibra Sintética 7kg/m8		3	Hora	2.880
	Prosperidad I	BP-083	Fibra Sintética 4kg/m9		4	Hora	5.050
	Prosperidad Techo	CA-741	Fibra Sintética 7kg/m9		4	Hora	5.070
	Prosperidad I	BP-084	Fibra Sintética 4kg/m10		6	Hora	1373.000
	Prosperidad Techo	CA-742	Fibra Sintética 7kg/m10		6	Hora	1242.700

Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, se procederá a la discusión de los resultados obtenidos en la evaluación del shotcrete convencional y el shotcrete reforzado con fibra sintética. La discusión se centrará en el análisis comparativo del rendimiento técnico y los costos asociados a cada tipo de shotcrete, con el objetivo de determinar cuál es la opción más eficaz y económica para el sostenimiento en la Unidad Minera Animon. Se evaluarán las implicaciones de los resultados obtenidos para la práctica de la minería subterránea, y se formularán recomendaciones basadas en el análisis realizado.

#### 5.1.RESULTADOS

##### 5.1.1. *INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS EVALUADAS*

En mi investigación se analizan dos tipos de fibras utilizadas como refuerzo en el concreto:

- a) **Fibra Metálica Dramix 65/35:** Se trata de una fibra metálica ampliamente utilizada en la industria de la construcción para reforzar el concreto. Su diseño está enfocado en mejorar la resistencia a la tracción y flexotracción, incrementando la durabilidad y la capacidad de carga del material. Principalmente se emplea en pavimentos industriales, estructuras de concreto proyectado y en elementos prefabricados que requieren alta resistencia mecánica.
- b) **Fibra Sintética Barchip R50:** Es una fibra sintética desarrollada como una alternativa a las fibras metálicas. Fabricada a partir de materiales poliméricos, ofrece resistencia a la tracción y a la corrosión. Su principal ventaja reside en su ligereza y la facilidad de manejo durante la mezcla y aplicación. Se utiliza en estructuras de concreto donde se busca mayor tenacidad y ductilidad, como en túneles, pavimentos y revestimientos.

## **5.1.2. DESEMPEÑO DE LA RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN**

### **5.1.2.1. RESULTADOS DE LA FIBRA METÁLICA DRAMIX 65/35**

- a) Resistencia Máxima Observada: Bajo una presión neumática de 3.8 bar, la resistencia a la flexotracción alcanzó un máximo de 860.2 J. La fibra metálica mostró una respuesta más uniforme, con un coeficiente de variación del 6.7%, lo que refleja una alta consistencia en los resultados.
- b) Comportamiento Bajo Diferentes Presiones: A una presión inferior de 2.8 bar, la resistencia promedio osciló entre 732.7 J y 917.5 J, reflejando una variabilidad influenciada por la homogeneidad de la mezcla y el proceso de aplicación. La resistencia disminuye a medida que se reduce la presión neumática, sugiriendo que el rendimiento óptimo de la fibra metálica se alcanza a presiones más elevadas.

### **5.1.2.2. RESULTADOS DE LA FIBRA SINTÉTICA BARCHIP R50**

- a) Resistencia Máxima Observada: Con la misma presión neumática de 3.8 bar, la resistencia a la flexotracción de la fibra sintética alcanzó un valor máximo de 758.7 J, inferior a los valores obtenidos con la fibra metálica. La desviación estándar fue mayor (74.8 J), con un coeficiente de variación del 18.2%, indicando una mayor dispersión en los resultados, probablemente debido a la menor densidad y diferente interacción con la matriz del concreto.
- b) Comparación en Desempeño: En comparación con la fibra metálica, la fibra sintética Barchip R50 mostró una menor capacidad de absorción de energía bajo flexión, lo que podría limitar su uso en aplicaciones donde se requiere

alta resistencia a la flexotracción. No obstante, la fibra sintética puede ser preferida en situaciones donde la ligereza, resistencia a la corrosión, y facilidad de mezcla son más importantes que la resistencia máxima.

## **5.2.DISCUSIÓN**

### **5.2.1. ANÁLISIS COMPARATIVO**

#### **5.2.1.1. EQUIVALENCIA EN RESISTENCIA**

Según los antecedentes dados por (Pontus Larsson, 2018), considera que la dosificación óptima con el uso de este tipo de fibra varía según su resistencia dada de fábrica que es entre 300j y 450j, quedando evidencia el beneficio al usar una fibra metálica como se dio en la investigación:

- a) Relación de Dosificación: Para alcanzar una resistencia de 333 J en el ensayo de flexotracción, se requieren 31.2 kg de fibra metálica Sika LHO 45/35 o 4 kg de fibra sintética Barchip R50. Esto demuestra que la fibra sintética puede lograr una resistencia comparable con una dosificación significativamente menor. Para alcanzar 411 J, la equivalencia es de 38.1 kg de fibra metálica frente a 5 kg de fibra sintética.
- b) Eficiencia de Material: Aunque la fibra sintética requiere menos cantidad para alcanzar resistencias específicas, la fibra metálica proporciona una mayor resistencia en aplicaciones que demandan un alto rendimiento mecánico, lo que puede hacerla más adecuada para estructuras donde la seguridad y la durabilidad a largo plazo son cruciales.

#### **5.2.1.2. CURVAS DE AJUSTE**

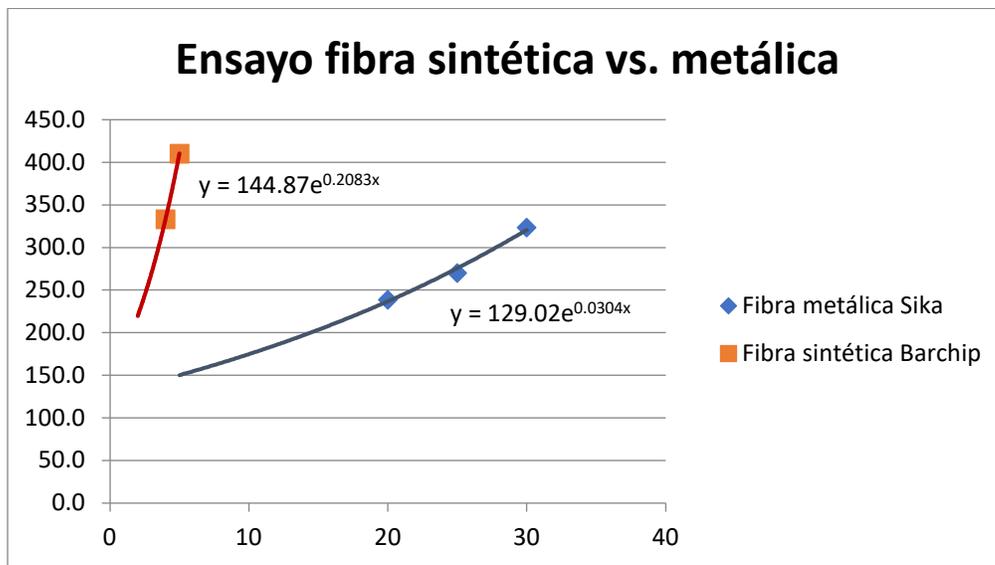
- a) Curva de la Fibra Metálica: La curva de ajuste para la fibra metálica Sika muestra una tendencia exponencial con la ecuación  $Y = 129.02e^{0.0304X}$ ,

donde Y representa la resistencia a la flexotracción y X la cantidad de fibra (en kg). Esta curva sugiere que el incremento en resistencia es más gradual a medida que se aumenta la cantidad de fibra.

- b) Curva de la Fibra Sintética: Para la fibra sintética Barchip R50, la ecuación  $Y = 144.87e^{0.2083X}$  indica un crecimiento más rápido de la resistencia en relación con la cantidad de fibra, pero con un techo más bajo comparado con la fibra metálica. Esto sugiere que, aunque la fibra sintética puede ser eficiente a bajas dosificaciones, su capacidad máxima está limitada en comparación con la fibra metálica.

Por lo tanto, como el autor Laurente P. (2017) recomienda el uso de fibra metálica, a pesar de que puede ser una alternativa más costosa, pero beneficiosa en la menor dosificación, de igual forma la investigación nos demuestra las ventajas en la dosificación comparativa entre la fibra sika y la fibra barchip.

**Figura 50: Ensayo fibra sintética vs metálica**



Fuente: Elaboración Propia

### **5.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA TIPO DE FIBRA**

#### **a) Fibra Metálica Dramix 65/35**

- a. Ventajas:
- b. Mayor resistencia a la flexotracción, especialmente en aplicaciones de alta presión.
- c. Alta consistencia en los resultados, lo que reduce el riesgo de variabilidad en aplicaciones críticas.
- d. Mejor desempeño en aplicaciones donde la resistencia y la durabilidad son cruciales.
- e. Desventajas:
- f. Mayor cantidad de material requerido para alcanzar resistencias comparables a las de fibras sintéticas.
- g. Mayor costo y peso, lo que puede incrementar los gastos de transporte y manipulación.

#### **b) Fibra Sintética Barchip R50**

- a. Ventajas:
- b. Menor dosificación necesaria para alcanzar resistencias específicas, lo que reduce el peso y facilita la mezcla.
- c. Resistencia a la corrosión, ideal para ambientes agresivos o donde se busca una mayor durabilidad en condiciones químicamente adversas.
- d. Potencial para ser más rentable en términos de costo por resistencia alcanzada, especialmente en aplicaciones no críticas.
- e. Desventajas:

- f. Menor resistencia máxima a la flexotracción comparada con las fibras metálicas, lo que puede limitar su uso en aplicaciones de alta demanda estructural.
- g. Mayor variabilidad en los resultados, lo que podría traducirse en una menor confiabilidad en aplicaciones donde la consistencia es esencial.

### ***5.2.3. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS***

Aragon Q. & Cornejo M. (2017) , concuerda que la selección de la fibra adecuada para el lugar de estudio, no sólo depende de las condiciones geomecánicas y de los costos de ahorro, si no que prioriza la fácil manipulación de éstas, la ligereza y la sencilla transportabilidad.

**Selección de Materiales:** La elección entre fibra metálica y sintética debe basarse en una evaluación cuidadosa del contexto de aplicación, considerando factores como el tipo de estructura, las cargas esperadas, el ambiente de exposición y los costos. Para aplicaciones donde la resistencia mecánica y la durabilidad a largo plazo son prioritarias, la fibra metálica es la opción preferida. En proyectos donde la facilidad de manejo, ligereza y resistencia a la corrosión son más importantes, la fibra sintética puede ofrecer ventajas significativas.

**Estudios Adicionales:** Recomiendo realizar estudios adicionales para evaluar la durabilidad a largo plazo de ambas fibras en condiciones reales de servicio, incluyendo la resistencia a ciclos de congelación-descongelación, ataque químico y otros factores ambientales. Además, sería útil comparar el desempeño de estas fibras en aplicaciones específicas, como pavimentos, revestimientos de túneles y elementos prefabricados, para determinar con mayor precisión sus áreas de mejor rendimiento.

**Tabla 37: Fibras empleadas**

Fibra empleada	kg de fibra /m3 de concreto	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de la muestra (días)	Presión neumática (bar)	Resistencia flexotracción (J)	Promedio (J)	Desviación estándar (J)	Coefficiente variación
Dramix 65/35	19	24/09/2023	18/12/2023	56	2.8	732.7	698.7	25.9	3.7%
						670.1			
						699.7			
						692.2			
						861.4			
Barchip R50	4	15/09/2023	19/12/2023	54	3.8	801.6	758.7	50.7	6.7%
						917.5			
						732.3			
						703.8			
						780.5			
Dramix 65/35	15	03/09/2023	19/12/2023	108	No indicado	818.2	640.7		
						640.7			

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.3.1. ANÁLISIS EN RELACIÓN CON LOS COSTOS

#### a) Situación Actual

- a. Consumo de shotcrete: 3,750 m<sup>3</sup>/mes
- b. Kg de fibra por m<sup>3</sup>: 30.0 Kg/m<sup>3</sup>
- c. Precio Unitario (PU) de la Fibra: \$1.96 por m<sup>3</sup>
- d. Costo de la Fibra: \$58.8 por m<sup>3</sup>
- e. Consumo anual: 39,964 m<sup>3</sup>/año
- f. Total, de fibra consumida: 896,806 Kg de Fibra

#### b) Situación Propuesta

- a. Consumo de shotcrete: 3,750 m<sup>3</sup>/mes
- b. Kg de fibra por m<sup>3</sup>: 6.0 Kg/m<sup>3</sup>
- c. PU de la Fibra: \$5.00 por m<sup>3</sup> (en otra versión: \$4.30 por m<sup>3</sup>)
- d. Costo de la Fibra: \$30.0 - \$28.8 por m<sup>3</sup>

#### c) Comparación de Ahorros entre Situación Actual y Situación Propuesta

- a. Para evaluar el impacto de la implementación de un nuevo método de consumo de fibra en la producción de shotcrete, comparé dos escenarios: la situación actual y la situación propuesta. En la situación actual, utilizaba un promedio de 30.0 kg de fibra por metro cúbico de shotcrete, con un costo unitario de \$1.96 a \$1.99 por m<sup>3</sup>, lo que resultaba en un costo total de \$58.8 a \$59.6 por m<sup>3</sup>. El consumo total anual era de 39,964 m<sup>3</sup>, lo que significaba un uso anual de 896,806 kg de fibra.
- b. En contraste, la situación propuesta reduce significativamente el consumo de fibra a 6.0 kg por m<sup>3</sup>, aunque a un precio unitario más alto de \$4.30 a \$5.00 por m<sup>3</sup>. A

pesar del aumento en el costo unitario, el costo total de la fibra por m<sup>3</sup> se reduce a \$25.0 a \$30.0. Esta reducción en el consumo de fibra no solo reduce los costos, sino que también contribuye a una mejora en la eficiencia operativa.

d) Kg de fibra por m<sup>3</sup>:

- a. Situación Actual: 30.0 Kg/m<sup>3</sup>
- b. Situación Propuesta: 5.0 - 6.0 Kg/m<sup>3</sup>

e) Costo de la Fibra (por m<sup>3</sup>):

- a. Situación Actual: \$58.8 - \$59.6
- b. Situación Propuesta: \$25.0 - \$33.8

f) Ahorro de Fibra:

- a. Dependiendo del PU, se observarían ahorros en el costo de fibra por m<sup>3</sup> en la propuesta.

g) Ahorros Planificados por Mes (Valores estimados)

- a. Enero: 3,653 m<sup>3</sup> de shotcrete, ahorro estimado de \$8,991 a \$11,658
- b. Febrero: 2,340 m<sup>3</sup>, ahorro estimado de \$20,219
- c. Marzo: 3,015 m<sup>3</sup>, ahorro estimado de \$52,098
- d. Abril: 2,596 m<sup>3</sup>, ahorro estimado de \$74,758
- e. Mayo: 2,944 m<sup>3</sup>, ahorro estimado de \$99,503

**Tabla 38: Ahorro planificado**

<b>Mes</b>	<b>m3 Shotcrete Temporales</b>	<b>Shotcrete con 5kg Fibra/m3</b>	<b>Ahorro \$</b>	<b>Shotcrete con 6kg Fibra/m3</b>	<b>Ahorro \$</b>	<b>Total \$</b>
Enero	3,653	266	8,991	93	2,667	11,658
Febrero	2,340		-	702	20,219	20,219
Marzo	3,015		-	1,809	52,098	52,098
Abril	2,596		-	2,596	74,758	74,758
Mayo	2,944	2,944	99,503		-	99,503
Junio	2,745	2,745	92,778		-	92,778
Julio	3,198	3,198	108,091		-	108,091
Agosto	2,817	2,817	95,205		-	95,205
Setiembre	3,106	3,106	104,990		-	104,990
Octubre	2,935	2,935	99,199		-	99,199
Noviembre	2,278	2,278	77,009		-	77,009
Diciembre	2,813	2,813	95,080		-	95,080
Temporales en Forecast	34,440					918,930

Elaboración Propia

**Tabla 39: Ahorro planificado por desarrollo, preparación y explotación (\$)**

<b>Shotcrete Planificado</b>	<b>PREPARACION</b>	<b>EXPLORACION</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Ene</b>	2,200	7,995	1,463	<b>11,658</b>
<b>Feb</b>	4,440	12,908	2,872	<b>20,219</b>
<b>Mar</b>	13,186	31,901	7,011	<b>52,098</b>
<b>Abr</b>	15,304	49,883	9,571	<b>74,758</b>
<b>May</b>	20,685	65,703	13,115	<b>99,503</b>
<b>Jun</b>	20,335	60,073	12,370	<b>92,778</b>
<b>Jul</b>	23,157	70,252	14,682	<b>108,091</b>
<b>Ago</b>	18,864	63,748	12,593	<b>95,205</b>
<b>Set</b>	23,393	66,389	15,208	<b>104,990</b>
<b>Oct</b>	19,718	66,082	13,399	<b>99,199</b>
<b>Nov</b>	17,491	48,999	10,519	<b>77,009</b>
<b>Dic</b>	24,342	58,593	12,145	<b>95,080</b>
<b>Total</b>	<b>203,115</b>	<b>602,526</b>	<b>124,947</b>	<b>918,930</b>

Elaboración Propia

a) Ahorros Ejecutados

a. Enero:

- i. Shotcrete usado: 3,653 m<sup>3</sup>
- ii. Ahorro con 5 Kg de Fibra/m<sup>3</sup>: \$10,144
- iii. Ahorro con 6 Kg de Fibra/m<sup>3</sup>: \$3,133
- iv. Total: \$13,277

b. Febrero:

- i. Shotcrete usado: 4,926 m<sup>3</sup>
- ii. Ahorro con 6 Kg de Fibra/m<sup>3</sup>: \$27,243
- iii. Total: \$28,862

c. Marzo:

- i. Shotcrete usado: 4,099 m<sup>3</sup>
- ii. Ahorro con 6 Kg de Fibra/m<sup>3</sup>: \$41,676
- iii. Total: \$41,676

**Tabla 40: Ahorro ejecutado**

Mes	m3 Shotcrete Temporales	m3 Shotcrete con 5kg Fibra	Ahorro \$	m3 Shotcrete con 6kg Fibra	Ahorro \$	Total \$ Cerrado
Enero	3,653	266.0	10,144	92.6	3,133	11,658
Febrero	4,926		-	805	27,243	28,862
Marzo	4,099		-	1,232	41,676	41,676
Abril	4,226		-	1,334	45,141	45,141
Mayo	4,539		-	2,553	86,370	86,370
Junio	4,043		-	2,640	89,304	89,304
Julio	2,790		-	4,415	149,375	149,375
Agosto	2,817		-	4,965	167,980	167,980
Setiembre	2,850		-	3,280	110,967	110,967
Octubre	2,945	188	7,165	4,535	153,422	160,587
Noviembre	2,850	3,670	139,958	897	30,355	170,313
Diciembre	2,945	3,634	138,589	73	2,466	141,055
	<b>42,682</b>					<b>1,203,289</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 41: Ahorro ejecutado por desarrollo, preparación y explotación (\$)**

Shotcrete Planificado	PREPARACION	EXPLORACION	DESARROLLO	TOTAL
<b>Ene</b>	2,200	7,995	1,463	<b>11,658</b>
<b>Feb</b>	6,337	18,425	4,099	<b>28,862</b>
<b>Mar</b>	10,548	25,520	5,608	<b>41,676</b>
<b>Abr</b>	9,241	30,121	5,779	<b>45,141</b>
<b>May</b>	17,955	57,032	11,384	<b>86,370</b>
<b>Jun</b>	19,574	57,823	11,907	<b>89,304</b>
<b>Jul</b>	32,002	97,083	20,290	<b>149,375</b>
<b>Ago</b>	33,283	112,477	22,220	<b>167,980</b>
<b>Set</b>	24,725	70,169	16,074	<b>110,967</b>
<b>Oct</b>	31,920	106,977	21,690	<b>160,587</b>
<b>Nov</b>	38,684	108,366	23,263	<b>170,313</b>
<b>Dic</b>	36,112	86,925	18,018	<b>141,055</b>
<b>Total</b>	<b>262,581</b>	<b>778,913</b>	<b>161,796</b>	<b>1,203,289</b>

Elaboración Propia

#### **5.2.4. COMPARACIÓN DE COSTOS Y AHORROS**

Neira P.(2018) , considera el beneficio del uso de fibra sintetica, por su menor dosificación y minúsculo aumento de costos , sin embargo dando un sostenimiento confiable y que cumple los estándares de calidad; a diferencia de la presenta investigcación , que por características propias de las fibras a evaluar, los resultados de las propuesta de implementación de otra fibra, si tiene un beneficio sobre todo económico.

La comparación entre la situación actual y la propuesta demuestra que, aunque el costo unitario de la fibra es mayor en la situación propuesta, la reducción en la cantidad de fibra utilizada genera un ahorro considerable por metro cúbico. El ahorro por m<sup>3</sup> varía entre \$28.8 y \$33.8, lo que representa una mejora significativa en la gestión de los costos operativos. Esta estrategia de reducción de costos es clave para mejorar la rentabilidad del proceso de producción sin comprometer la calidad del producto final.

#### **5.2.5. AHORRO PLANIFICADO VS. EJECUTADO**

Para evaluar el desempeño de la implementación, realicé un análisis comparativo entre el ahorro planificado y el ahorro realmente ejecutado durante el año. Inicialmente, proyectando un ahorro anual total de \$918,930, distribuidos mensualmente con picos esperados en ciertos meses clave.

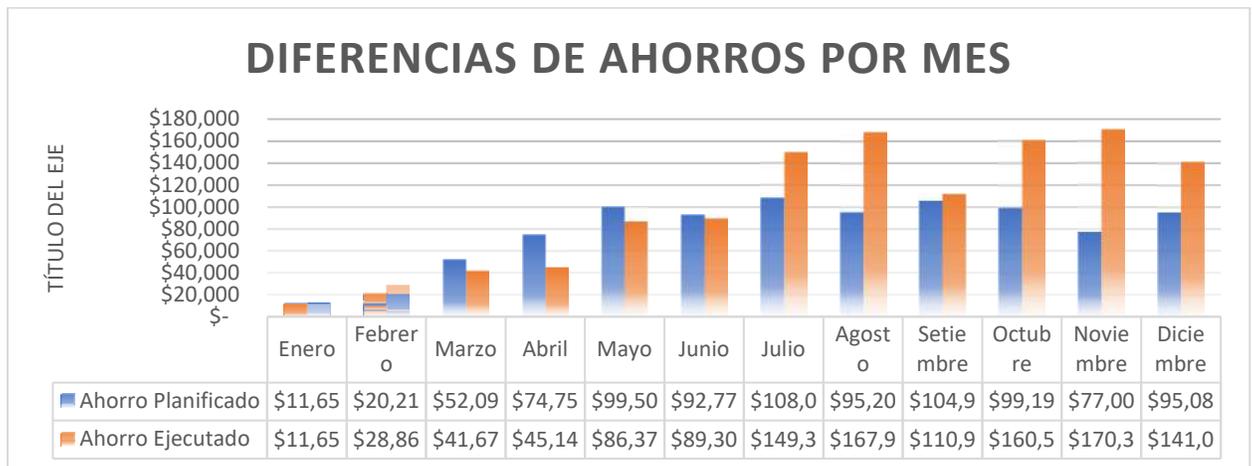
Sin embargo, los resultados ejecutados mostraron un ahorro anual real de \$1,203,289, superando en más de \$284,000 las expectativas. Esta diferencia positiva demuestra que la implementación de la estrategia propuesta no solo cumplió con las expectativas, sino que las superó, ofreciendo un beneficio financiero adicional significativo.

**Figura 51: Ahorro total**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 52: Detalle de ahorros por día en los meses**



Fuente: Elaboración Propia

Para entender mejor cómo se distribuyeron estos ahorros a lo largo del tiempo, analicé en detalle los ahorros diarios durante los meses de febrero, marzo y abril. Estos meses fueron elegidos por su relevancia en la implementación inicial de la nueva estrategia.

- a) En febrero, se logró un ahorro total de \$27,243, con un promedio diario que refleja la estabilidad del nuevo proceso.
- b) En marzo, el ahorro alcanzó los \$41,676, reflejando un aumento en la eficiencia operativa y la optimización del uso de recursos.
- c) En abril, los ahorros diarios mantuvieron una tendencia positiva, resultando en un ahorro total de \$45,141 para el mes.

Este análisis diario permite identificar no solo los picos de eficiencia, sino también los días en que se pueden realizar ajustes para mejorar aún más los resultados. La consistencia en los ahorros diarios durante estos meses es un indicador de la efectividad del nuevo método implementado.

## CONCLUSIONES

La utilización de fibra sintética como refuerzo del shotcrete en el sostenimiento de labores mineras en la Unidad Minera Animon ha demostrado ser una estrategia altamente eficaz para la reducción de costos operativos. A través de la investigación, se evidenció que la implementación de una dosificación de fibra sintética entre 5 y 6 kg/m<sup>3</sup> en el shotcrete permitió reducir los costos asociados a este material desde un rango inicial de \$58.8-\$59.6 por metro cúbico a un rango mucho más accesible de \$25.0-\$33.8 por metro cúbico.

El análisis detallado del sostenimiento actualmente utilizado en la Unidad Minera Animon reveló que, aunque las técnicas tradicionales de shotcrete han sido efectivas en ciertas circunstancias, presentan limitaciones significativas en términos de durabilidad y capacidad de absorción de energía. El sostenimiento tradicional, basado en shotcrete sin refuerzo, muestra una menor resistencia a largo plazo y una capacidad limitada para absorber las energías generadas por los movimientos de roca y otras actividades mineras. En comparación, el shotcrete reforzado con fibra sintética presentó una absorción de energía significativamente mejorada, alcanzando valores de hasta 1174.6 julios, lo que evidencia una mayor capacidad para soportar cargas dinámicas y estáticas en el entorno minero. Estas características superiores del shotcrete reforzado no solo mejoran la estabilidad de las estructuras subterráneas, sino que también contribuyen a la reducción de costos asociados con reparaciones y mantenimiento frecuente, destacando así la importancia de actualizar las prácticas de sostenimiento actuales.

La investigación identificó que la dosificación de fibra sintética óptima para el shotcrete en la Unidad Minera Animon se sitúa entre 5 y 6 kg/m<sup>3</sup>. Esta dosificación fue determinada como la más efectiva para equilibrar las propiedades mecánicas del shotcrete con los costos asociados. Específicamente, se encontró que aumentar la dosificación de fibra sintética por encima de este

rango no necesariamente incrementa de manera proporcional la capacidad de absorción de energía o la resistencia del material, lo que sugiere que existe un punto de rendimiento óptimo que debe ser respetado para maximizar la eficiencia. Mantener la dosificación dentro de este rango asegura que el shotcrete pueda cumplir con las exigencias de resistencia y durabilidad necesarias para el sostenimiento en labores de desarrollo, preparación y explotación, mientras se minimizan los costos adicionales que no contribuyen significativamente a la mejora del rendimiento técnico.

Esta modificación en la comparación de la dosificación no solo redujo significativamente los costos directos de los materiales, sino que también generó un impacto positivo en la economía general de la operación minera, al lograr ahorros acumulados de más de \$98,900 en un solo mes (mayo), pero teniendo un resultante de \$1,203,289 lo que representa un alivio considerable en los presupuestos de sostenimiento. Este enfoque económico reafirma la viabilidad del uso de fibra sintética en minas subterráneas, especialmente en aquellas que buscan mejorar la eficiencia financiera sin comprometer la seguridad operativa.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda al área de Geomecánica implementar el uso de shotcrete reforzado con fibra sintética en la Unidad Minera Animon. Esta recomendación está basada en las ventajas comprobadas del material, como la reducción de costos operativos, el aumento en la durabilidad y resistencia del sostenimiento, y la mejora en la seguridad de las operaciones mineras. Esta medida permitirá optimizar los recursos financieros y garantizar la estabilidad estructural en las labores de desarrollo, preparación y explotación, minimizando la necesidad de intervenciones correctivas costosas en el futuro.

El área de Geomecánica debe realizar una reevaluación exhaustiva de las prácticas de sostenimiento actualmente implementadas. Esta evaluación debe incluir un análisis comparativo entre los sistemas tradicionales y el shotcrete reforzado con fibra sintética, considerando aspectos como las características mecánicas y los costos asociados. Esta información será clave para tomar decisiones informadas y asegurar que las mejores prácticas sean adoptadas, logrando un balance óptimo entre seguridad y eficiencia económica.

Se sugiere al área de Geomecánica desarrollar y documentar protocolos claros para la dosificación y aplicación del shotcrete reforzado con fibra sintética, adaptados a las condiciones geológicas y operativas de cada frente de trabajo. Es importante que la dosificación se mantenga en el rango recomendado de 5 a 6 kg/m<sup>3</sup>. Además, se deben implementar controles rigurosos que incluyan la calibración periódica de equipos de proyección y la capacitación continua del personal, garantizando una aplicación uniforme y una adherencia óptima del material a las superficies.

Se recomienda diseñar e implementar un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar regularmente el rendimiento y los costos del shotcrete reforzado con fibra sintética. Este sistema debe registrar datos relacionados con la absorción de energía, la durabilidad del

sostenimiento y los ahorros operativos obtenidos. Con esta información, el área de Geomecánica podrá realizar ajustes dinámicos en las estrategias de sostenimiento, asegurando un equilibrio constante entre costo y rendimiento, y maximizando los beneficios del uso de tecnologías avanzadas en el refuerzo estructural.

## BIBLIOGRAFÍA

- "Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea". (2004). Lima, Perú: Sociedad Nacional de Minería , Petróleo y Energía.
- 506r-05, aci. (2005). *Guide to shotcrete*.
- Beresovsky de las Casas. (2018). "*Estudio Experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas*". Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.
- Cosme Camarena, f. M. (2016). *Optimizacion del sostenimiento con shotcrete via humeda con fines de minizar costos y mejorar la produccion de lanzado de la e.e. Robocon s.a.c. en la mina San Cristobal - cia minera volcan s.a.a.[tesis de graduacion]*. Univesidad nacional del centro del peru, huancayo-peru, huancayo.
- Dignacion astm, c 94/c 94m -03a. (2003). *Especificaciones normalizadas para el hormigon premezclado*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de Mexico, México: Mc Graw Hull Education.
- Melbye, T. (1994). "*Shotcrete para soporte de rocas*". Zurich, Suiza: Degussa construction chemical.
- Ñaupas paitan, h., valdivia dueñas, m. R., palacios vilela, j. P., & romero delgado, h. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa . Cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la u.
- Pontus Larsson. (2018). *Optimization of the steel-fiber dosage in shotcrete used in the Kankberg mine*. Civil Engineering, master's level, Luleá University of Technology, Department of Civil , Enviromental and Natural Resources Engineering.

- Rey, a. (2006). *Hormigon proyectado dosificacion, fabricacion y puesta en obra*.
- Ruano, G., Isla, A., & Luccioni, B. (2014). Hormigón reforzado con fibras sometido a temperaturas elevadas. *Instituto de Estructuras, Universidad Nacional de Tucumán*.
- Santana, r. A. (2013). *Caracterizacion a cortante de hormigon proyectado [tesis de master, escola de camins]*. Base den datos.
- Tenorio rojas, j. G. (2016). *Propuesta de criterios de aceptación o rechazo de testigos deb hormigon proyectadoi utilizado en fortificacion de tuneles mineros y civiles [tesis de graduacion]*. Universidad andres bello, santiago-chile.
- Vargas niquin, e. (2016). *Optimizacion del sostenimiento con shocrete usando desmonte zarandeado como agragado, en la construccion de la rampa principal-marsa [tesis de graduacion,*. Universidad nacional de trujillo, trujillo-peru.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **1.1.DATOS GENERALES DE UNIDAD MINERA CHUNGAR - ANIMON**

##### **1.1.1. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN UNIDAD MINERA CHUNGAR**

El método de minado más común en la unidad minera de Chungar es el Cut and Fill, se caracteriza en cortar rebanadas horizontales de 150 metros, con alturas de 3 x 3 metros de ancho, con perforación horizontal tipo breasting, luego de realizado el corte, se realiza la limpieza del mineral, para continuar con el relleno hidráulico y detrítico, dejando una luz de 0.5 metros, que servirá de cara libre para el corte superior. Se realiza en 4 frentes en forma simultánea para mejorar la productividad, los cuales son direccionados por dos brazos que conectan a la rampa de acceso.

##### **1.1.2. EXPLOTACIÓN**

La perforación: la perforación se realiza mediante una perforadora Jumbo. La perforación de los tajos o labores de producción es horizontal (Breasting), con Jumbo electrohidráulico de un brazo, con barra de 12 pies de longitud, brocas para taladros de producción de 45 mm de diámetro, para una malla de perforación de 1.0 m x 1.0 metros, utilizando el método de Cased (entubado de taladros). El ancho de minado varía de 3.5 metros a 4 metros, y una altura de 4 metros. Esto con motivo de controlar la sobre dilución. La perforación para las labores de avance (Rampas, By Pass, Accesos, Cámaras y Sub niveles), se realiza con Jumbo electrohidráulico de un brazo, con barra de 12 pies de longitud, brocas para taladros de producción de 45 mm. de diámetro y los taladros de alivio de 102 mm., para una malla de perforación 0.5 m x 0.5 metros para un total de 45 taladros perforados y 4 rimados, para labores de 4 m. x 4.5 metros y de 32 taladros perforados y 4 rimados

para labores de 3.5m. x 4 metros utilizando el tipo de arranque de Corte Cilíndrico del tipo Dankun, logrando así un avance efectivo de 3 metros

La voladura: Para la voladura controlada del tipo recorte se utilizan explosivos de baja densidad (Emulsiones de la marca EXSA, tales como el Emulex de 80, Emulex de 65, Emulex de 45 y Pentacord 3P), los accesorios utilizados para la iniciación de la voladura son los detonadores no eléctricos, como el Exsanel de periodo corto (m./s.), y periodo largo (seg.), y Carmex para el inicio.

La limpieza: se usan Scoop eléctrico o Scoop diesel de 3.5 yd<sup>3</sup>, usados principalmente en los tajeos. Para la limpieza del mineral se utiliza Scooptram de 4.2 y 6 yd<sup>3</sup>, las cuales estas acumulan a la cámara de carguío para luego ser dispuestos y acarreados por los equipos de transporte. Una vez encebado el Exsanel (MS y LP) con el explosivo (Emulex de 80) se procederá a distribuir los cebos según su tiempo de retardo en todos los taladros perforados, y por medio del atacador de madera de longitud 3m., se introducirán estos en el fondo del taladro para luego completar la carga con las demás emulsiones (Emulex 65, 45).

Sostenimiento: se usan los pernos cementados de 5', 7' y 8', así mismo se usa el concreto lanzado vía seca (shotcreteo) con fibra de 2" obteniendo una  $f'c=375 \text{ kg/cm}^2$ .

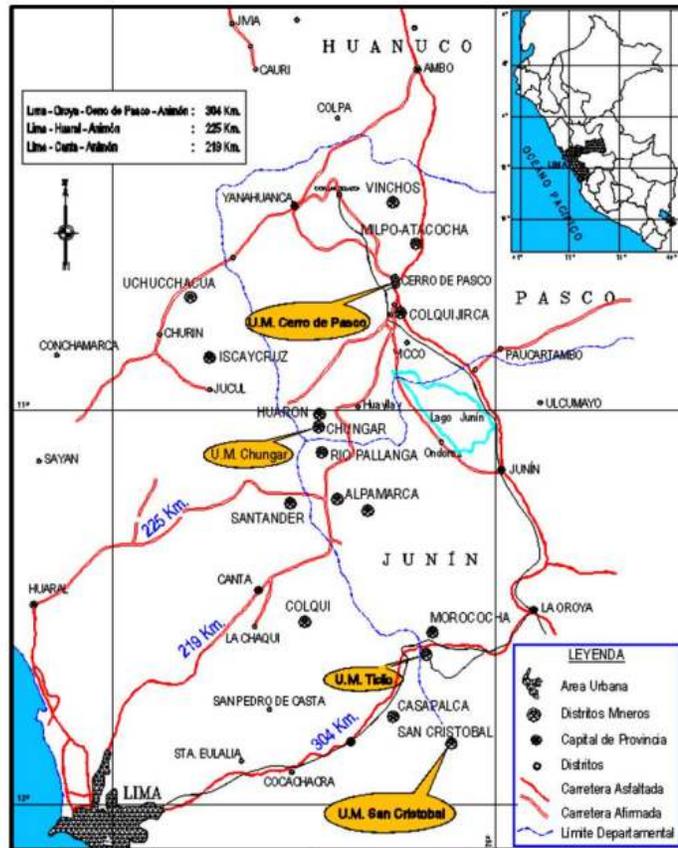
Relleno hidráulico: el relleno hidráulico, tiene una densidad de 1950 gr/l, se transporta mediante tuberías de 4" desde la planta de relleno en superficie, producto del overflow

## **1.2.UBICACIÓN GEOGRÁFICA.**

La Unidad Económica Animón, propiedad de la Compañía Minera Chungar SAC., produce concentrados de zinc, plomo y cobre. Se encuentra ubicada en el flanco oriental de la cordillera occidental. Políticamente se encuentra ubicada en el distrito de Huayllay, Provincia y Región

Pasco, a una altura de 4 600 m.s.n.m., a 46 Kms. al Sur Este de la ciudad del Cerro de Pasco, dentro de la hoja 23-K – Ondore (Provincia Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca) y Lima (Provincia y distrito de Oyón). Las altitudes van desde los 4,300 msnm (túnel Shuchshapa) hasta 5,200 msnm y se encuentra dentro del cuadrángulo de Yanahuanca 21 – J

**Figura 53: Ubicación Geográfica de Animon**



*Nota:* Obtenido de la base de Datos de Gerencia de Operaciones de Unidad Minera Animon

### 1.3.ACCESIBILIDAD

La mina es accesible por tres vías:

Lima – La Oroya – cruce Villa de Pasco – Huayllay - Animón 328 Kms. 6 horas

Lima – Huaral – Animón 225 Kms. 5 horas

Lima – Canta – Animón . 219 Kms. 5 horas

#### **1.4.CLIMA Y METEOROLOGÍA**

Claramente diferenciados a lo largo del año se presentan 2 ciclos climáticos, y constan de:

- Seis meses de intensas precipitaciones fluviales correspondientes al verano austral, comprendidos entre los meses de noviembre a abril. Con variaciones de temperatura de -4°C a 14°C.
- Seis meses de verano, comprendidos entre los meses de mayo a octubre. Con temperaturas que varían de 3° a 20° C.

La velocidad de los vientos alcanza los 45 Km/h en el mes de Agosto.

#### **1.5.RECURSOS**

##### ***1.5.1. FLORA Y FAUNA.***

Existen un total de cinco tipos de vegetación: pajonal (alto y bajo), bofedal, vegetación de roquedal, matorral y vegetación acuática, siendo el pajonal el tipo de vegetación que alberga el mayor número de especies. Asimismo, se han identificado siete especies endémicas y seis especies amenazadas. La composición de especies y familias vegetales que se registra en el área es típica de las zonas alto-andinas del Perú, no registrándose variaciones marcadas a lo largo del tiempo. Sin embargo, se reporta una disminución de la cobertura vegetal de algunas especies, relacionada con el régimen de quema realizado por parte de los pobladores locales. Existe un total de 71 especies de aves, con una mayor proporción de aves de ambientes terrestres respecto a las aves acuáticas. Las localidades ubicadas dentro y como influencia 10 directa del yacimiento están

caracterizadas por presentar áreas más extensas de pajonal, lo que favorece el establecimiento de las aves.

## **1.6.GEOLOGÍA**

### ***1.6.1. GEOLOGÍA REGIONAL***

La estratigrafía que se emplaza en la unidad minera de Animón está compuesta por sedimentitas de ambiente terrestre de tipo “molásico” conocidos como “capas rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas. En el área se observan las “capas rojas” que pertenecen al grupo Casapalca constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza o verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises, se estima un grosor de 2,385 metros que datan del cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

Las unidades lito estratigráficas que afloran en la región están constituidos por sedimentitas de ambiente terrestre de tipo “molásico” conocidos como “capas rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con plutones hipabisales. En la región abunda las “capas rojas” pertenecientes al grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental, desde la divisoria continental hacia el Este y está constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza o verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises; se estima un grosor de 2 385 metros que datan al Cretáceo superior terciario inferior (Eoceno). En forma discordante a las “capas rojas” y otras unidades litológicas del cretáceo se tiene una secuencia de rocas volcánicas con grosores variables constituido por una serie de derrames lávicos y piroclastos mayormente andesíticos, dacíticos y riolíticos pertenecientes al grupo Calipuy, que a menudo muestran una

pseudoestratificación subhorizontal en forma de bancos medianos a gruesos con colores variados de gris, verde y morados.

## ***1.6.2. SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA***

### **1.6.2.1.COMPLEJO MARAÑÓN**

Constituye el basamento de la secuencia estratigráfica con edad Neoproterozoica, ocurren afloramientos en la parte Este de los cuadrángulos de La Unión y Yanahuanca. Las rocas que afloran en las ventanas geológicas son pizarras, esquistos y filitas de colores marrones a grises con miembros arenáceos más macizos de 30 cm de espesor aproximadamente, desarrolladas esporádicamente. Muchas venillas pequeñas de cuarzo están presentes, las cuales son probablemente el resultado de segregación de un metamorfismo regional de bajo grado

### **1.6.2.2.GRUPO AMBO**

Una secuencia de areniscas y lodolitas las cuales exceden los 1,000 m de espesor, se expone a lo largo de la carretera, la cual une La Unión con Huánuco, el Grupo Ambo sobreyace a las rocas del Complejo del Marañón en discordancia angular al Este del pueblo de Chavinillo en el cuadrángulo de La Unión, formando parte del sinclinal que pasa por San Cristóbal de Jacas Chico y Margas, e infrayace al Grupo Mitu. En la base del Grupo Ambo se encuentra un conglomerado polimictico compuesto por rodados redondeados y subangulosos que pueden alcanzar hasta 40 cm de diámetro, corresponden a areniscas, cuarcitas, esquistos, esquistos micáceos; la matriz es areniscosa, feldespática con micas. Tal conglomerado suprayace a las rocas metamórficas del Complejo del Marañón en clara discordancia angular. Su grosor es de 20 m. La ocurrencia de rocas observadas hacia el Norte comprende una secuencia de capas delgadas de areniscas limoarcillíticas de color verde grisáceo y lutitas donde parecen subyaciendo al Grupo Mitu. El buzamiento de los

estratos es más o menos concordante con los del Grupo Mitu, pero el contacto es probablemente una discordancia debido a que el Mitu descansa directamente sobre esquistos en otras localidades.

### ***1.6.3. GEOLOGÍA LOCAL***

#### **1.6.3.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL**

La estratigrafía presente en el yacimiento minero corresponde a la Formación Jumasha, la cual puede ser sub dividida en tres miembros, Jumasha II, Jumasha III y Jumasha IV. La base de la unidad no aflora y debe corresponder a otro miembro denominado Jumasha I.

##### ***1.6.3.1.1. Jumasha II***

Caracterizado por poseer una gran potencia, la cual supera a los demás miembros pertenecientes a este paquete sedimentario. La base de esta unidad sedimentaria fue hallada en la zona de Gayco, donde se exponen más de 110 m. de una sucesión netamente calcárea; en cambio, la columna estratigráfica levantada desde el sureste de la laguna de Puyhuancocha hasta las inmediaciones de Siete Caballeros al sur de la presa de relaves, marca una sucesión de más de 650 m. de calizas con horizontes delgados de margas.

##### ***1.6.3.1.2. Jumasha II (Inferior)***

El miembro inferior del Jumasha II no aflora completamente en el distrito minero Raura, es por ello que solamente se ha llegado a determinar un espesor de 300 m. Las calizas están agrupadas en secuencias elementales que presentan a la base estratos delgados de calizas tipo packstone y mudstone, en la parte media, presentan calizas tipo packstone gris oscura formado por la acumulación de clastos irregulares que desarrollan estratos cada vez más potentes; el techo está generalmente conformado por estratos potentes de brecha sedimentaria con clastos irregulares.

#### ***1.6.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL***

El yacimiento Chungar se asocia principalmente a estructuras geológicas como el anticlinal de Huarón, Está compuesto por rocas sedimentarias como marga gris, marga roja, areniscas, conglomerados y un intrusivo cuarzo monzonita en la periferia. Las rocas sedimentarias se presentan en secuencias alternas y gradacionales observadas claramente en la superficie, formándose pliegues y anticlinales donde se encuentra emplazada la mineralización del yacimiento de Chungar. Las principales estructuras geológicas son representadas en:

**Plegamiento:** son estructuras que se orientan en forma regional de N 25° W. La manifestación tectónica principal de la zona es el anticlinal de Huarón.

**Intrusión:** principalmente compuesta por intrusivos monzoníticos cuarcíferos, con presencia de diques axiales longitudinales y transversales. Los diques axiales longitudinales se presentan como un enjambre de 6 diques dentro de un cuerpo lenticular, cuya parte más ancha tiene 1.4 km. y se orienta al N 25° W. Esta parte se adelgaza progresivamente en su recorrido de 3 km. al norte y de 5 km hacia el Sur.

**Fracturamiento:** el fracturamiento se realizó mediante dos conjuntos de fracturas preminerales: El conjunto transversal orientado en dirección E-W: y el conjunto longitudinal orientado en la dirección N-S. El primer conjunto se caracteriza por presentar dos sistemas de fracturas que tienden a converger en profundidad. Al primer sistema que buza 70°-80° al Norte y se localiza en la parte media y Sur del distrito, pertenecen una gran cantidad de fracturas, entre las que se encuentran las fracturas inversas mineralizadas de Andalucía, Restauradora (Principal), Cometa, Elena, Yanamina, Travieso, Alianza y Yanacrestón.

**Tipo de Depósito Mineralización:** está compuesta por sulfuros: esfalerita (sl), galena (gn), calcopirita con trazas de sulfosales de cobre (tetrahedrita-tennantita) (td) y sulfosales de plata

(pirargirita) asociadas con pirita (py), marcasita y hematita (hm). La ganga no metálica lo constituyen el cuarzo (qz), rodonita y carbonatos (calcita (ca), dolomita (do), rodocrosita (rd), ankerita y siderita). Estructuras en vetas de Chungar: el yacimiento Chungar cuenta con más de 20 estructuras, siendo 8 estructuras mineralizadas polimetálicas (Pb, Zn, Ag, Cu) las que se han desarrollado y explotado actualmente, con longitudes de pocas centenas de metros (veta noreste – 300 metros) hasta longitudes mayores a 1800 metros (veta Principal y veta Precaución), con profundidades de 500 metros y potencias de 0.8 metros a 15 metros. Las estructuras E – W, con buzamientos entre 75° a 90°, estas estructuras al cortar diques monzoníticos se ramifican y al ingresar a los conglomerados reemplazan a clastos calcáreos. Hay vetas como María Rosa, 085 y Lorena han sido disturbadas por fallamiento postmineral transversal o concordante; estos aunados a la fuerte alteración hidrotermal de las cajas caolinización y silicificación.

### ***1.6.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA***

#### **1.6.5.1. MINERALIZACIÓN**

Seguidamente después de la formación de las primeras fracturas pre-minerales los cuales se iniciaron en la parte central del distrito, las soluciones hidrotermales primitivas las invadieron y circularon a lo largo de ellos a temperaturas relativamente altas. Los compuestos llevados en solución fueron precipitados en el siguiente orden paragenético: cuarzo lechoso, pirita, enargita y tetraedrita. La enargita es abundante en Inmediatamente después de la formación de las primeras fracturas pre-minerales los cuales se iniciaron en la parte central del distrito, las soluciones hidrotermales primitivas las invadieron y circularon a lo largo de ellos a temperaturas relativamente altas. Las partes centrales del distrito y la tetraedrita (con poco contenido de plata) lo es en las partes exteriores del área de enargita. A este primer ciclo de precipitación mineral

pertenecen las vetas Travieso, Alianza, Veta 4, Tapada, la parte sur de la Veta Fastidiosa y la parte norte de la Veta San Narciso.

#### 1.6.5.2. MINERALOGÍA

##### **Minerales de mena:**

Esfalerita ( $ZnS$ ): Es el mineral económico más importante, se presenta en forma masiva, granular y cristalizada (tetraedros), generalmente relleno de cavidades y fracturas, está muy asociada a la galena (afinidad metálica) y en menor grado a calcopirita, cuarzo, etc. Es de color amarillo castaño a negro, brillo resinoso; ocurre en dos variedades: esfalerita rubia (blenda) y marmatita, siendo este último de mayor distribución en los niveles inferiores, presenta un color marrón oscuro.

Galena ( $PbS$ ): Ocurre mayormente en forma cristalizada en cubos, los cristales presentan una buena exfoliación cúbica; está muy asociada a la esfalerita rubia, rodocrosita, baritina y cuarzo. La variedad de galena argentífera ocurre en forma masiva y disseminada, relleno de intersticios de esfalerita, cuarzo, etc. La galena aumenta su proporción hacia niveles superiores.

Proustita ( $Ag_3AsS_3$ ): Estos minerales conocidos como platas rojas han sido importantes como menas en algunos lugares. Son isoestructurales como formas cristalinas. Con cristales de forma semejante, similares propiedades físicas y yacimientos.

##### **Minerales de ganga:**

Cuarzo ( $Si_2O$ ): Ocurre en cristales prismáticos hexagonales bipiramidales y en granos anhedrales, relleno de cavidades y fracturas, es de color incoloro a blanco, brillo vítreo; se asocia frecuentemente

a la pirita y calcopirita. Es un mineral de amplia distribución acompañando a los minerales de mena.

Calcita (C03Ca): Se presenta en cristales romboédricos de color blanco, a veces ocurre en forma masiva asociada a baritina, rodocrosita, galena, etc. Suele también presentarse en bandas irregulares o en venillas rellenando fracturas.

Pirita (S2Fe): Ocurre en forma masiva y cristalizada con una distribución diseminada en la mena metálica y en las paredes rocosas, su incremento en proporción índice una disminución parcial de valores de plata, está asociada a cuarzo, esfalerita y calcopirita.

#### ***1.6.4. RESERVAS Y RECURSOS ANIMON***

De acuerdo a la certeza de las exploraciones, al 25 de diciembre del 2016, se tienen estimadas 30'761,374 TMS con 0.17% Cu, 1.71 % Pb, 6.00 % Zn y 4.70 Oz – Ag/TM. Volcán Cía. Minera S.A. En este sentido se están tomando las acciones necesarias para aumentar la confianza en los estimados mediante la definición de la metodología de cada etapa y hacerlas sustentables, tan igual que a las técnicas de verificación y validación empleadas para confirmar los resultados.

Conforme aumenta el conocimiento geológico, es posible que la información de la exploración llegue a ser la suficiente como para estimar un recurso mineral. Conforme aumenta la información económica, es posible que parte del total de un recurso mineral se convierta en una Reserva Mineral. Las flechas de doble sentido entre Reservas y Recursos que se incluyen indican que los cambios en algunos factores podrían hacer que el material estimado se desplace de una categoría a otra.

**Tabla 40 : recursos y reservas segun las vetas**

<b>Estructura</b>	<b>TMS</b>	<b>% Cu</b>	<b>% Pb</b>	<b>% Zn</b>	<b>Oz Ag</b>
Andalucia	1'013,665	0.11	1.21	3.05	5.25
Janeth	2'513,724	0.11	1.34	4.12	4.85
María Rosa	121,393	0.04	1	1.11	3.05
Ramal Piso	35,972	0.1	0.24	2.12	0
Ramal Techo	43,224	0.15	1.87	3.43	1.65
Karina	34,717	0.12	1.15	2.4	2.44
Guísela	10,151	0.13	1.01	7	4.36
Elva	180,570	0.12	0.91	5.21	0
Ofelia	58,756	0.08	1.11	1.17	0
Split Piso	33,968	0.11	1.03	7.52	2.73
Split Techo	177,378	0.12	1.5	1.31	2.77
San Pedro	47,626	0.05	1.4	1.01	1.87
Principal	15'674,290	0.1	1.05	8.81	5.45
Carmen	10'789,857	0.14	1.12	7.01	5.45
Lorena	12,754	0.12	1.05	4.17	4.66
Ramal 85	13,329	0.15	0.18	1.41	2.66

#### **1.6.5. MÉTODOS DE MINADO EN UNIDAD MINERA CHUNGAR**

En la mina Animón se utilizan dos métodos de minado: el método de subniveles con taladros largos y el método de corte y relleno ascendente con breasting.

#### **a) Subniveles con taladros largos y relleno**

Se delimitan en cada nivel dos bancos de 8.5 m de altura con tres subniveles de 4.0 m de altura, dejando sobre el tercer subnivel un puente de seguridad de 5 m de altura. Para llevar a cabo el minado es necesario avanzar hacia los niveles inferiores de los bloques de minado con una rampa principal de 4.5 m de ancho por 4.5 m de altura con gradiente -13%.

#### **b) Corte y relleno ascendente con breasting**

Consiste en construir a cada 27 o 28 m de desnivel un nivel principal de ataque y a partir de este, realizar unos cinco cortes longitudinales con taladros horizontales (breasting), dejando finalmente un puente de seguridad de 5 m de altura respecto al siguiente nivel.

### ***1.6.6. CICLO DE MINADO***

#### **1.6.6.1.PERFORACIÓN**

La perforación de los tajos o labores de producción es horizontal (Breasting), con Jumbo electrohidráulico de un brazo, con barra de 12 pies de longitud, brocas para taladros de producción de 45 mm de diámetro, para una malla de perforación de 1.0 m x 1.0 metros, utilizando el método de Cased (entubado de taladros). El ancho de minado varía de 3.5 metros a 4 metros, y una altura de 4 metros. Esto con motivo de controlar la sobre dilución. La perforación para las labores de avance (Rampas, By Pass, Accesos, Cámaras y Sub niveles), se realiza con Jumbo electrohidráulico de un brazo, con barra de 12 pies de longitud, brocas para taladros de producción de 45 mm. de diámetro y los taladros de alivio de 102 mm., para una malla de perforación 0.5 m x 0.5 metros para un total de 45 taladros perforados y 4 rimados, para labores de 4 m. x 4.5 metros y de 32 taladros perforados y 4 rimados para labores de 3.5m. x 4 metros utilizando el tipo de arranque de Corte Cilíndrico del tipo Dankun, logrando así un avance efectivo de 3 metros.

La perforación para labores de desquince (Pívor), es horizontal, con Jumbo electrohidráulico de un brazo, con barra de 12 pies de longitud, brocas para taladros de producción de 45 mm de diámetro, para una malla de perforación de 1.0 m x 1.0 metros para labores de 4.0 m. x 4.0 metros utilizando el método de Cased (entubado de taladros).

#### **1.6.6.2.VOLADURA**

Para la voladura controlada del tipo recorte se utilizan explosivos de baja densidad (Emulsiones de la marca EXSA, tales como el Emulex de 80, Emulex de 65, Emulex de 45 y Pentacord 3P), los accesorios utilizados para la iniciación de la voladura son los detonadores no eléctricos, como el Exsanel de periodo corto (m./s.), y periodo largo (seg.), y Carmex para el inicio.

#### **1.6.6.3.LIMPIEZA Y ACARREO**

Para la limpieza del mineral se utiliza Scooptram de 4.2 y 6 yd<sup>3</sup>, las cuales estas acumulan a la cámara de carguío para luego ser dispuestos y acarreados por los equipos de transporte. Una vez encebado el Exsanel (MS y LP) con el explosivo (Emulex de 80) se procederá a distribuir los cebos según su tiempo de retardo en todos los taladros perforados, y por medio del atacador de madera de longitud 3m., se introducirán estos en el fondo del taladro para luego completar la carga con las demás emulsiones (Emulex 65, 45).

#### **1.6.6.4.VENTILACIÓN**

Proceso en el cual se ventila la labor para eliminar los gases producto de la voladura, luego se procede a regar la carga para mitigar el polvo, verificar posibles tiros cortados en el frente y por último se procederá a realizar el desate manual de la labor sobre carga esto con motivo de eliminar

bloques colgados de la corona y que pueden ocasionar algún accidente en el equipo Scooptram durante la limpieza.

### **1.6.7. PLANTA CONCENTRADORA**

La planta concentradora tiene una capacidad de procesar promedio de 5500 TMSD, minerales de: zinc, plomo, cobre con contenidos de plata. Cuenta con: circuito de chancado, circuito de molienda, circuito de flotación, espesamiento y filtrado; y depósito de relaves, siendo la separación de los minerales por flotación .

#### **1.6.7.1. CONCENTRADOS Y RELAVES**

La Planta Concentradora al tratar 5,500 TMS /día produce un promedio de 660 (12%) TMS/día de concentrados y 4,840 (88%) TMS/día de relaves. El relave producido, luego de la obtención de los concentrados de los minerales tratados, es enviado a la Planta de Relleno Hidráulico para su clasificación y obtención de relleno, la diferencia es enviado a la Presa de Relaves.

## ANEXO 2

### 1.1.IMÁGENES DE CAMPO

**Figura 54: Implementación de fibra**



Fuente: Elaboración Propia

Nota: En la figura anterior se observa la medida de un control de calidad(Slump) del shotcrete en interior mina.

**Figura 55: Implementación de fibra en un frente**



Fuente: Elaboración Propia

Nota: En la figura anterior se observa la ejecución de perforación de un frente, notándose el sostenimiento sobre el equipo, garantizando seguridad.

**Figura 56: Implementación de muestra**



Fuente: Elaboración Propia

Nota: En la figura anterior se están realizando pruebas de Slump de la mezcla en planta concreto.

**Figura 57: Implementación de controles**



Fuente: Elaboración Propia

Nota: En la figura anterior se observa la ejecución de un control calidad del lanzado relacionado al revote del mismo.

**Figura 58: Supervisión de la implementación de fibra**



Fuente: Elaboración Propia