

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE POR VÍA
HUMEDA, UTILIZANDO FIBRA SINTETICA EN LA RAMPA 8600
TRAMO 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN**

PRESENTADO POR:

Bach. Wilbert Colque Mamani

Para Optar el Título Profesional de

Ingeniero de Minas

ASESOR: Dr. Rómulo Dueñas Vargas

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON SIOTOCRETE POR VÍA HUMEDA UTILIZANDO FIBRA SINTETICA EN LA RAMPA 8600 TRAMO 1200-1107 H.T. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO - JUNIN

presentado por: WILBERT COLQUEMISMINI con DNI Nro.: 43776017 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor 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 página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 21 de Mayo de 2024


Firma
Post firma DR. ROMULO FUENTES VARGAS

Nro. de DNI 24460501

ORCID del Asesor 0000-0002-2668-0652

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:356210311

NOMBRE DEL TRABAJO

**MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON SH
OTCRETE POR VÍA HUMEDA, UTILIZAND
O FIBRA SINTETICA EN LA RAMPA 8600
T**

AUTOR

Wilbert Colque Mamani

RECUENTO DE PALABRAS

19849 Words

RECUENTO DE CARACTERES

101658 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

143 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.2MB

FECHA DE ENTREGA

May 21, 2024 12:37 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 21, 2024 12:40 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 17 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado

DEDICATORIA.

A mi mama Fortunata Mamani Cáceres, quien me apoya y guía en todo momento con sus sabios consejos.

A mi hermana Vilma Colque Mamani, por su apoyo permanente en mi vida universitaria.

A mi esposa e hijo, porque son el motor que impulsan a seguir adelante.

A mi gran amigo Ingeniero Gonzalo Tito Álvarez, mi ejemplo a seguir en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a la Empresa Contratista “CJNETCOM S.A.A”, por brindarme información requerida para hacer realidad este trabajo, como también al Ing. Lenin Ricra Morales y Rene Gonzales Ramos, por su asesoramiento, así también mi agradecimiento va dirigido a todos los integrantes de CJNETCOM S.A.C. Por su apoyo incondicional en la obtención.

Mi agradecimiento también a los Señores Docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad de San Antonio Abad del Cusco por su dedicación y esfuerzo en bien de mi formación profesional en especial al Dr. Rómulo Dueñas Vargas quien fue mi asesor en esta tesis.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de progresos la operación minera SAN VICENTE se ha enfocado en aplicar la técnica de sostenimiento shotcrete vía húmeda, con resultados positivos según estudios geomecánicas y aspectos geológicos ya que reduce paralizaciones en las operaciones debido a accidentes por caída de rocas sueltas, estallidos de roca y debilitamiento de astial y corana a causa de eventos micro sísmicos propios de la mina en estudio.

La unidad minera SAN VICENTE opera en diferentes zonas. Actualmente, explota la mineralización en vetas que básicamente se basa en sulfuros de zinc (esfarelita), bajas concentraciones de sulfuros de plomo y plata (galena) progresivamente se va profundizando, por la cual se requiere mejorar el sostenimiento con shotcrete vía húmeda.

Este estudio se estructura mediante estos capítulos:

Capítulo I: comprende la información sobre el planteamiento del problema, objetivos, justificación hipótesis y variables de la investigación.

Capítulo II: Conformado por la información sobre el marco teórico, referencial y conceptual de la investigación; así como aspectos generales para ubicar el proyecto, los aspectos geológicos del yacimiento mineral.

Capítulo III: comprende el procesamiento de la información de uso de refuerzo sintético en el respaldo con shotcrete por vía húmeda.

Capítulo IV: comprende el análisis de los resultados y discusión de los objetivos planteados; donde se realiza el cálculo de resistencias, así como también el costo de la fibra.

Por último, se mencionan las conclusiones y las recomendaciones a las cuales se han arribado con este estudio.

RESUMEN

Debido a la particularidad que tiene la mina en investigación (eventos micro sísmicos y ambiente bastante húmedo) que produce y/o ocasiona debilitamiento de corona y astial así como también oxidación de la fibra metálica utilizada reduciendo la absorción de energía en los frentes de trabajo especialmente en la rampa en estudio, se busca cambiar insumos (fibra sintética).

Cuyo objetivo principal es mejorar el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN, dando seguridad que es lo más importante en las operaciones mineras.

El tipo de investigación es aplicada, ya que se basa la siguiente tesis en las normas ASTM, UNE, ACI Y EFNARC con el propósito de evaluar la aptitud de absorber impactos del shotcrete para su aplicación práctica, el diseño se basa en los datos que se tomaron en el entorno sin alterar variables.

Con la utilización de la fibra sintética se deberá conseguir logros positivos en el reforzamiento con proyección de concreto por vía húmeda en las labores de la empresa de extracción de minerales SIMSA, unidad minera SAN VICENTE.

El estudio se realiza en la rampa principal 8600 desde el nivel 1200 hasta el nivel 1100 de la compañía minera SIMSA, unidad minera SAN VICENTE.

Con la verificación de la hipótesis se deben obtener los siguientes resultados: la fibra sintética debe tener mejores resultados en relación a la fibra, siendo mejor en la resistencia de compresión uniaxial 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.

ABSTRACT

Due to the particularity of the mine under investigation (microseismic events and quite humid environment) that produces and/or causes weakening of the crown and astial as well as oxidation of the metallic fiber used, reducing the absorption of energy in the work fronts, especially In the ramp under study, we seek to change inputs (synthetic fiber).

The main objective of which is to improve support with wet shotcrete, using synthetic fiber on ramp 8600 section 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO - JUNIN, giving security which is the most important thing in mining operations.

The type of research is applicative, since the following thesis is based on the ASTM, UNE, ACI and EFNARC standards with the purpose of evaluating the ability to absorb impacts of shotcrete for its practical application, the design is based on the data took into the environment without altering variables.

With the use of synthetic fiber, positive achievements should be achieved in the reinforcement with wet concrete spraying in the work of the mineral extraction company SIMSA, SAN VICENTE mining unit.

The study is carried out on the main ramp 8600 from level 1200 to level 1100 of the SIMSA mining company, SAN VICENTE mining unit.

With the verification of the hypothesis, the following results should be obtained: the synthetic fiber should have better results in relation to the fiber, being better in uniaxial compression resistance and toughness with a lower dosage, taking into account that the cost of the synthetic fiber It is larger than the metallic fiber; Therefore, synthetic fiber is a good option for improving wet spraying of shotcrete.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INTRODUCCIÓN	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INDICE DE CONTENIDO	VII
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE ANEXOS	XV
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. Justificación	4
1.4.2. Importancia	4

1.5.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO	4
1.6.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6.1.	Delimitación Temporal	5
1.6.2.	Delimitación Espacial	5
1.7.	HIPOTESIS Y VARIABLES	5
1.7.1.	Hipótesis General	5
1.7.2.	Hipótesis Específicas	5
1.8.	VARIABLES DE ESTUDIO	6
1.8.1.	Identificación de Variables	6
1.8.2.	Cuadro de Operacionalización de Variables	7
1.9.	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.9.1.	Tipo de la Investigación	7
1.9.2.	Nivel de investigación	8
1.10.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.10.1.	Población	8
1.10.2.	Muestra	8
1.11.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	8
1.11.1.	Técnicas	8
1.11.2.	Instrumentos	9
1.11.3.	Procesamiento de Datos	9
CAPÍTULO II		10
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL		10

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	10
2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales	11
2.1.3. Antecedentes locales	11
2.2. BASES TEÓRICAS O CIENTÍFICAS	12
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	27
CAPÍTULO III	38
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	38
CAPÍTULO IV	98
ANALISIS DE RESULTADOS	98
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFIA	104
ANEXOS	106

INDICE DE TABLAS

Tabla 01: Clasificación R.Q.D.	39
Tabla 02: G.S.I. para labores permanentes	40
Tabla 03: Resistencia a la compresión	41
Tabla 04: Parámetros para una determinada masa rocosa estéril y veta	41
Tabla 05: Valor R.M.R.	42
Tabla 06: Clasificación de rocas según valuación	42
Tabla 07: Gradación N° 2	46
Tabla 08: Ensayo granulométrico de la malla 01 (M-01)	47
Tabla 09: Resultados de gradación (M-01)	48
Tabla 10: Ensayo granulométrico de la malla 02 (M-02)	50
Tabla 11: Resultados de gradación (M - -02)	51
Tabla 12: Ensayo granulométrico de la malla 03 (M – 03)	53
Tabla 13: Resultado de gradación (M – 03)	54
Tabla14: Ensayo malla Nª 200	58
Tabla 15: Ensayo de humedad	60
Tabla 16: Gravedad específica y absorción de agregado	62
Tabla 17: Diseño del shotcrete utilizando 6 kg/m3 de fibra sintética.....	64
Tabla 18: Calculo de los volúmenes absolutos de los materiales	66
Tabla 19: Pesos del diseño de shotcrete en seco	67
Tabla 20: Características del aditivo plastificante RADCOM DRE – 9050 (50%)	68
Tabla 21: Características del aditivo GUNITOQ L-33 PLUS	68

Tabla 22: Diseño del shotcrete sin fibra	69
Tabla 23: Características de la macro fibra sintética MYPHOR FIBER PLUS 48	70
Tabla 24: Diseño de shotcrete con 4.0 kg/m ³ de fibra sintetica (FS – 4)	71
Tabla 25: Diseño de shotcrete con 6.0 kg/m ³ de fibra sintetica (FS – 6)	71
Tabla 26: Diseño de la fibra metálica	72
Tabla 27: Diseño de shotcrete con 20 kg/m ³ de fibra metálica (FM – 20)	72
Tabla 28: Diseño de shotcrete con 40 kg/m ³ de fibra metálica (FM – 40)	73
Tabla 29: Resultados de Slump con fibra sintética y fibra metálica	73
Tabla 30: Resultados de peso unitario y rendimiento del shotcrete con el diseño FS- 4	75
Tabla 31: Resultados del peso unitario del shotcrete de diferentes diseños	75
Tabla 32: Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro digital en NEWTON Y MPa	84
Tabla 33: Ensayo de resistencia inicial de los diferentes diseños del shotcrete (MPa)	85
Tabla 34: Ensayo de resistencia temprana con pistola HILTY DX 450	87
Tabla 35: Ensayo de resistencia temprana de los diferentes diseños del shotcrete	88
Tabla 36: Resultado de resistencia a la compresión de testigos diamantinos	89
Tabla 37: Resultado de resistencia a la compresión usando fibra sintética y metálica	89
Tabla 38: Resultado de resistencia a la compresión en probetas de 4 x 8	90
Tabla 39: Resultados de resistencia a la compresión en probetas de 4 x 8 usando FS Y FM	90
Tabla 40: Porcentaje del rebote para superficies, del shotcrete vía húmeda	93
Tabla 41: Calculo de porcentaje de rebote del shotcrete con fibra sintética	93
Tabla 42: Costo del diseño de shotcrete con 4.0 kg/m ³ de fibra sintética	95
Tabla 43: Costo del diseño de shotcrete con 6.0 kg/m ³ de fibra sintética	96

Tabla 44: Costo del diseño de shotcrete con 20 kg/m ³ de fibra metálica	96
Tabla 45: Costo del diseño de shotcrete con 40 kg/m ³ de fibra metálica	97
Tabla 46: Cuadro comparativo de mejora según resultados de la prueba de SLUMP	99
Tabla 47: Cuadro comparativo de mejora según resultados de resistencias iniciales con el uso de penetrómetro digital	100
Tabla 48: Cuadro comparativo de mejora según resultados de resistencias a la compresión con testigos diamantinos	100
Tabla 49: Cuadro comparativo de mejora según resultados de resistencias a la compresión con probetas de 4 x 8	100
Tabla 50: Cuadro comparativo de mejora según índice de rebote	101
Tabla 51: Cuadro comparativo según costo	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Fibra de acero SIKA LHD 45/35 NB	13
Figura 02: Características geomecánicas de la fibra de acero	14
Figura 03: Micro fibra de polietileno	21
Figura 04: Macro fibra de polietileno tipo I	22
Figura 05: Macro fibra de polietileno tipo II	23
Figura 06: Erizo de polietileno	24
Figura 07: Equipo para el lanzamiento de shotcrete vía seca	29
Figura 08: Equipo para el lanzamiento de shotcrete vía húmeda	34
Figura 09: Ubicación del tramo en estudio en el plano	44
Figura 10: Dimensiones de la rampa	45
Figura 11: Curva granulométrica (M – 01)	49
Figura 12: Curva granulométrica (M – 02)	52
Figura 13: Curva granulométrica (M – 03)	55
Figura 14: Ensayo granulométrico y módulo de fineza	57
Figura 15: Tamiz malla N ^a 200	59
Figura 16: Ensayo de humedad	61
Figura 17: Ensayo de absorción de agregado	63
Figura 18: preparación e instalación de equipo robot en el frente de lanzamiento de shotcrete	64
Figura 19: Bolsa de fibra sintética usada en la investigación	70
Figura 20: Prueba de SLUMP	74
Figura 21: Control de temperatura del shotcrete	76
Figura 22: Aplicación del dinamómetro digital	78

Figura 23: Panel trapezoidal para muestra del ensayo	79
Figura 24: Hincado de clavo con equipo de ensayo	80
Figura 25: Curva de fabricación del fabricante	83
Figura 26: Equipo PUTMEISTER SPM 4210 (equipo robot) en lanzamiento de shotcrete	84
Figura 27: Ensayo con dinamómetro digital	86
Figura 28: Ensayo con la pistola HILTI DX 450 en panel trapezoidal	88
Figura 29: Lanzado de shotcrete en la rampa principal 8600 tramo nivel 1200 al 1100	92
Figura 30: Recolección de muestra del rebote de shotcrete	94

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	107
ANEXO 2	119
ANEXO 3	120
ANEXO 4	121
ANEXO 5	121
ANEXO 6	122
ANEXO 7	123
ANEXO 8	124
ANEXO 9	125
ANEXO 10	126
ANEXO 11	127
ANEXO 12	128

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el desarrollo de la rampa 8600 sin sostenimiento adecuado puede implicar considerables costos, interrupción de operaciones entre otros inconvenientes. En la actualidad, la mina SAN VICENTE evita el desprendimiento de rocas (por eventos micro sísmicos que se presentan a diario) utilizando dos formas de respaldo seleccionadas (aplicación de shotcrete y pernos sistemáticos con malla de alambre electro-soldada), es por eso que la elevada exigencia de las compañía minera, que buscan mejorar su competitividad, impulsa la necesidad de desarrollar procesos más eficientes, orientados a optimizar la utilización de recursos para generar un mayor valor añadido, en este caso el uso de sostenimiento con shotcrete vía húmeda.

La utilización de concreto proyectado mediante la mezcla húmeda y fibras metálicas no escapa a esta descripción, ya que se destaca por ser un procedimiento de aplicación veloz y proporcionar hallazgos concretos cuando se combinan adecuadamente la habilidad del operador, una combinación sólida y circunstancias laborales apropiadas, como una presión de aire apropiada, superficie previamente preparada y un tiempo dentro del rango de auto-soporte. Indudablemente, nos encontramos frente a un método altamente eficiente.

Es por esta razón la necesidad de incrementar la resistencia, aunque la norma y la recuperación son elevadas, la unidad minera presenta una rentabilidad operativa beneficiosa. Al implementar el refuerzo mediante shotcrete vía húmeda, junto con el uso de fibra sintética, se mejorará la retención del impacto, la solidez y se obtendrán resultados positivos en la seguridad de las operaciones mineras. SAN VICENTE, CIA MINERA SIMSA, es por estas razones la necesidad de mejorar el sostenimiento por vía húmeda, utilizando fibra sintética.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cómo mejorar el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN?

1.2.2. Problemas Específicos

- ❖ ¿Cuáles son los parámetros geo-mecánicos para el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN?
- ❖ ¿Cuál es el resultado de la resistencia a la compresión uni-axial y tenacidad en el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN?

- ❖ ¿Cuál es el costo en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 – 1100, U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Determinar resultados en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 – 1100, U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros geo-mecánicos para el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 – 1100, U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN.
- Determinar el resultado de la resistencia a la compresión uniaxial y tenacidad en el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 – 1100, U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN.
- Determinar el costo del sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, utilizando fibra sintética en la rampa 8600 tramo 1200 -1100 U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación

El estudio se valida en términos prácticos, puesto que busca resolver los problemas identificados mediante los hallazgos obtenidos en la investigación en temas de sostenimiento en la rampa 8600 tramo 1200 – 1100, con shotcrete por vía húmeda, U.M. SAN VICENTE - CHANCHAMAYO – JUNIN.

Su justificación se sitúa en la metodología, dado que se emplean métodos específicos para la recopilación y tratamiento, los cuales podrían resultar útiles en indagaciones afines en el futuro.

1.4.2. Importancia

La aplicación de shotcrete mediante método húmedo con fibra sintética como método de reforzamiento ofrece notables ventajas en términos de nivel y operación de ejecución. En la actualidad, este método se implementa de manera eficiente en la unidad minera SAN VICENTE con la finalidad de evitar el descenso de rocas fracturadas y contribuir al manejo de resguardo ocupacional.

1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Durante la ejecución del estudio, se han identificado ciertos desafíos que han sido gradualmente superados.

Sin embargo, las limitaciones que se tuvieron son:

- El tiempo empleado en la recolección de datos es limitado por horario de trabajo.
- Apoyo del personal capacitado.
- Datos actuales sobre el funcionamiento de la investigación en términos de su operatividad.

1.6. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Delimitación Temporal

La duración temporal del estudio comenzará en el periodo de octubre del 2023 - enero marzo del 2024, en este lapso se culminará el proyecto evaluando el empleo óptimo de refuerzo con fibra sintética en el soporte de la rampa 8600.

1.6.2. Delimitación Espacial

Este estudio se sitúa en la localidad geográfica de la región JUNIN y la entidad de observación se encuentra localizada en la UM SAN VICENTE – distrito de SAN RAMON, provincia de CHANCHAMAYO, donde tiene lugar la actividad minera.

1.7. HIPOTESIS Y VARIABLES

1.7.1. Hipótesis General

Con la utilización de la fibra sintética se consigue resultados favorables en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda en las labores de la compañía minera SIMSA, unidad minera SAN VICENTE.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- Los parámetros geomecánicos son adecuados para el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en las labores de la compañía minera SIMSA, unidad minera SAN VICENTE.
- El resultado de la resistencia a la compresión uniaxial y tenacidad con el uso de fibra sintética es mayor a la actual utilizada en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en las labores de la compañía minera SIMSA, unidad minera SAN VICENTE.

- Los costos con la incorporación de la fibra sintética son menores a la actual utilizada en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en las labores de la compañía minera SIMSA, unidad minera SAN VICENTE.

1.8. VARIABLES DE ESTUDIO

1.8.1. Identificación de Variables

Según las variables identificadas son:

- **VARIABLE DEPENDIENTE:** Sostenimiento de la rampa 8600 tramo 1200 al 1100.
- **VARIABLE INDEPENDIENTE:** Utilización de fibra sintética en el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda.

1.8.2. Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE DE ESTUDIO	INDICADORES	VALORES
VARIABLE DEPENDIENTE: Mejora del sostenimiento en la rampa 8600 tramo 1200 al 1100.	Mejora del sostenimiento.	Kg/cm ² Mpa.
VARIABLE INDEPENDIENTE: Utilización de fibra sintética en el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda.	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de roca. • Diseño con fibra sintética. • Resistencia a la compresión usando fibra sintética. • Índice de rebote • Costos. 	RQD, RMR. Kg/m ³ , KG, Lt. Kg/cm ² %, s/.

Fuente: Elaboración propia

1.9. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1. Tipo de la Investigación

La naturaleza de este estudio es de carácter aplicativo, ya que busca objetivos con aplicaciones prácticas directas e inmediatas.

Aspira a aplicar conocimientos a situaciones concretas en lugar de desarrollar teorías. Este estudio se centra en comprender para implementar y efectuar, específicamente abordando los problemas asociados con el uso de fibra sintética.

1.9.2. Nivel de investigación

Este tipo de estudio descriptivo se orienta a detallar la información y las particularidades de la población.

1.10. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1. Población

Se realiza la investigación en la rampa principal 8600 desde el nivel 1200 hasta el nivel 1100 de las sociedades mineras SIMSA, y SAN VICENTE.

1.10.2. Muestra

Muestras obtenidas en paneles de proyección de concreto en la pendiente 8600 desde el nivel 1200 hasta el nivel 1100 de la compañía minera SIMSA, unidad minera SAN VICETE.

1.11. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.11.1. Técnicas

Se siguió el siguiente procedimiento para llevar a cabo la obtención de muestras:

- Elección del plano y pendiente (población y muestra)
- Alianza con el sector de geomecánica
- Determinación de la resistencia compresiva en condiciones reales
- Organización de sectores para la extracción de muestras
- Muestreo con perforación diamantina
- Envío de testigos a laboratorio
- Remisión de muestras al laboratorio
- Informes de los análisis de muestras

- Evaluación y comprensión de los hallazgos
- Redacción de conclusiones y recomendaciones

1.11.2. Instrumentos

Se emplearon los siguientes instrumentos para llevar a cabo el estudio:

- Equipo de fotografía
- Herramientas de laboratorio para análisis de rocas
- Horno
- Balanza

1.11.3. Procesamiento de Datos

Tras adquirir un panel con fibra sintética y otro con fibra metálica (fibra utilizada anteriormente), Estas pruebas fueron conducidas en los laboratorios especializados de la Pontificia Universidad Católica del Perú y de la Universidad Ricardo Palma. Se llevó a cabo la prueba de absorción de energía (tenacidad), el cual posibilita valorar la resistencia al impacto de las fibras.

Estas pruebas se enfocan en analizar la tenacidad de las fibras, es decir, la habilidad para absorber energía después de que el concreto ha experimentado fisuras.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Antecedentes internacionales

Machuca C. (2018) titulado “Evaluación del remplazo de acero tradicional por fibras como refuerzo en losas de la fuerza concreto” Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Estudios a Distancia Bogotá D.C – COLOMBIA.

Esta tesis concluye en el aumento en la cantidad de fibras sintéticas añadidas a la combinación de hormigón no tiene un impacto sustancial en la mejora de la fortaleza a la flexión ni a la fuerza aplicada al concreto.

CAÑÓN L. (2016) en la tesis “Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber ad de sika y toc fibra500 de toxement” Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad Tecnológica Ingeniería Civil Bogotá D.C – COLOMBIA.

Esta tesis concluye que la utilización de fibras evidenció su impacto en la solidez del concreto, presentándose como una alternativa factible. No obstante, es esencial evaluar la relación costo-beneficio, dado que, pese al incremento en la resistencia, el costo por kilogramo de la fibra es

elevado, lo que conlleva un desembolso extra que podría no ser necesario, de acuerdo con la categoría del proyecto a llevar a cabo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Neira G. (2018) en la tesis “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 – 2018” Universidad Continental, Lima-Perú.

Esta tesis se focaliza en la problemática real asociada al uso mecanizado del shotcrete vía húmeda con fibra metálica para el sostenimiento, donde se encuentran desafíos relacionados con la absorción de energía, durabilidad y seguridad en las operaciones de respaldo.

Arroyo M / Ojeda J (2015) en el seminario realizado “Nuevas soluciones para la mejora técnica y económica del concreto en las operaciones mineras” OSINERMINING (MyPHor materiales Especiales) (lima – Perú).

Esta tesis concluye que en el proyectado de concreto en la zona de trabajo conlleva inevitablemente una pérdida debido al rebote, y este porcentaje puede ser significativo. Esta pérdida de material obstaculiza el avance en las operaciones mineras y aumenta los costos, subrayando la importancia de reducir al mínimo dicho rebote. Esto es especialmente relevante en casos de un alto porcentaje de rebote tanto en el proyectado vía húmeda como en vía seca.

2.1.3. Antecedentes locales

Acuña S. (2023) en la tesis “Implementación de la fibra sintética en el shotcrete en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la CIA MINERA ALPAYANA CASAPALCA” Universidad Nacional San Antonio Abad – CUSCO.

Su propósito principal es integrar fibras sintéticas en el shotcrete para proporcionar un sólido soporte en la rampa principal 565, con el propósito de analizar el impacto y desempeño de las fibras en fortalecer el respaldo de shotcrete, proporcionando resguardo al personal en sus actividades rutinarias.

Carpio A. (2021) en la tesis “Selección de fibras y diseño para shotcrete en la construcción del by pass del nivel 4540 en la U.P. Tambomayo Arequipa” Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Esta tesis concluye en examinar de manera precisa las resistencias iniciales del shotcrete aplicado vía húmeda, con el objetivo de cumplir con los requisitos mínimos establecidos por la Unidad de Producción de Tambomayo de la empresa Buenaventura.

2.2. BASES TEÓRICAS O CIENTÍFICAS

2.2.1. Fibra metálica

Estas fibras son las más comúnmente empleadas en el shotcrete. Aunque hay diversas clases y variantes y niveles a disposición, solo unas pocas cumplen con los estándares necesarios para el concreto proyectado fortalecido con fibra. Elaboradas a partir de alambre de acero de alta calidad, trefilado en frío y equipadas con acabados con configuración de gancho, ofrecen un anclaje excepcional.

Las fibras metálicas incluyen su geometría, la relación longitud/diámetro (L/D), la técnica de fijación, su fortaleza a la tracción, la magnitud presente en la combinación y la propiedad del acero utilizado. Estas se caracterizan por ser componentes finos de corta longitud y pequeño diámetro, utilizados para crear hilos que refuerzan el concreto. Conforme al diseño, estas fibras

pueden incluso reemplazar por completo la estructura habitual de refuerzo en el hormigón, que utiliza mallas y acero ranurado.

Figura 1: Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB

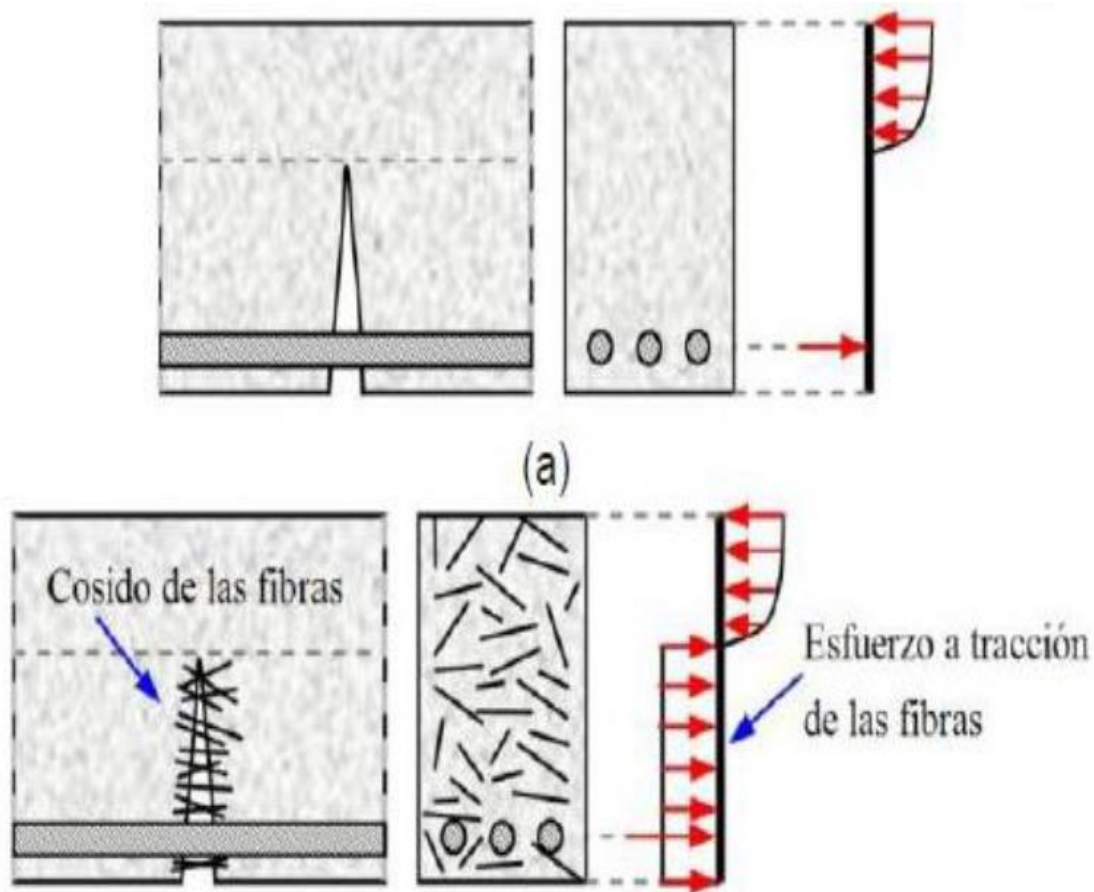


Fuente: Tomada del Manual técnico de fibras como elemento estructural.

El propósito principal de las fibras de metal en el shotcrete es incrementar su capacidad de deformación. Aunque es factible lograr una resistencia a la flexión considerable sin recurrir a fibras, la capacidad de deformación está directamente vinculada a la variedad y la cantidad de fibras metálicas utilizadas.

Estas se distinguen por tener una medida destacada relacionado a otras, con una capa uniforme o tratada, empleada como fortalecimiento en la unión del shotcrete, ya sea en línea recta o curvada, para lograr una distribución uniforme en la masa, preservando sin cambios las propiedades geométricas, como la Dimensión, la configuración y el grosor. La relación entre la longitud L y el diámetro D establece la relación de proporción o delgadez L/D .

Figura 2: Características geométricas de las fibras de acero.



Fuente: Extraída del Manual técnico sobre el uso de fibras como componente estructural para fortalecer el concreto.

Para establecer las características del hormigón fortalecido con fibras de acero, se hace imperativo realizar una investigación que comprende tres pasos, los cuales se detallan seguidamente:

Dosificación mínima necesaria para el traslape de la fibra

Según la Norma Europea EN 14487-1, la separación promedio entre las fibras de acero debe ser inferior a 0.45 veces la longitud de fibra (l_f), con el fin de garantizar el traslape mínimo entre sí.

La estimación del valor necesario para una superposición mínima entre las fibras podría ser calculada como:

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \times (df)^2 \times lf}{4pf}}$$

Donde:

- lf es la longitud de fibra
- df es el diámetro equivalente de la fibra
- pf es la dosificación de la fibra
- s debe ser menor de 0.45 lf para asegurar un traslape mínimo.

Mc Kee (1969), para el caso de la fibra de acero Sika LHO 45/35 NB, se tienen los siguientes datos:

- lf = 35 mm
- df = 0.78 mm
- pf = ¿?

Consecuentemente, la dosificación mínima de fibra será:

- pf = 18.64 kg/m³

Longitud total mínima de la fibra

Según la teoría de Mc Kee, de igual forma se hace la sugerencia de una extensión total menor de fibra metálica.

Con el objetivo de garantizar la presencia mínima de una red efectiva que facilite un procedimiento particular de múltiples rutas, promoviendo la reasignación de las cargas a través

de estructuras de acero entre las fibras, se aconseja una extensión menor de 10 000 metros de fibra de acero por metro cúbico de concreto.

La inclusión de fibras en cemento y concreto presenta mejoras notables en sus propiedades. A pesar de ello, existen fibras de diversas características, como nylon, hilos de vidrio, polipropileno, polietileno, metal, entre otras, las metálicas son las más difundidas, reconocidas y eficientes en términos de rendimiento.

Adicionalmente al beneficio de que el acero cuenta con un coeficiente de flexibilidad 10 veces mayor que el del hormigón, se encuentran las características de una cohesión efectiva a la combinación, elongación de rotura significativo y una rapidez notable para la ejecución de amalgamado.

La inclusión de fibras metálicas en los cementos y concretos aplicados conlleva una mejora en sus características físicas. Esto resulta en una disminución de la debilidad y un aumento de la maleabilidad tras la formación de grietas. También se observa un incremento en la tenacidad y en la disipación de energía, así como una reducción de la propensión a rupturas por contracción. Además, se registra un aumento en la capacidad para prevenir la inicio y expansión de fisuras, así como mejoras en la fortaleza frente al estiramiento y colisión y al corte. La respuesta a la flexión y tracción se ve mejorado, y se extiende la resistencia al desgaste del material.

Cuando se inicia la formación de fisuras, los hilos metálicos asegurados en ambas extremidades de la grieta desempeñan el papel de tensores, oponiéndose a la expansión y crecimiento de la misma. Este proceso continúa hasta que la tracción se rompe o las fibras se desplazan al extraviar la sujeción.

Las configuraciones más comunes de las fibras son:

- Forma circular, líneas rectas
- Perfil rectangular con terminaciones en forma de gancho
- Forma circular con doble terminación en gancho
- Forma circular con extremos aplanados
- Perfil rectangular con extremos ovalados y torcidos
- El uso más frecuente es con fibras de longitud de 30 o 40 mm y un diámetro de 0.50 mm.

La utilización de fibras se fundamenta en su capacidad para incrementar la fuerza de tracción, prevenir la formación de hendiduras y fracturas generadas por reducción plástica, sustituir a las rejillas soldadas eléctricamente, reducir el rebote y aumentar la tenacidad y tolerancia al choque.

En el contexto del empleo de filamentos de acero, la eficacia de la eficiencia se encuentra intrínsecamente ligada a la dosificación, expresada en kg/m³, y a diversas variables de las fibras, tales como su fortaleza ante la tracción, extensión, grosor y capacidad de sujeción. Un elemento fundamental que influye en la excelencia del concreto reforzado con la relación entre la extensión y el grosor de las fibras de estas, donde se observa que a medida que esta relación (l/d) aumenta, mejora significativamente el rendimiento del material. En el caso específico de los hilos de acero Dramix, se dispone disponible comercialmente de una variedad de longitudes (20, 25, 30, 35, 40, 50, 60 mm) y en diversos tipos de l/d (45, 65, 80).

Se sugiere emplear en la mina las fibras de acero Dramix RL45/30BN, las cuales poseen una longitud de 30 mm y un diámetro de 0.62 mm, resultando en una relación l/d de 48. Esta fibra presenta una densidad aproximada de 13,000 fibras por kilogramo, y de acuerdo con la teoría de separación de McKee, la proporción mínima recomendada es de 30 kg/m³.

Dosificación en base al comportamiento

La Norma Europea EN 14487-1 aborda las diversas maneras de definir la maleabilidad del concreto fortalecido con hilos de acero, considerando aspectos como la persistencia de fuerza y habilidad para disipar energía. Además, destaca que estas dos modalidades no son directamente equiparables.

La capacidad de absorber energía, evaluada en un panel, se puede determinar al poner resalte en la cantidad de energía que debe ser asimilada durante el proceso de distorsión de la masa rocosa.

El objetivo al emplear fibras de acero para fortalecer el hormigón es preservar la resistencia a la flexo-tracción del material, es decir, asegurar que el concreto pueda resistir fuerzas de flexión y tracción en cualquier ubicación de su estrato.

2.2.2. Fibras sintéticas (polipropileno)

A lo largo de la cronología de la edificación, las fibras han sido empleadas con el propósito de mejorar y fortalecer diversas formas de estructuras de hormigón. Durante un extenso periodo, la inclinación del hormigón a desarrollar grietas se ha reconocido como un fenómeno natural. Se debe a que surgen esfuerzos de estiramiento que superan la resistencia del hormigón en el momento de su vertido inicial y durante el proceso de fraguado.

Esta fibra sintética, generalmente de la variedad multifilamento, elaboradas a partir de polipropilenos sin utilizar previamente, y su aplicación confiere al hormigón una mayor maleabilidad. Dichas fibras incorporan secciones que se distribuyen de manera aleatoria dentro de la mezcla de hormigón. Existen variedades de fibra sintética, como el acrílico, aramid, carbón, poliestileno, nylon, poliéster, entre otros.

Uno de los beneficios de las fibras artificiales es su capacidad para proporcionar un mecanismo de apoyo interior al hormigón. Esto resulta en una liberación más homogénea y previene la

separación de los elementos, reduciendo también la probabilidad de que se produzcan grietas debido a la reducción plástica a lo largo de la fase de endurecimiento y reducción principal del hormigón. Es precisamente en este periodo cuando suelen manifestarse las microfisuras. Durante la fase plástica, las hebras sintéticas contribuyen a mantener las microgrietas más estrechas gracias al rozamiento existente entre las hebras y los agregados.

Las fisuras más frecuentes surgen durante la fase plástica y son resultado de la retracción que ocurre durante el proceso de solidificación del concreto, especialmente al momento que el líquido llega a su estado de evaporación, generando esfuerzos internos con el fin de llenar el espacio dejado por la la evaporación del agua. Estas fisuras se crean en las horas iniciales después de la disposición del concreto, y en muchos casos, no son evidentes hasta que ha transcurrido cierto periodo.

En muchos casos, estas fisuras son selladas en la superficie durante el proceso de acabado o, en su defecto, no son lo bastante amplias para ser percibidas.

Según funcionalidad, dosificación y geometría Microfibras

Las microhebras tienen una medida inferior a 0,1 mm y su tarea se reduce al manejo de las grietas generadas por la reducción.

Son filamentos diseñados para prevenir la formación de fisuras en el hormigón en su condición reciente o dentro de las primeras 24 horas. De acuerdo a los suministradores, las microfibras se incorporan al hormigón en cantidades de 600 gramos por metro cúbico. Aunque las dosificaciones son muy bajas, demuestran ser altamente eficaces para evitar la aparición de fisuras causadas por la retracción plástica del hormigón.

Las fibras de polipropileno son las más comunes, y su cantidad recomendada varía entre 0.3 y 1.2 kg/m³ de hormigón. Estas presentan un diámetro que oscila entre 0.023 y 0.050 mm, tan pequeño son categorizados a través de un factor llamado Denier, que representa el peso de gramos por cada 9 000 metros de fibra (1 denier = 1 gramo por 9 000 metros). Las microfibras ofrecen múltiples ventajas:

- Mejora la maleabilidad.
- Minimiza las grietas causadas por la contracción plástica.
- Disminuye las fisuras ocasionadas por el asentamiento plástico.
- Extrusión homogénea.

Son comúnmente empleadas en superficies de suelos y losas, aunque no pueden desempeñar ninguna función estructural. Además, se emplean con el propósito de optimizar la resistencia al fuego, ya que tanto las microfibras como las macrofibras pueden disminuir la posibilidad de desprenderse de manera explosiva. A partir de 1 kg/m³, se observa una reducción significativa en la posibilidad de desprenderse de manera explosiva en concretos de elevada presión y escasa permeabilidad. En este contexto, es recomendable que el número de fibras por kilogramo sea alto.

Figura 3: Microfibra de polipropileno.



Fuente: Extraída del evaluación técnica y financiera sobre la inclusión de grandes fibras de polipropileno en sustitución de rejilla soldada electricamente en concretos destinados a pavimentación industrial.

Macrofibras.

Las más comúnmente empleadas son de polipropileno, las cuales se adhieren a la norma ASTM C 1116. Estas fibras oscilan entre 0,2 y 0,8 mm y cumplen una función clave para prevenir la fisuración en el concreto endurecido (aunque su impacto es limitado antes de las 24 horas). Además, contribuyen a reducir el ancho de las fisuras si estas se presentan, permitiendo un funcionamiento adecuado de la estructura afectada. Estas fibras confieren propiedades estructurales al hormigón, llegando incluso a reemplazar la necesidad de mallas electrosoldadas.

Figura 4: Macrofibra de polipropileno Tipo I.



Fuente: Extraída del análisis técnico-económico sobre la inclusión de macrofibras de polipropileno en sustitución de malla electrosoldada en concretos destinados a pavimentos industriales.

Figura 5: Macrofibra de polipropileno Tipo II



Fuente: Extraída del análisis técnico-económico sobre la inclusión de macrofibras de polipropileno en sustitución de malla electrosoldada en concretos destinados a pavimentos industriales.

Mezclado

Los filamentos de polipropileno se suministran en estado suelto y son fáciles de empacar para facilitar su transporte. Se lleva a cabo un proceso de combinación mecánica en el cual la fibra se agrega al concreto ya sea en la planta de producción de concreto o en la mezcladora, integrándose como si fueran un agregado adicional. Posteriormente, se prolonga el proceso de mezclado durante 3 a 5 minutos, o se realizan aproximadamente 70 vueltas después de la adición de las fibras con el fin de asegurar su dispersión total. Debido a esto, los elaboradores sugieren que las fibras se incorporen en las plantas de producción de concreto, ya que requieren un agitado mecánico adecuado con el fin de su distribución uniforme de las fibras sintéticas, evitando que se formen grupos o "erizos" en el concreto.

Es crucial que las fibras sintéticas se dispersen de forma homogénea para evitar estos erizos (ver figura 6).

Figura 6: Erizo de polipropileno.



Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones

Aplicación

De acuerdo con los proveedores de fibras, se aconseja la utilización de macrofibras de polímero de propileno en diversos tipos de hormigones, ya sea para usos en superficies planas o perpendiculares que estén expuestas a choque, fricción y deterioro, como en placas, baldosas, caminos de entrada, pavimentación, entre otros.

Cuando se utilizan en enlucidos y mezclas de mortero, posibilitan lograr un acabado y nivel de calidad óptimos, disminuyendo de manera significativa la formación de fisuras.

Cuando se incorporan a la mezcla, estas fibras se dispersan de manera tridimensional y uniforme, logrando una compresión elevada del concreto. Esta disposición posee un impacto instantáneo en

la disminución de las grietas en el hormigón, preservando la firmeza de su estructura ante la contracción plástica y disminuyendo la generación de microgrietas.

Características físicas

Las hebras de polipropileno presentan una apariencia similar a fibras monofilamentadas, siendo incoloras y conformadas por un entramado diminuto de malla proveniente de una lámina de polipropileno sin utilizar, con un grosor de hebra de 23 micrómetros (según las fibras CAVE). Estas fibras se diseminan de manera homogénea en la combinación de hormigón.

Dosificación y recomendaciones

Posee una dispersión más efectiva en la combinación y una finalización lisa y sin filamentos. En contraste con las hebras metálicas, las hebras gruesas de polipropileno presentan una menor tendencia a enredarse, lo que simplifica el proceso de bombeado.

Las fibras de polipropileno no experimentan desgaste debido a la exposición a radiaciones ultravioletas, lo que facilita la integración del hormigón con armazón metálico o de madera, en comparación con el uso de encofrados convencionales. Su rendimiento es de 600 gramos por metro cúbico en el caso de microfibras sintéticas y varía entre 1 y 2 kilogramos por metro cúbico en el caso de macrofibras sintéticas.

Vida útil

Es recomendable conservar las fibras de polipropileno en su empaque original, sellado de manera hermética y en entornos secos. En estas condiciones, tienen una durabilidad de tres años si se mantienen en su envase original y sin haber sido abierto.

Cuadro de ventajas y desventajas de las fibras de polipropileno en pavimentos de hormigón.

Ventajas	Desventajas
<p>1. Las hebras gruesas tienen la capacidad de sustituir a las mallas electrosoldadas utilizadas en pavimentos.</p> <p>2. Las hebras gruesas reducen la permeabilidad en el hormigón que está relacionado al ancho de la fisura.</p> <p>3. En la fase de fraguado, incrementa la tenacidad y resistencia al impacto.</p> <p>4. En la fase inicial, se intensifica la regulación de la reducción plástica.</p> <p>5. La escasa densidad de las fibras garantiza su permanencia dentro del hormigón durante el proceso de vibración, evitando que se manifiesten en la superficie.</p>	<p>1. No pueden sustituir al acero estructural como las barras de acero sometidas a curvatura.</p> <p>2. Minimiza la caída del cono, la cual está directamente vinculada a la cantidad y composición de la fibra.</p> <p>3. En la fase inicial, la mezcla se vuelve más dificultoso y se puede incorporar cierto volumen de aire.</p> <p>4. Las fibras de polipropileno presentan un módulo de elasticidad reducido.</p>

Fuente: Tomada del Manual de shotcrete CJNETCOM

Rampa.

Son tareas análogas a los pasajes, pero con una pendiente ascendente o descendente de alrededor del 5%, facilitando su función como paso principal a una mina para llegar a los diversos planos laborales situados en distintas altitudes.

Sostenimiento.

Se utiliza el término para referirse a los métodos y los elementos empleados con el fin de fortalecer la firmeza y preservar la aptitud de carga de la roca circundante a una cavidad subterránea.

2.3. El hormigón proyectado o shotcrete

De acuerdo con el ACI, la palabra shotcrete se refiere a “Mortero colocado mediante proyección neumática veloz, de acuerdo con la definición de la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras el hormigón proyectado es una combinación de cemento, agregados y agua que se proyecta mediante aire comprimido desde una boquilla hacia un lugar específico, con el fin de generar una masa compacta y uniforme.

Este concreto proyectado incorpora añadidos y puede incluir fibras, ya sean metálicas, sintéticas o ambas. Las expresiones "concreto lanzado" y "shotcrete" hacen referencia esencialmente a la misma sustancia. En Europa, se utiliza el término "concreto lanzado", mientras que en nuestra región se favorece el término estadounidense de "shotcrete".

Los fundamentos que se aplican a la técnica del hormigón son igualmente válidos en el shotcrete, lo que implica que su diseño debe seguir los avances y elementos tecnológicos del concreto para obtener una combinación con gastos eficientes y mejorados. Significa que se deben tener en cuenta estos elementos:

- Los elementos constituyentes y su estructura.
- Las circunstancias de implementación, que abarcan las entradas y la factibilidad de los servicios hídricos, atmosféricos, luminosos y de ventilación.
- La forma de implementación (mediante proyección en seco o en húmedo).
- Las consideraciones logísticas (especialmente su impacto en la gestión del material).

- Necesidades de resguardo y bienestar.

Actualmente, se emplean dos técnicas: la aplicación mediante proyección en seco y la aplicación mediante proyección en húmedo; a continuación, se detallarán ambas.

Ambos métodos presentan beneficios y perjuicios, y la selección de ambos estará sujeta a los criterios específicos de la planificación y del conocimiento del equipo asignado de su ejecución. Aunque en el pasado el método de proyección en seco era el más utilizado, la tendencia actual, particularmente en el shotcrete para el sostén rocoso, ha experimentado un cambio. Se anticipa que el método predominante en el futuro será el de proyección en húmedo, debido a sus beneficios en términos de un entorno laboral más favorable, excelencia, homogeneidad y eficiencia en la fabricación. Los avances en la técnica del concreto proyectado se encuentran directamente vinculados con los procesos de aplicación en húmedo.

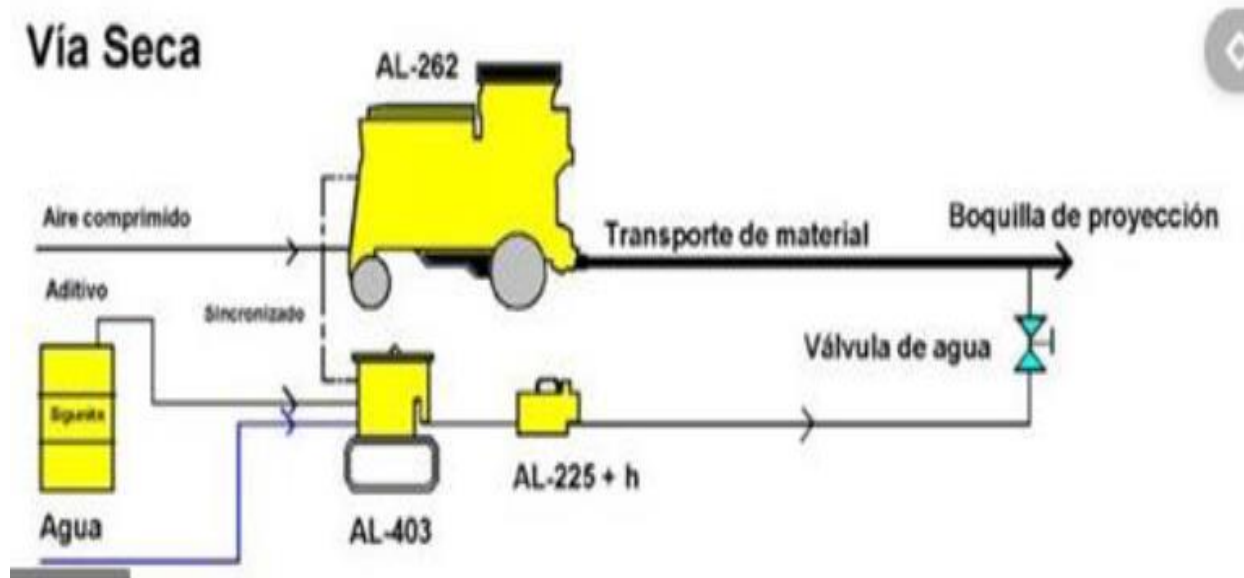
Vale la pena destacar que la pionera mina en el territorio que adoptó la sustentación rocosa mediante proyección en húmedo en sus labores diarias fue la mina Cobriza de Doe Run en mayo del 2000 (12). Ambos enfoques de shotcrete vía seca y vía húmeda, se describirán en seguida.

2.3.1. Método por vía seca

Las instancias de aplicación del shotcrete se realizaron a través del método de vía seca. En el proceso, sus elementos, ya sea secado o levemente prehumedecido, se introducen en una tolva con agitación constante. Se emplea aire comprimido mediante un cilindro rotatorio o un dispositivo de carga para llevar materiales de manera continua al conducto de abastecimiento. La adición de agua a la combinación se lleva a cabo en la boquilla.

Este procedimiento ocasiona gastos de operación elevados a causa del deterioro y daño que sufren los dispositivos de rotor. Con el fin de controlar estos gastos en niveles aceptables, es imperativo realizar una configuración precisa de las máquinas, realizar cambios de piezas de manera oportuna y emplear procedimientos adecuados de pulverización.

Figura 7: equipo para el método de shotcrete vía seca.



Fuente: Tomada del Manual de shotcrete CJNETCOM.

2.3.2. Método por vía húmeda

Este procedimiento se aplica en varias minas automatizadas a nivel mundial, como ejemplos se pueden mencionar regiones como Escandinavia, Italia, y en numerosos proyectos subterráneos de relevancia en distintas partes del planeta tierra.

El empleo del shotcrete en tareas de soporte de rocas últimamente ha vivido un notorio aumento de 10 a 20 años, generando un progreso significativo. Durante los años 1971 y 1980, se observó un avance extraordinario en la aplicación de shotcrete por vía húmeda en Escandinavia, transformando por completo el mercado del shotcrete en la región. Este cambio abarcó la transición total de la aplicación en seco a la aplicación en húmedo, con la evolución del método de aplicación desde procesos manuales hacia procesos robotizados.

Actualmente, varias minas mecanizadas emplean equipos robóticos para la proyección de concreto, los cuales son altamente versátiles en la consolidación de las excavaciones, así como en proyectos de ingeniería civil, ya sea para el revestimiento de túneles u otras obras requeridas.

Con el fin de permitir el flujo de la mezcla a través del equipo, se empleaban proporciones muy elevadas de agua, con una relación agua/cemento de hasta 1,0. Gracias a los avances tecnológicos en el sector del concreto en la actualidad, es plenamente viable fabricar shotcrete por vía húmeda que alcance una fortaleza a la reducción superior a 60 MPa a los 28 días.

a) Economía

Con la introducción de equipos robóticos modernos, la habilidad de lanzamiento del shotcrete mediante el procedimiento en húmedo ha experimentado un aumento significativo en comparación con la aplicación en seco. En una jornada laboral de 8 horas, la habilidad media de lanzamiento del procedimiento en húmedo suele ser de 4 a 5 veces superior a la del método en seco.

Aunque los gastos de capital para adquirir los nuevos robots para la aplicación en vía húmeda experimentaron un aumento significativo, se observó una optimización notable en la organización de las tareas, lo cual tiene un impacto considerable en el proceso de minado,

permitiendo la realización de más excavaciones sostenidas en un lapso reducido de tiempo. Con la incorporación de sistemas robóticos integrados, se puede iniciar el proceso de aplicación de shotcrete. en cuestión de minutos desde el desembarco de las fuerzas al frente. La implementación de martillos hidráulicos incrementó la aptitud para perforar en un 100%, lo que resultó realizar excavación y explosión en períodos más cortos por ciclo, a pesar del aumento en la inversión.

b) Ambiente de trabajo.

La implementación del método en vía húmeda supuso una mejora sustancial en las condiciones laborales, proporcionando un aumento de la salvaguarda del personal en conductos. Las posibles amenazas a la seguridad eran a menudo inadmisibles sin la presencia de un robot y sin el uso de fibras metálicas para el refuerzo. Gracias a la gestión a distancia de los dispositivos, el manejador tenía la posibilidad de ubicarse en una zona previamente protegida, reduciendo así los riesgos de caída de rocas, los cuales afectarían únicamente a los equipos y no representarían una amenaza para la vida humana.

c) Calidad

Aún persiste el concepto erróneo de que el proceso en vía húmeda no proporciona hallazgos favorables. Sin embargo, la realidad es que si se utilizan adiciones como aditivos reductoras de agua (teniendo una baja relación agua/cemento) y microsílíce (polvo que optimiza las necesidades de agua/cemento), es posible alcanzar capacidad de presión llegando a los 100 MPa aplicando en el concreto premezclado por vía húmeda. En comparación al de vía seca, el método en vía húmeda brinda una calidad uniforme.

d) Aplicación

El proceso de vía húmeda, se emplea concreto previamente mezclado en una planta de hormigón o una mezcla de argamasa prevista. La preparación de este concreto sigue el mismo procedimiento que el concreto convencional. En cualquier etapa del proceso, es factible llevar a cabo inspecciones y controles de la relación agua/cemento, lo que permite garantizar la calidad. Además, la consistencia puede ajustarse mediante el uso de aditivos.

Utilizando el proceso en vía húmeda, resulta más sencillo lograr una condición constante durante el desarrollo de visualización. La combinación se libera en una bomba y se lleva a presión por medio del conducto. Inicialmente, las bombas helicoidales eran las más comunes, pero actualmente prevalecen las bombas de émbolo. En la boquilla ubicada en el extremo del conducto, se incorpora aire al concreto a una tasa de 7-15 m³/min y a una presión de 7 bares, dependiendo del aplicando de forma manual (manual o con robot).

La incorporación de aire desempeña un papel crucial en el método de vía húmeda, ya que tiene como objetivo mejorar la velocidad del concreto, lo que a su vez contribuye a una compactación efectiva y una mayor adherencia a la superficie. Es esencial destacar que un error común en la aplicación de este método es el uso de cantidades inadecuadas de aire. En la práctica, se observa que la adición de un volumen de aire insuficiente, generalmente entre 4 y 8 m³/min, puede conducir a resultados subóptimos. Cuando se emplea una cantidad insuficiente de aire, se pueden experimentar problemas como resistencias a la reducción, una cohesión deficiente a las extensiones y un retorno no deseado del concreto proyectado. Para garantizar un rendimiento óptimo, es crucial ajustar la cantidad de aire de manera cuidadosa, considerando la aplicación específica y las condiciones del trabajo, con el objetivo de lograr una mezcla bien compactada y una adherencia sólida a la superficie proyectada.

La visión automatizada requiere hasta 15 m³/min de aire, aparte de la adición de promotores de endurecimiento en la boquilla. Existe aún la creencia errónea de que no se puede obtener hormigón tenaz al congelamiento y que los agentes que aceleran el endurecimiento pueden perjudicar la adhesión del shotcrete. Sin embargo, los hallazgos de diversos análisis, respaldados por el conocimiento aplicado, evidencian que los acelerantes contribuyen a mejorar la resistencia a la congelación al generar concreto sólido. Además, estos acelerantes optimizan la sujeción al evitar que el material se escurra, permitiendo que se adhiera de inmediato a la cubierta.

e) Ventajas

Se presenta una síntesis de los beneficios del proceso de vía húmeda y vía seca: Se experimenta un rechazo considerablemente inferior. Cuando se emplean equipos adecuados y se cuenta con personal capacitado, las pérdidas típicas varían en un rango de 5 y 10%, incluso al proyectar concreto reforzado con fibras.

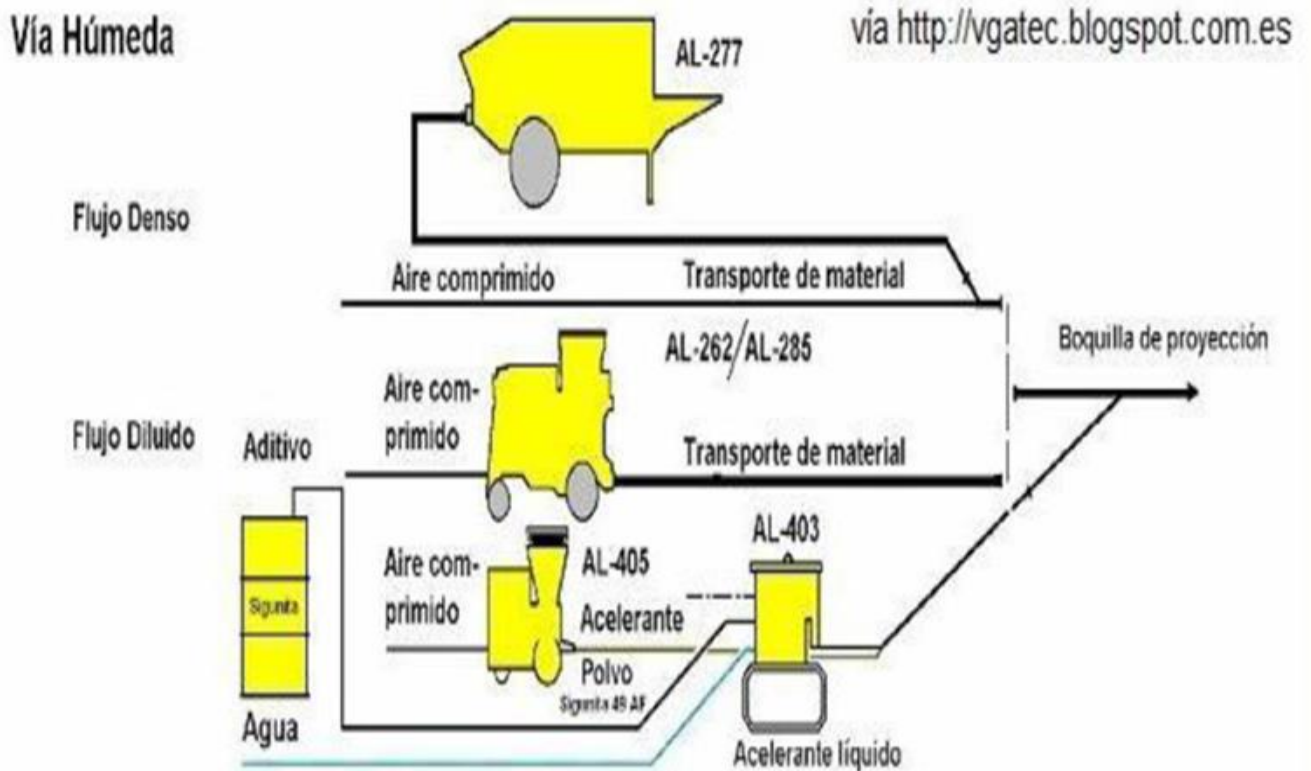
- Entorno laboral mejorado gracias a la disminución de partículas en suspensión.
- Capas más voluminosas debido a la utilización eficaz de los componentes de la mezcla.
- Proporción supervisada de agua (constante, con relación agua/cemento definida).
- Mayor capacidad de adhesión
- Mayor resistencia a la compresión con escasa variabilidad en los resultados.
- Mayor generación, lo que implica mayor eficiencia económica.
- Empleo de fibras de plástico y aditivos innovadores.

f) Desventajas

- Limitación en la distancia de traslado (máximo 300 m).

- Requisitos más exigentes en la calidad del agregado.
- Se aceptan pausas de manera restringida.

Figura 8: Sistema para el bombeo del método de shotcrete vía húmeda.



Fuente: Tomada del Manual de shotcrete Robocon.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BASICOS

Shotcrete

Involucra la aplicación de hormigón o mortero mediante la presentación de aire a una rapidez mediante una boquilla. Los elementos constituyentes incluyen áridos, cemento y agua, pudiendo ser complementados con partículas finas, sustancias químicas e hilos fortificantes.

Fibra

Fibras metálicas de acero se refiere a un hilamiento largo y delgado dispuesto en agrupamiento, tejido o cordón, ya sea de origen innata o fabricado, es posible distribuir a lo largo del concreto recién mezclado.

Cemento

Es un aglomerante compuesto por la combinación de caliza y barro que ha sido calcinada y luego molida. Posee el atributo de adquirir firmeza al entrar en conexión con el agua. La sustancia consecuente de moler estas rocas se denomina Clinker y se transforma en cemento al incorporarle una mínima porción de yeso. Esta evita que la combinación se contraiga durante el fraguado y el subsiguiente endurecimiento al añadir agua.

Agregado

Es una sustancia pulverizada, como granilla, piedrecilla, roca molida, residuo de fundición que se utiliza junto con un agente material aglutinante para producir hormigón o mortero de fraguado en presencia de agua.

Agua

Es un líquido que no tiene color, insípido y que no tiene olor, situado en el medio ambiente en su manera más pura, constituyendo ríos, lagos y mares, y abarcando aproximadamente la mayor parte del mundo. Está compuesto por hidrógeno y oxígeno (H₂O). Se tiene que satisfacer las exigencias establecidas para "líquido para la combinación del hormigón" según la Norma NTP actual, o seguir la sugerencia de la ACI, que sostiene que se la evalúa como adecuada para la preparación de hormigón cualquier agua que no tenga un color perceptible ni mala fragancia, dando preferencia generalmente al uso de agua potable.

Acelerante

Sustancia líquida que actúa como acelerante en el periodo de endurecimiento y las fortalezas del hormigón. Este producto da cumplimiento con los estándares de la norma ASTM 494, clasificado como tipo C.

Plastificante

Son componentes adicionales diseñados para conferir suavidad a los elementos a los que se incorporan. A pesar que los componentes utilizados para plásticos y hormigones son similares, los impactos difieren levemente. En el caso de los plastificadores para plástico, buscan aumentar la flexibilidad del producto final.

Solera

La parte inferior del recubrimiento del túnel, sobre la cual descansa el balasto, la vía o la explanación que sustentará el camino.

Concreto

Se trata de la combinación de cemento, materiales inactivos como arena y grava, y agua, que experimenta un proceso de endurecimiento a medida que transcurren las horas, dando lugar a la formación de un material pétreo artificial.

Mezcla

Consiste en un elemento compuesto por dos o más elementos que están mezclados, pero no se combinan desde el punto de vista químico. En este tipo de combinación, no se produce una reacción química, y cada componente retiene su composición y características químicas individuales.

Rebote

También conocido como rechazo, se refiere a la porción del shotcrete que no se fija a la superficie al aplicarse, provocando la separación del material.

Mano de obra

Un dispositivo automatizado realiza la tarea equivalente a diversos dispositivos y requiere menor personal, ya que funciona con menos esfuerzo físico. Esto resulta en una evidente reducción de gastos en personal.

Resistencia a la comprensión

Se establece que $F'c$ es la fuerza a la compresibilidad establecida en el diseño por el analista, medida en MPa a través de probetas de tamaño estandarizado. Si no se indica su edad, se asume que es a los 28 días. Por otro lado, $F'cr$ representa la oposición media a la presión del hormigón necesario para la dosificación de las mezclas, expresada en MPa.

Hastial

Cara lateral de una excavación minera, muro o pared.

Labor minera

Cualquier abertura o entrada excavada con el propósito de extraer recursos de un yacimiento.

Sostenimiento con shotcrete

El uso de shotcrete mecanizado como técnica de sostenimiento en minas subterráneas reduce los tiempos de trabajo al ser aplicado de manera más rápida que las mallas de acero. Esta técnica puede utilizarse en rampas de acceso, cavernas y otras estructuras dentro de la mina.

CAPÍTULO III

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION: MEJORA DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VIA HUMEDA, UTILIZANDO FIBRA SINTETICA.

3.1. Parámetros geo-mecánicos y ubicación de la RP 8600.

3.1.1. Parámetros geo-mecánicos

Estos parámetros son obtenidos por el departamento GEOMECANICO SIMSA, antes de aplicar el lanzado de shotcrete y son:

- a) Índice de designación de la calidad de roca (R.Q.D)

Para realizar el cálculo de R.Q.D cuando no se tiene testigos de perforación se puede realizar utilizando la formula empírica como:

$$RQD = 100 * e^{-0,1d}(0,1d+1)$$

Donde:

d = Numero de discontinuidades por metro lineal.

e = Número de Euler

Tabla 01: Clasificación RQD.

RQD (%)	Clasificación
0-25	Muy deficiente
25-50	Deficiente
50-75	Discreta
75-90	Buena
90-100	Excelente

Fuente: Bieniawski en 1984.

Se tiene los siguientes datos:

Numero de discontinuidades = 5

Longitud de la línea = 1 m

Entonces $d = 5 \text{ disc/m}$.

$$\text{RQD} = 100 * e^{-0,1(5)} (0,1(5) + 1) = 90,98 \text{ se le da un valor de } 90\%$$






b) Clasificación geo-mecánica G.S.I.

Es una clasificación cualitativa dependiente de dos parámetros.

. condiciones estructurales (cantidades de fracturas/m o RQD, considerando el empaque de las mismas).

. condiciones superficiales (resistencia de la roca intacta y condición de discontinuidades)

Tabla 02: G.S.I para labores permanentes

 COMPANIA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A. SOSTENIMIENTO DE LABORES DE INVERSION PREPARACION (PERMANENTES) SEGUN GSI MODIFICADO (Secciones 4.99 x 4.60 m. y 4.99 x 4.60 m.)					
A SIN SOPORTE O PERNO OCASIONAL (Split Set Galvanizado de 7' Longitud.) B PERNO SISTEMATICO 1.5 X 1.5 m. (Split Set Galvanizado de 7' Longitud.) C MALLA ELECTROSOLDADA Y PERNOS SISTEMATICOS 1.0 X 1.0 m. (Split Set Galvanizado de 7' Longitud., malla galvanizada) D SHOTCRETE REFORZADO (5 cm. ϕ 2") E SHOTCRETE REFORZADO (7.5 cm. ϕ 3") F CIMBRAG O CERCHAS METALICAS (1.0 - 1.5 m.).		CONDICION SUPERFICIAL			
ESTRUCTURA					
 FRACTURADA MUY BIEN TRABADA NO DISTURBADA. BLOQUES CUBICOS, FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES, ORTOGONALES (RQD.50 - 75). (6 A 12 FRACT. POR METRO).	A F/MB	A F/B	B F/R	C F/P	
 MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD.25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO).	A MF/MB	B MF/B	C MF/R	D MF/P	
 INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON HUECOS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS, O IRREGULARES. (RQD. 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO).		C IF/B	D IF/R	E IF/P	
 TRETURADA O BRECHADA LEJERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISORDENABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD).			E T/R	F T/P	
					MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY LIGERAS E (SMALTERIAS, CERRAJAS, (Rc > 250Mpa) (NO SE ROMPE O SÓLO SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA).
					BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RIGIDAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LEGER. ABERTA. (100 a 250 Mpa) (SE ROMPE CON 3 O MÁS GOLPES DE PICOTA).
					REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES USAS ALTERADA, MODERADAMENTE ALTERADA, LEGERMENTE ABERTAS. (Rc. 50 A 100 Mpa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).
					POBRE (MOD. RESISTENTE, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PUEDA O CON ESTRAGONES, MUY ALTERADA, BUELENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 Mpa) (SE INCIENTA SUPERFICIONALMENTE CON GOLPE DE PICOTA).

Fuente: departamento geomecanico SIMSA

El macizo rocoso presenta 5 fracturas/m discontinuidades cerradas y que se rompe con varios golpes de picota, tendrá clasificación G.S.I. levemente fracturada/buena (LF/B) y su valoración RMR equivalente a 46.

c) Valoración de la masa rocosa (RMR Bieniawski).

Su valoración se obtiene de la siguiente manera:

Tabla 03: Resistencia a la compresión (tabla recortada)

Resistencia a la compresión	σ_c
Se requieren varios golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra	100 – 175 Mpa
Se requiere 3 golpes firmes con el martillo de geólogo para romper la muestra	75 – 100 Mpa
Con 2 golpes con el martillo de geólogo solo se puede producir fractura-miento en la muestra	50 – 75 Mpa

Fuente: Beniaowski 1984

Tabla 04: Parámetros para una determinada masa rocosa estéril y veta.

Estructura de roca		
Parámetro	Rango	Valor
Resistencia compresiva	75 Mpa	7
RQD	40%	6
Espaciamiento de las discontinuidades	0.06-0.2 m	10
Condición de las discontinuidades		
Persistencia	1-3 m	4
Apertura	0.1-1.0 mm	4
Rugosidad	ligeramente	3
Relleno	blando <5mm	1
Alteración	muy alterada	1
Presencia de agua	seco	15

Clasificación	51
---------------	----

Fuente: área geo-mecánica SIMSA.

Tabla 05: Valor total RMR.

Estructura de roca	
Factor de orientación de labor	51 -5
Valor total RMR	46

Fuente: Área geo-mecánica SIMSA

d) Clasificación de la roca según valuación

Según se muestra en el resultado de valor total RMR en la roca esteril es 46 con una descripción de REGULAR, se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 06: Clasificación de rocas según valuación

Clase	V	IV	III	II	I
RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguno
Tratamientos	Re excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

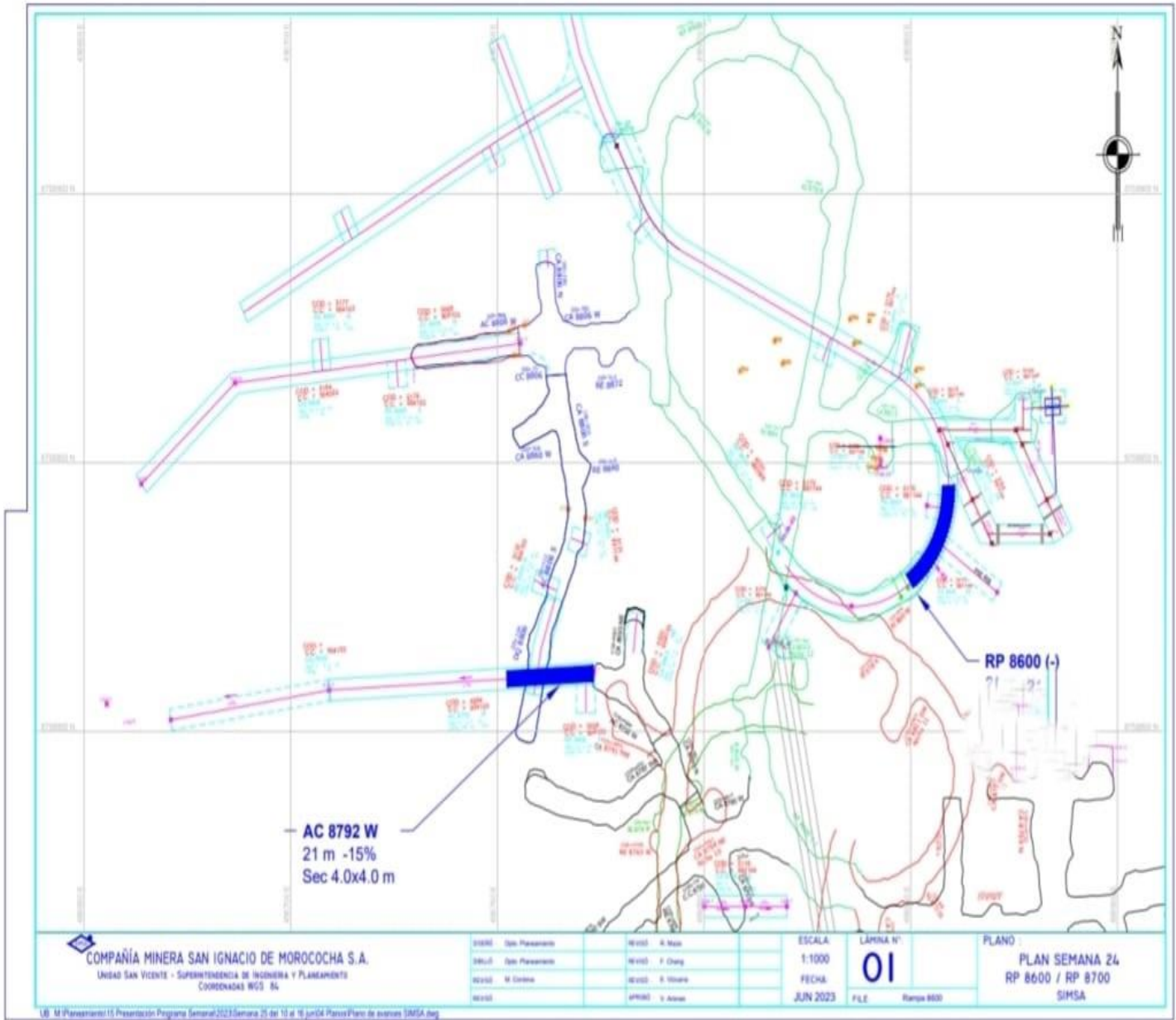
Fuente: Área geo-mecánica SISMA

- según los resultados obtenidos la rampa 8600 tiene una roca de clase III, RMR igual a 46, roca regular, parcialmente estable, algunas juntas (muchas cuñas) y su tratamiento debe ser sistemático, por cual requiere sostenimiento con shotcrete.

3.2. Ubicación del tramo del nivel 1200 al nivel 1100.

Dicho tramo en estudio se encuentra en la rampa principal 8600 labor de profundización, tal como se muestra en el siguiente plano.

Figura 9: Ubicación del tramo en estudio en el plano.



Fuente: Plan anual de minado 2023 SIMSA

3.2.1. Dimensión de la rampa, sección, longitud, diferencia de cotas.

El tramo del nivel 1200 al nivel 1100 de la Rampa 8600 se refiere a la entrada principal de la unidad minera hacia la zona de profundización, desde la cual se llevan a cabo actividades de desarrollo, preparación y explotación, según se detalla en el cuadro.

Figura 10: Dimensiones de la rampa.

Sección de RP 8600 (-)	4.5 * 4.0
Pendiente	(-) 15 %
Longitud (nivel 1200 al nivel 1100)	1000 metros
Inicio	Nivel 1200
Final	Nivel 1100
Desnivel	100 metros
Radio de Curvatura	30 metros

Fuente: Elaboración propia

3.3. Ensayos físicos del agregado.

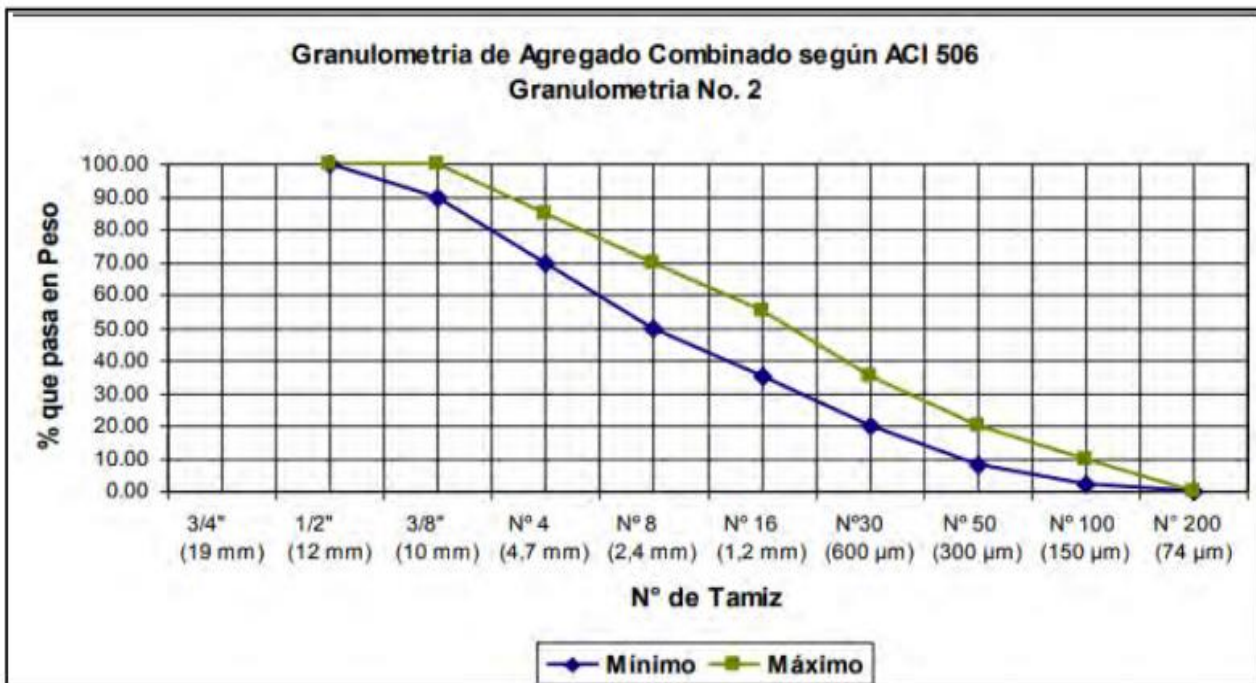
3.3.1. Granulometría.

En el desarrollo del estudio, se ha empleado el análisis granulométrico ACI 506R – ASTM –C33 G2, cumpliendo según norma indicada. Puesto que la gradación G2 la mezcla de árido grueso y árido fino en un porcentaje de retención de material requerida.

Tabla 07: Gradacion N° 2.

GRADACION N° 2			
TAMIZ		Limite Inferior	Limite Superior
Pulg.	mm		
1/2"	12.7	100%	100%
3/8"	9.525	90%	100%
N° 4	4.763	70%	85%
N° 8	2.381	50%	70%
N° 16	1.191	35%	55%
N° 30	0.595	20%	35%
N° 50	0.298	8%	20%
N° 100	0.149	2%	10%

En el análisis granulométrico de este material (arena), se notará en las siguientes curvas que se sitúa entre las restricciones superior e inferior, no obstante, muestra una tendencia hacia el lado inferior. Esta situación afecta negativamente al proceso de preparación.



Fuente: ACI 506R, 2016.

Tabla 08: Ensayo de granulometría de la M-01.

GRANULOMETRIA				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO (c)=(b)/(a)*100	% RETENIDO ACUMUL. (d)=SUMA (c)	% PASANTE ACUMUL. 100 - (d)
3"	-	0.0	0.0	
2 1/2"	-	0.0	0.0	
2"	-	0.0	0.0	
1 1/2"	-	0.0	0.0	
1"	-	0.0	0.0	
3/4"	-	0.0	0.0	100.0
1/2"	-	0.0	0.0	100.0
3/8"	20.3	2.2	2.2	97.8
# 4	167.8	18.3	20.5	79.5
# 8	186.4	20.4	40.9	59.1
# 16	160.1	17.5	58.4	41.6
#30	130.6	14.3	72.6	27.4
#50	119.9	13.1	85.7	14.3
#100	69.8	7.6	93.3	6.7
FONDO	61.0	6.7	100.0	0.0
TOTAL (a)	915.90	100.0	MODULO DE FINEZA 3.74	

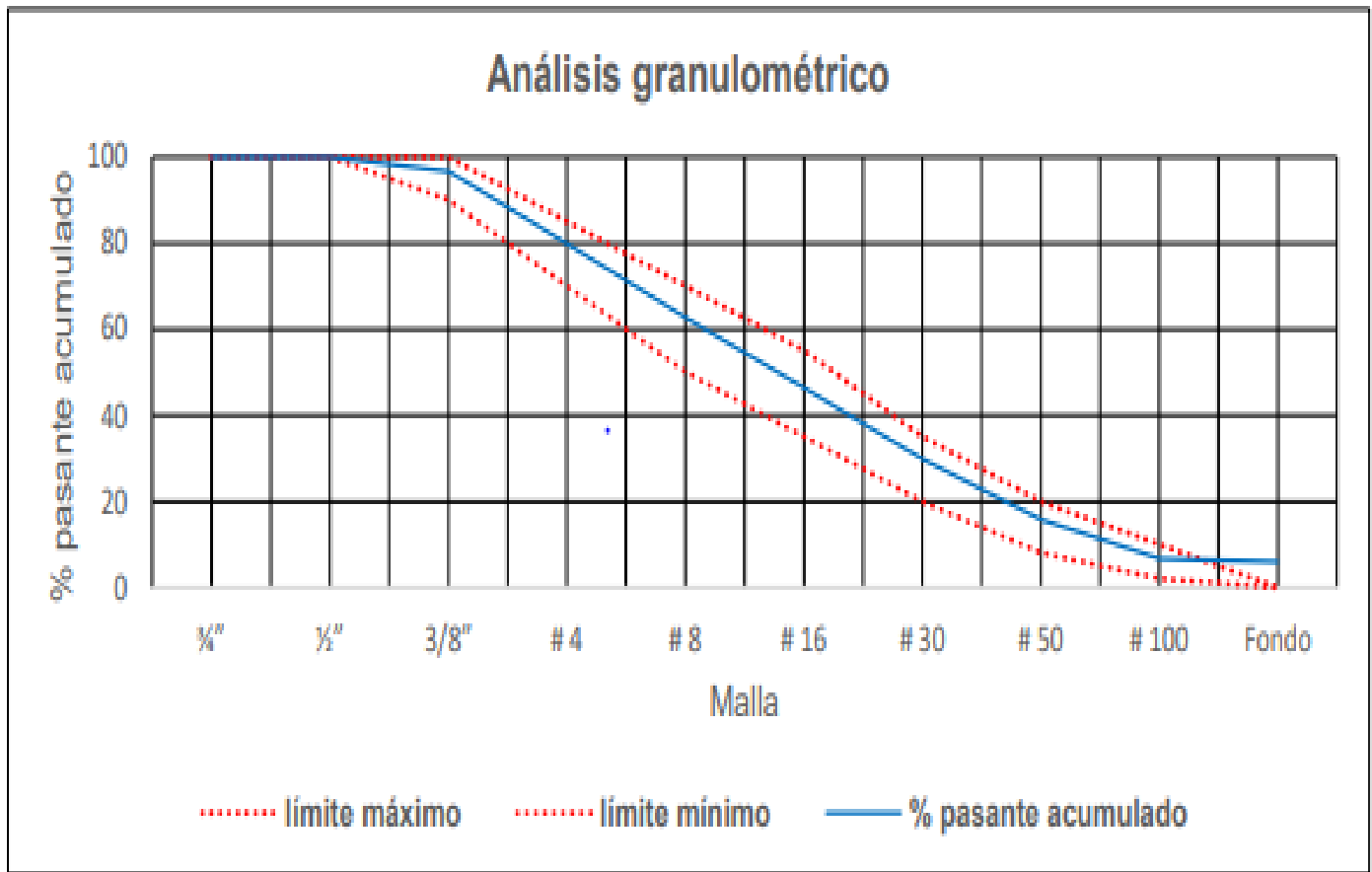
Fuente: Elaboración propia

Tabla 09: resultados de gradación

GRADACION N° 2					
TAMIZ		Limite Inferior	Pasante Acomulado (%)	Limite Superior	Verificacion
Pulg.	mm				
1/2"	12.7	100%	100.00%	100%	NO CUMPLE
3/8"	9.525	90%	97.78%	100%	CUMPLE
N° 4	4.763	70%	79.46%	85%	CUMPLE
N° 8	2.381	50%	59.11%	70%	CUMPLE
N° 16	1.191	35%	41.63%	55%	CUMPLE
N° 30	0.595	20%	27.37%	35%	CUMPLE
N° 50	0.298	8%	14%	20%	CUMPLE
N° 100	0.149	2%	6.66%	10%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Curva Granulométrica.



Fuente: Elaboración propia.

➤ Del gráfico podemos observar la interpretación de la curva granulométrica está dentro de las especificaciones mínimas y máximas de la gradación N°2, cumple los requisitos para el diseño de shotcrete vía húmeda en la Rampa 8600.

Tabla 10: Ensayo granulométrico M-02

GRANULOMETRIA				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO $(c)=(b)/(a)*100$	% RETENIDO ACUMUL. $(d)=SUMA (c)$	% PASANTE ACUMUL. $100 - (d)$
3"	-	0.0	0.0	
2 1/2"	-	0.0	0.0	
2"	-	0.0	0.0	
1 1/2"	-	0.0	0.0	
1"	-	0.0	0.0	
3/4"	-	0.0	0.0	100.0
1/2"	-	0.0	0.0	100.0
3/8"	28.0	3.0	3.0	97.0
# 4	153.4	16.2	19.2	80.8
# 8	166.7	17.6	36.8	63.2
# 16	188.3	19.9	56.8	43.2
#30	176.2	18.6	75.4	24.6
#50	93.7	9.9	85.3	14.7
#100	73.8	7.8	93.1	6.9
FONDO	64.8	6.9	100.0	0.0
TOTAL (a)	944.82	100.0	MODULO DE FINEZA 3.70	

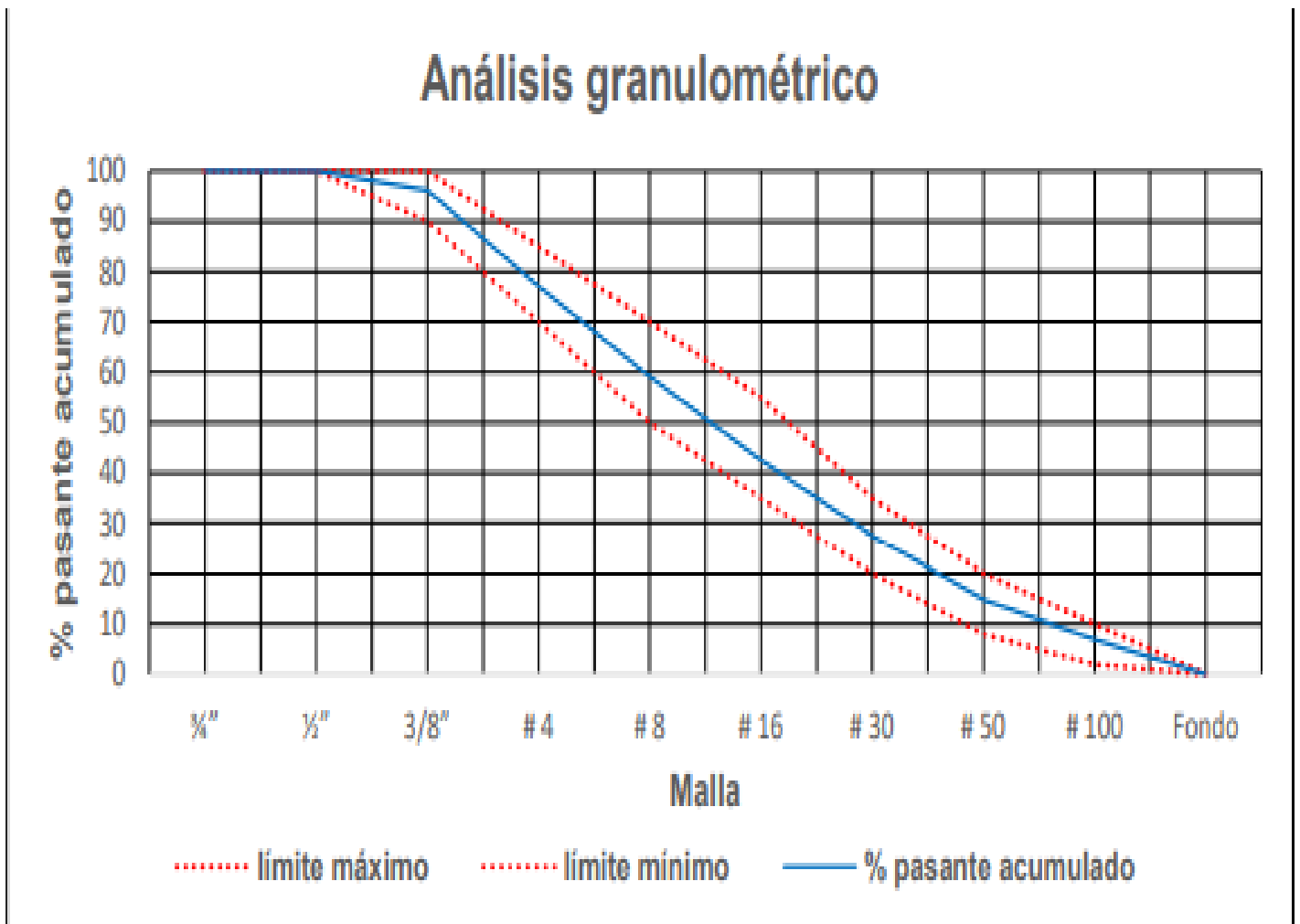
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Resultados de gradación

GRADACION N° 2					
TAMIZ		Limite Inferior	Pasante Acomulado (%)	Limite Superior	Verificacion
Pulg.	mm				
1/2"	12.7	100%	100.00%	100%	NO CUMPLE
3/8"	9.525	90%	97.04%	100%	CUMPLE
N° 4	4.763	70%	80.80%	85%	CUMPLE
N° 8	2.381	50%	63.16%	70%	CUMPLE
N° 16	1.191	35%	43.23%	55%	CUMPLE
N° 30	0.595	20%	24.58%	35%	CUMPLE
N° 50	0.298	8%	15%	20%	CUMPLE
N° 100	0.149	2%	6.85%	10%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Curva granulométrica.



Fuente: Elaboración propia

➤ Del gráfico podemos observar la interpretación de la curva granulométrica está dentro de las especificaciones mínimas y máximas de la gradación N°2, cumple los requisitos para el diseño de shotcrete vía húmeda en la Rp 8600.

Tabla 12: Ensayo granulométrico M-03

GRANULOMETRIA				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO $(c)=(b)/(a)*100$	% RETENIDO ACUMUL. $(d)=SUMA (c)$	% PASANTE ACUMUL. $100 - (d)$
3"	-	0.0	0.0	
2 1/2"	-	0.0	0.0	
2"	-	0.0	0.0	
1 1/2"	-	0.0	0.0	
1"	-	0.0	0.0	
3/4"	-	0.0	0.0	100.0
1/2"	-	0.0	0.0	100.0
3/8"	24	2.5	2.5	97.5
# 4	150	15.4	17.9	82.1
# 8	183	18.8	36.8	63.2
# 16	200	20.6	57.4	42.6
#30	185	19.1	76.4	23.6
#50	110	11.3	87.7	12.3
#100	56.0	5.8	93.5	6.5
FONDO	63.0	6.5	100.0	0.0
TOTAL (a)	971.00	100.0	MODULO DE FINEZA 3.72	

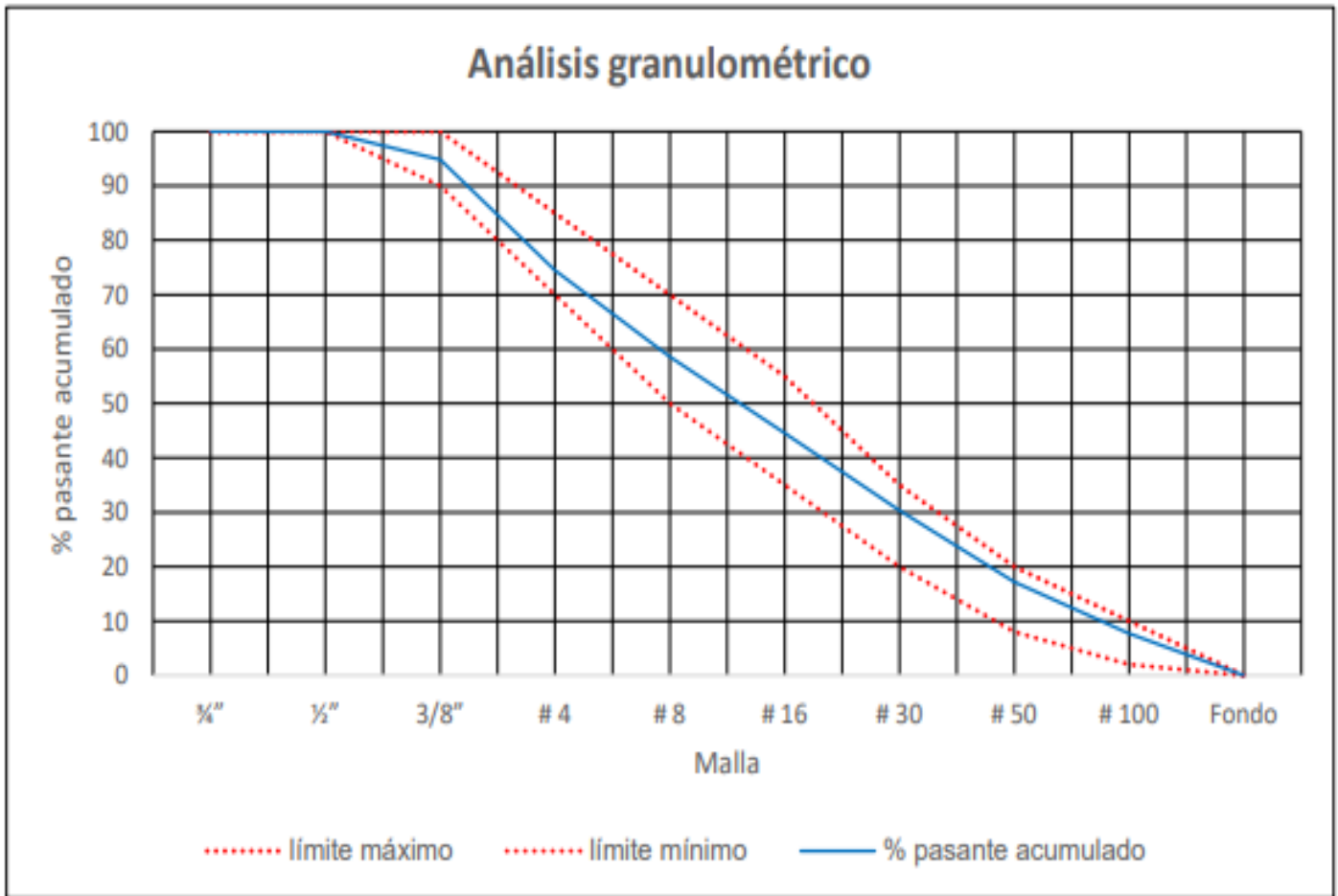
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Resultados de Gradación N° 2.

GRADACION N° 2					
TAMIZ		Limite Inferior	Pasante Acomulado (%)	Limite Superior	Verificacion
Pulg.	mm				
1/2"	12.7	100%	100.00%	100%	NO CUMPLE
3/8"	9.525	90%	97.53%	100%	CUMPLE
N° 4	4.763	70%	82.08%	85%	CUMPLE
N° 8	2.381	50%	63.23%	70%	CUMPLE
N° 16	1.191	35%	42.64%	55%	CUMPLE
N° 30	0.595	20%	23.58%	35%	CUMPLE
N° 50	0.298	8%	12%	20%	CUMPLE
N° 100	0.149	2%	6.49%	10%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Curva granulométrica.



Fuente: Elaboración propia

➤ Del gráfico se detecta que la interpretación de la curva granulométrica muestra que se encuentra dentro de los límites establecidos por requisitos mínimos y máximos de la distribución granulométrica. N°2. De esta manera, da cumplimiento con los criterios necesarios con el fin de la elaboración de shotcrete en proceso húmedo.

3.3.2. Módulo de fineza.

De acuerdo con la normativa ACI-506, esta prueba se lleva a cabo con el fin de analizar la distribución de tamaños de los agregados.

En el caso del agregado fino, se calcula el módulo de fineza, el cual debe ubicarse en un intervalo de (2.3 a 3.1). Este valor sin dimensiones nos indica si el agregado fino o grueso cumple con los criterios establecidos.

Según los valores obtenidos de coeficiente de fineza. (MF) en los cuadros de ensayos en el caso de concreto proyectado (shotcrete), se tiene en cuenta un índice de fineza de 3.6 % hasta 4.0 % y se obtuvo con la fórmula siguiente:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acum. (6" + 3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100)}}{100}$$

$$MF (M-01) = \frac{(2.2+20.5+40.9+58.4+72.6+85.7+93.3)}{100} = 3.736 = 3.74$$

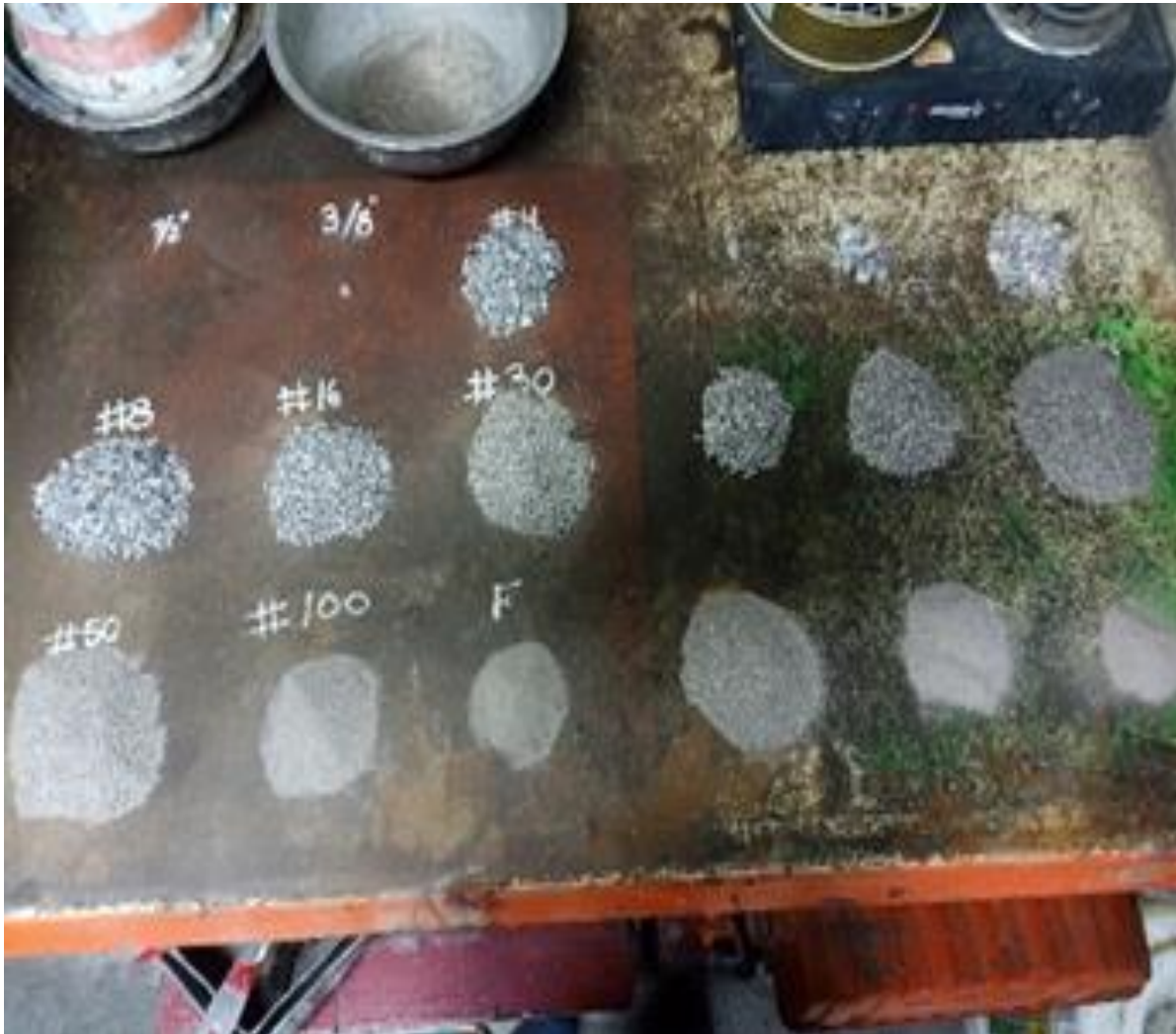
$$MF (M-02) = \frac{(3+19.2+36.8+56.8+75.4+85.3+93.1)}{100} = 3.696 = 3.70$$

$$MF (M-03) = \frac{(2.5+17.9+36.8+57.4+76.4+87.7+93.5)}{100} = 3.72$$

$$MF \text{ promedio} = \frac{3.74+3.70+3.72}{3} = 3.72$$

El módulo de fineza obtenido de las 3 muestras está dentro de los límites mínimos y máximos, dando un buen control de agregado.

Figura 14: Ensayo de granulometría y módulo de fineza.



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Ensayo malla #200.

Según la normativa ASTM C-117 NTP 339.185, este procedimiento evalúa, mediante un enfoque húmedo, la cantidad de sustancia que atraviesa el tamiz estandarizado N° 200. Incluye componentes arcillosos y demás material granular que se dispersan en el agua, así como sustancias hidrosolubles. Los resultados del artefacto sometido al ensayo cumplen con los parámetros establecidos, estando por debajo del límite máximo 5%.

Tabla 14: Ensayo de malla N^a 200

Descripción	Formula	M-01	M-02	M-03
Masa seca original de la muestra (g).	A	915.9	944.8	971.0
Masa seca de muestra luego de lavado(g).	B	883.9	914.0	957.0
Material que pasa por malla N^a 200 (%)	$C = \frac{(A - B)}{A} \times 100$	3.49	3.27	1.44
Promedio (%)	2.73			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se observa la combinación de las tres muestras se sitúa en el rango superior de la malla N^o 200, sin elementos perjudiciales presentes, con el objetivo de asegurar una alta calidad del agregado en nuestro diseño de shotcrete. Estas evaluaciones se llevaron a cabo mediante pruebas de laboratorio.

Figura 15: Tamis malla 200



Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Ensayo de humedad.

Conforme a la normativa ASTM C-566 NTP 339.185, este análisis identifica el índice de humedad que puede evaporarse de una muestra de arena utilizando el método de secado.

Tabla 15: Ensayo de humedad.

Descripción	formula	M-01	M-02	M-03
Masa de tara (g).	T	0.0	0.0	313.0
Masa de la muestra original húmeda (g).	D	995.9	980.0	1335.0
Masa de la muestra original seca (g).	E	920.4	910.0	1284
Contenido de humedad (%)	$F = \frac{(D-E)}{(E-T)} \times 100$	8.17	7.69	5.25
Promedio (%)	7.04			

Fuente: Elaboración propia

Según se detalla en el cuadro, se lleva a cabo la prueba de humedad del agregado en el laboratorio interno de la mina (planta shotcrete de Nv 1515). El resultado proporciona un promedio de contenido de humedad del 7,04 %. Con esta información, se procederá a realizar ajustes en el diseño de la mezcla para preparar el concreto de manera eficiente. La humedad oscila entre el 6 % y el 7 % en promedio, por lo que se aconseja al operador de la planta preparar la mezcla utilizando el 80 % del agua y con el 20 % realizar un reemplazo de concreto (adicionar agua para recuperar la consistencia de la mezcla antes de que inicie su fraguado).

Figura 16: ensayo de la humedad.



Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Gravedad específica y absorción del agregado.

El procedimiento, de acuerdo con la norma ASTM C 128, establece la carga de captación y la masa por unidad de volumen de la muestra. sin tener en cuenta los espacios vacíos, tanto en condiciones secas como en estado superficialmente saturado. Involucra la medición de la masa volumétrica promedio de un volumen de material delicado, la asimilación de material fino y la densidad relativa. La expresión de la densidad en (kg/m^3) varía según el método utilizado, ya sea secado en el horno (MS), secado de manera superficial (SSS) o volumen evidente.

La utilización principal de la gravedad específica radica en calcular el espacio llenado por el añadido en diversas combinaciones, como el concreto con cemento Portland, el concreto

bituminoso y otras composiciones cuyas proporciones se evalúan en función de su volumen absoluto.

Tabla 16: Gravedad específica y absorción del agregado.

	Fórmula	M-01	M-02	M-03	Promedio
Peso de la fiola (gr)	G	149	149	149	
Peso de la fiola + Peso muestra SSS + agua (gr)	H	1299	1296.5	1296.8	
Peso de la fiola + agua (gr)	I	650	647.5	647.8	
Peso muestra SSS (gr)	J	500	500	500	
Peso muestra seca (gr)	K	493.2	493.7	493.6	
Gravedad Específica (Masa Seca)	$L = \frac{K}{(I+J-H)}$	3.31	3.31	3.31	3.31
Gravedad Específica SSS	$M = \frac{J}{(I+J-H)}$	3.36	3.36	3.36	3.36
Gravedad Específica Aparente	$N = \frac{K}{(I+K-H)}$	3.17	3.18	3.18	3.18
% Absorción	$F = \frac{(J-K)}{K} \times 100$	1.38	1.28	1.30	1.32
T ^o H ₂ O		22.0	22.0	22.0	

Fuente: Elaboración propia

Se efectúan los ensayos pertinentes y se determina que el agregado presenta una gravedad específica de 3,36 gr/cm³ y una absorción del 1,32 %. Estos resultados se utilizarán para ajustar nuestro diseño de shotcrete vía húmeda.

Figura 17: ensayo de absorción de agregado.



Fuente: Elaboración propia

3.4. Diseño del shotcrete con fibras sintéticas.

El patrón de la mezcla para el shotcrete o concreto proyectado se basará en una fortaleza planificada de 400 kg/cm², considerando un incremento en la zona húmeda de los artefactos utilizados del 6 % al 8 %.

Tabla 17: Diseño del shotcrete utilizando 6 kg/m³.

Materiales	Peso seco Kg	Peso húmedo Kg
Cemento (ANDINO)	440	440
Aragado (AMARQ)	1703.6	1801.0
Agua (MINA)	176	78.6
Plastificante (ROADCON® ARE-9050(50%))	2.2	2.2
Acelerante (GUNITOC L33 PLUS)	26.4	26.4
Fibra sintética (MHP FIBER PLUS 48)	6	6

Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Preparación e instalación de equipo robot en el frente de lanzado de shotcrete.



Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Resistencia a la compresión requerida.

Para determinar la solidez a la presión necesaria, seleccionamos la solidez proyectada de 400 kg/cm², dado que esta cifra se encuentra en los intervalos comúnmente empleados al aplicar Shotcrete en trabajos subterráneos en la nación.

3.4.2. Relación agua/cemento.

Esta equivale a la proporción de agua respecto al volumen de cemento por cada metro cúbico. La resistencia del concreto estará influenciada por la proporción de agua/cemento agregada en la mezcla; a menor proporción de agua/cemento, se lograrán resistencias más altas, pero se comprometerá la manejabilidad. Por esta razón, el valor de esta relación es relevante. La norma ACI 506R sugiere valores entre 0,4 y 0,5. En este estudio, se ha optado por una relación agua/cemento de 0,40.

3.4.3. Cantidad de cemento.

Debe satisfacer los criterios establecidos por las normativas nacionales (NTP 334.009 - ASTM C-150), además de cumplir con los normativas regionales y legislación nacional para su aplicación en el concreto proyectado. El tiempo de endurecimiento y la resistencia que desarrolla el cemento se sustentan en rasgos específicos del cemento del Tipo I. Existe un vínculo entre el peso y resistencia del concreto de 440 kg, que está relacionada con nuestra resistencia de diseño de 400 Kg/cm².

3.4.4. Cantidad de agua.

Para calcular la cantidad de agua requerida, es necesario utilizar una relación agua/cemento de 0,40, basada en la cantidad de cemento que asciende a 440 Gr/cm³ (cantidad de gramos en cm³).

Formula relación agua-cemento (A/C)

$$\text{Relación (a/c)} = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} = 0.40 \quad \Rightarrow \quad 0.4 = \frac{\text{agua}}{440} \quad \text{agua} = 176 \text{ litros.}$$

3.4.5. Cálculo de volúmenes absolutos.

Tabla 18: Cálculo de los volúmenes absolutos de los materiales.

Materiales	Densidad Kg/m³	Peso seco Kg	Volumen m³
Cemento	3150	440	0.1397
Agua	1000	176	0.1760
Aire			0.0900
Total			0.4057

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del agregado

$$\text{Volumen} = 1 \text{ m}^3 - 0.4057 \text{ m}^3 = 0,5943 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco A} = 0,5943 \text{ m}^3 \times (\text{gravedad especifica sss (Kg/m}^3)) = 0.5943 \text{ m}^3 \times 3360$$

$$\text{Kg/m}^3 = 1996.848 \text{ Kg.}$$

Tabla 19: Pesos del diseño de shotcrete en seco.

Materiales	Peso seco (Kg)
Cemento	440
Agregado	1996.848
Agua	176

Fuente: Elaboración propia

- **Corrección por humedad del agregado.**

$$\text{Peso de agregado} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right) = 1996.848 \text{ kg} \times \left(\frac{7.04}{100} + 1 \right) = 2137.426 \text{ kg}$$

- **Corrección por agua efectiva.**

$$\frac{(\%w - \%ABS) \times \text{peso de agregado seco}}{100} = \frac{(7.04 - 1.32) \times 2137.426}{100} = 122.261 \text{ litros.}$$

$$\text{Agua efectiva} = 176 - 122.261 = 53.739 \text{ litros.}$$

3.4.6. Aditivo plastificante ROADCON® ARE-9050(50%).

Conforme a la norma ASTM C-494, la selección del aditivo está vinculada a la masa del cemento y desempeña funciones como mejorar la trabajabilidad del concreto, actuar como reductor de agua y proporcionar una elevada resistividad temprana. Utilizamos el aditivo plastificante ROADCON® ARE-9050(50%), cuyas características se detallan en el cuadro siguiente.

Tabla 20: Características del aditivo plastificante ROADCON® ARE-9050(50%).

Estado fisico	Liquido
Color	Blanco transparente
Densidad	1080 Kg/m ³
Dosis de aplicación	0.499%
Especificación	ROADCON® ARE-9050(50%)

Fuente: Elaboración propia

Se empleó la prueba de desempeño de una dosis de 0,499 % del peso de cemento. Por lo cual se obtendrá el resultado.

Aditivo plastificante (ROADCON® ARE-9050(50%)) = 0.499 x 440 kg/m³ = 2.20 kg/m³

3.4.7. Aditivo acelerante.

El objetivo es lograr un endurecimiento temprano rápido, una excelente unión al suelo y altas firmezas iniciales. En el estudio, empleamos el aditivo acelerante (GUNITOC L33 PLUS) en una proporción del 6% con respecto a la masa del cemento.

Tabla 21: Características del aditivo acelerante GUNITOC L33 PLUS.

Estado fisico	Liquido
Color	Amarillento
Densidad	1480 kg/m³
Dosis de aplicación	6%
Especificación	GUNITOC L33 PLUS.

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Aditivo acelerante} = 6 \times 440 / 100 \text{ kg/m}^3 = 26.4 \text{ kg/m}^3.$$

3.4.8. Valores finales del diseño del Shotcrete.

Luego de ajustar el total de agregado considerando el nivel de humedad, se determinaron los números proyectados del patrón mediante el aseguramiento de condiciones.

Tabla 22: Diseño del Shotcrete sin fibras.

Materiales	Peso seco	Peso húmedo
Cemento	440 kg	440 kg
Agregado	1723.3 kg	1821.9 kg
Agua	176 kg	77.4 kg
Aditivo plastificante	2.2 kg	2.2 kg
Aditivo acelerante	26.4 kg	26.4 kg

Fuente: Elaboración propia

Esta formulación del shotcrete se emplea como el modelo que ha servido de base para los demás diseños.

3.4.9. Fibra sintética (FS).

En la tesis se usó fibra sintética MYPHOR FIBER PLUS 48, es eficiente y proporciona refuerzo al shotcrete; según la información técnica, se seleccionó entre diversas dosificaciones.

Tabla 23: Características de las macro fibras sintéticas MYPHOR FIBER PLUS 48.

Diámetro (D)	0.93 mm.
Largo (L)	48 mm.
Densidad	0.910
Dosis de aplicación	4 kg
Presentación	Bolsa

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19: Bolsa de fibra sintética usada en la investigación.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Diseño del Shotcrete con 4.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-4)

Materiales	Peso seco	Peso húmedo
Cemento	440 kg	440 kg
Agregado	1710.2kg	1808.0 kg
Agua	176.0 Lt.	78.2 Lt
Aditivo Plastificante	2.2 Lt	2.2 Lt
Aditivo Asclerante	26.4 Lt	26.4 Lt
Fibra sintetica	4 Kg	4 Kg
Total	2358.7	2358.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Diseño del shotcrete con 6.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-6).

Materiales	Peso seco	Peso húmedo
Cemento	440 kg	440 kg
Agregado	1703.6 kg	1801.0 kg
Agua	176 Lt	78.6 Lt
Aditivo Plastificante	2.2 Lt	2.2 Lt
Aditivo Acelerante	26.4 Lt	26.4 Lt
Fibra sintética	6 Kg	6 Kg
Total	2354.2	2354.2

Fuente: Elaboración propia.

3.4.10. Fibra metálica (FM).

Anteriormente se estuvo utilizando fibra metálica WIRAND FS3N, que posee un rendimiento elevado y brinda fortalecimiento al shotcrete; de acuerdo con su ficha técnica, se eligieron diversas dosificaciones mediante un control de calidad. Se detallan las propiedades de la fibra de metal (F.M) en el cuadro correspondiente.

Tabla 26: Diseño de la fibra metálica.

Diámetro	0.75 mm
Longitud	33 mm
Densidad	7850
Dosis de aplicación	20 kg
Presentación de fibra.	Bolsa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Diseño del shotcrete con 20.0 kg/m³ de fibra metálica (FM - 20).

Materiales	Peso seco	Peso húmedo
Cemento	440 kg	440 kg
Agregado	1715.7kg	1813.8 kg
Agua	176 Lt	77.9 Lt
Aditivo Plastificante	2.2 Lt	2.2 Lt
Aditivo Acelerante	26.4 Lt	26.4 Lt
Fibra metálica	20 kg	20 kg
Total	2380.3	2380.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Diseño del Shotcrete con 40.0 kg/m³ de fibra metálica (FM - 40).

Materiales	Peso seco	Peso húmedo
Cemento	440 kg	440 kg
Agregado	1708.1kg	1805.8 kg
Agua	176.0 Lt	78.3 Lt
Aditivo Plastificante	2.2 Lt	2.2 Lt
Aditivo Acelerante	26.4 Lt	26.4 Lt
Fibra metálica	40 kg	40 kg
Total	2392.6	2392.6

Fuente: Elaboración propia

3.5. Control de calidad.

3.5.1. Prueba de revenimiento con fibra sintética.

Tabla 29: Resultados del slump en pulgadas con fibra sintética (FS) y fibra metálica (FM).

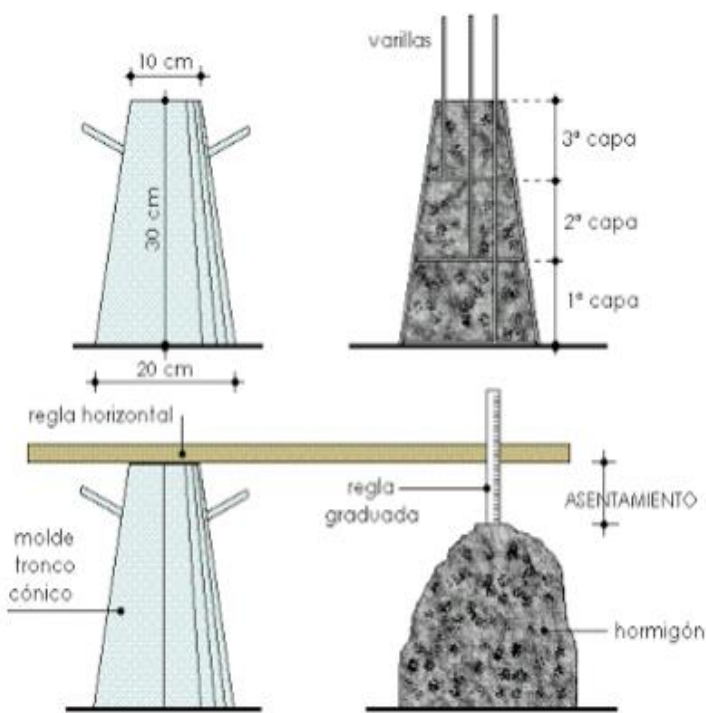
Tiempo (min)	FS-4	FS-6	FM-20	FM-40
0	10	9 ½	9	9
30	10 ½	9 ¼	8 ½	8 ½
60	10 ¼	8 ½	8 ¼	8
90	9 ½	8	7 ¾	7½
120	7¾	7 ½	7¼	6

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro evidencia que conforme se incorporan fibra sintética y de metal adicionales, la medida principal de asentamiento (slump) disminuye. Se llevaron a cabo mediciones en intervalos de 30,

60, 90 y 120 minutos. En el patrón que incluye fibra sintética y de metal FS-4 y FM-20, se observa que son óptimas, ya que presentan un declive de asentamiento adecuada, manteniéndose en un nivel de trabajabilidad que permite su bombeo por el equipo robot. Putmeizter en el Rp 8600 tramo 1200 al 1100.

Figura 20: prueba de SLUMP.



Fuente: Elaboracion propia.

3.4.2. Ensayo de peso unitario y rendimiento.

De acuerdo con la normativa ASTM C-138 NTP 339.046, se calcula el peso unitario (densidad) y el rendimiento relativo del shotcrete mediante un ensayo gravimétrico que debe estar dentro del rango de 0,98 a 1,02.

Tabla 30: Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete con el diseño FS-4

Descripción	Formula	Datos
Peso de recipiente	A	3.385 kg
Volumen de recipiente	B	0.007080 m ³
Peso de recipiente + concreto	C	20.361 kg
Peso de concreto	$D = C - A$	16.976 kg
Peso unitario del concreto	$E = D/B$	2397.740 kg/m ³
Peso de concreto en 1m ³	F	2370.407 kg
Peso de concreto en 4 m ³	$G = 4 \times F$	9481.628 kg
Rendimiento real	$H = G/E$	4.046 m ³
Rendimiento del MIXKRET	I	4 m ³
Rendimiento relativo	$J = H/I$	1.012
Densidad del concreto	K	2400 kg/m ³
Contenido de aire	$L = ((K - E)/K) \times 100$	9 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete de diferentes diseños.

	FS - 4	FS - 6	FM - 20	FM - 40
Peso unitario	2178.0	2203.7	2190.0	2200.0
Rendimiento relativo	1.012	1.015	1.009	1.013

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el cuadro, la prueba proporcionó el peso unitario y la eficacia comparativa de cada patrón. Se observa que en el caso de la fibra sintética FS-4, los resultados son más favorables, ya que se encuentran dentro de los alcances definidos.

3.5.3. Ensayo de temperatura del concreto fresco.

De acuerdo con la Norma de ensayo ASTM C-143 NTP 339.035, se determina el proceso con el fin de llevar a cabo la evaluación de la consolidación del shotcrete en su condición reciente. En otra perspectiva, la Norma de ensayo ASTM C-1064 proporciona la manera de evaluar la temperatura del hormigón en su fase moldeable. Además, la norma ASTM C-94M – NTP 339.144 sugiere que tiene que situarse en un intervalo comprendido entre 13 °C y 32 °C.

Figura 21: Control de temperatura de shotcrete.



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la imagen, se llevó a cabo el ensayo en todos los diseños, manteniéndose en los parámetros a una temperatura de 24 °C.

3.6. Resistencia de compresión del Shotcrete con fibras sintéticas.

3.6.1. Equipos y materiales.

Con el propósito de cumplir con nuestro segundo objetivo específico, fueron aplicados el dinamómetro y la pistola Hilti DX 450 para medir la solidez a la presión temprana. Las pruebas se llevaron a cabo en la rampa principal Rp 8600 del nivel 1200-1100 de la zona de extensión.

a) Ensayo de dinamómetro digital – Método A

De acuerdo con la norma EN 14488-2, este método es aplicable para la medición de fuerzas iniciales en un rango de 0,2 a 1,2 MPa en un lapso de hasta 3 horas. Radica en evaluar la fuerza (N) necesaria al empujar una aguja para penetrar el concreto a una distancia profunda de 15 mm; la fuerza se registra en el dinamómetro.

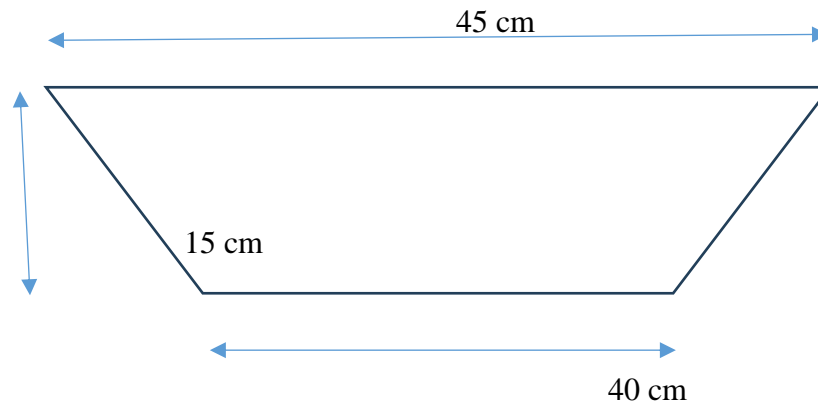
Figura 22: Aplicación del dinamómetro digital.



Fuente: Elaboración propia.

- Los paneles de trapezoidales cuentan con las siguientes dimensiones: 45 cm en la base superior, 40 cm en el fondo más bajo con una profundidad de 15 cm, junto con un dinamómetro que incluye una aguja de 3 mm de diámetro.

Figura 23: Panel trapezoidal para muestra de ensayo.



Fuente: Elaboración propia

- **Ensayo con pistola Hilti DX 450 – Método B.**

De acuerdo con la norma EN 14488-2, este procedimiento es aplicable para la medición de fuerzas iniciales en el intervalo de 1,2 MPa a 16 MPa en un periodo de 1 día. Después de realizar el ensayo con un penetrómetro de aguja, implica disparar clavos de 103 mm en el concreto, determinar qué tan profundo puede llegar, extraer el perno y medir la resistencia al desprendimiento. Qué tan profundo tiene que llegar el clavo debe ser de al menos 20 mm. Cómo se relacionan la resistencia al desprendimiento y la profundización es empleado para estimar la solidez frente a presión a través de una curva de transformación proporcionada por el constructor.

Figura 24: Hincado de clavo con equipo de ensayo



Fuente: Elaboración propia

b) Ensayos para resistencia en estado endurecido

El procedimiento evalúa la firmeza bajo presión de cilindros de concreto con dimensiones de 4x8 pulgadas. En el caso específico de las muestras de paneles trapezoidales, el método aborda la adquisición, elaboración y prueba de testigos extraídos de muestras de shotcrete aplicadas en la rampa 8600, ubicada entre los niveles 1200 y 1100, dentro de la mina.

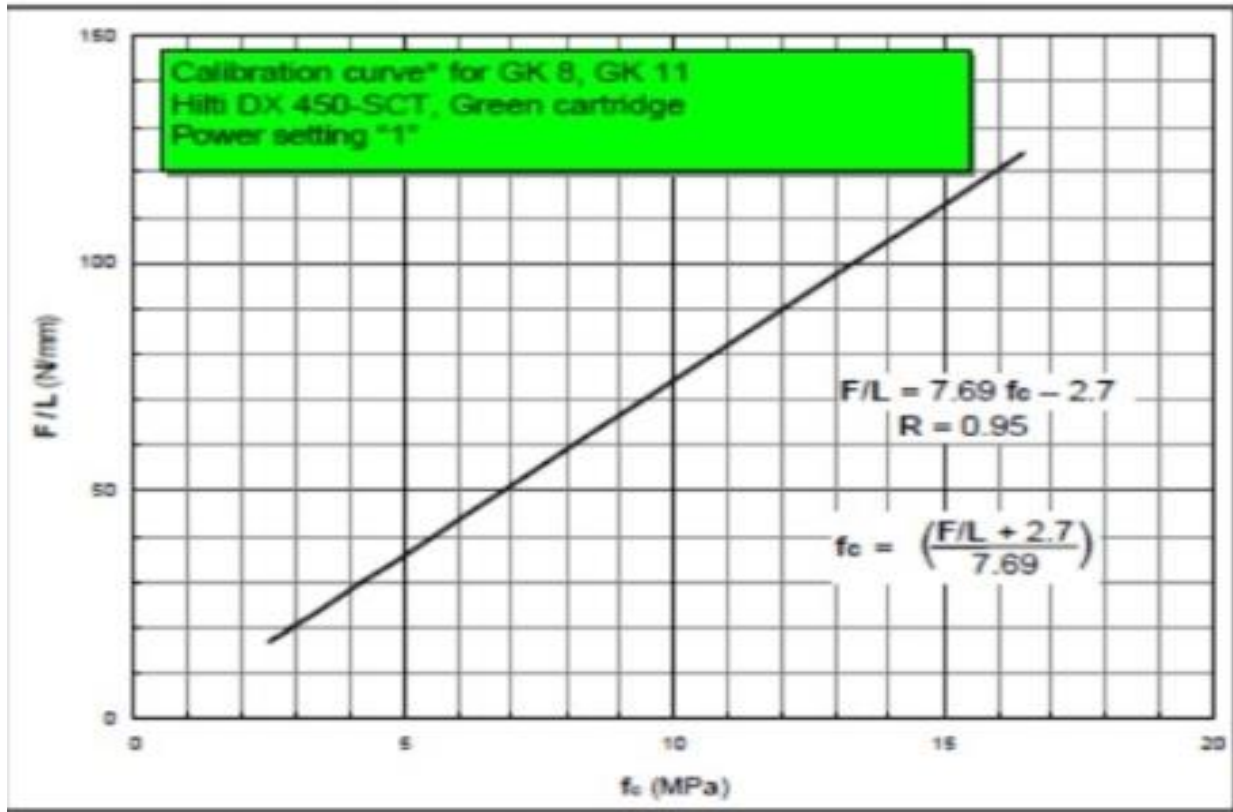
3.6.2. Procedimiento para resistencias iniciales.

- Obtener el muestreo de concreto estimado lanzado al panel trapezoidal.
- Aplicar una cuadrícula en la superficie utilizando pintura en aerosol y asignar números a nueve sectores.
- Insertar la aguja de manera perpendicular después de 10 minutos hasta alcanzar la medida especificada de 15 mm, siguiendo la secuencia de los otros cuadrantes.
- Anotar la fortaleza en la escala, restituir la señalización a su punto inicial y hacer limpieza a la aguja.
- Detener la lectura si la aguja encuentra la fibra o alguna partícula granular que cause resistencia falsa, y luego realizar de nuevo el proceso.
- Después de realizar la penetración en los 9 cuadrantes, llevar a cabo una penetración adicional de manera aleatoria o en el cuadrante donde exista alguna incertidumbre, con el fin de alcanzar un mínimo de 10 lecturas por cada periodo de tiempo del ensayo (en minutos y horas).
- Llevar a cabo la operación en lapsos establecidos y en la secuencia especificada de los cuadrantes, repitiendo el proceso hasta alcanzar una fuerza inicial de 1,2 MPa.

a) Procedimiento para resistencias tempranas

- Obtenido la muestra de shotcrete lanzado al panel trapezoidal, posteriormente, llevar a cabo la aplicación de pintura spray para crear 9 cuadrantes en la superficie.
- Insertar 10 clavos de 103 mm y evaluar la extensión que sobresale de la puntilla en la base del hormigón, luego determinar la profundidad de inserción de cada puntilla.
- Luego, instalar los pernos autorroscantes en las puntillas para llevar a cabo el desprendimiento mediante el pull-test del clavo, un artefacto que tirará de los clavos y anotará en el manómetro las mediciones de fuerza adquiridas (N).
- Después, determinar la resistencia a la presión estimada a través de la proporción entre la fuerza de extracción y la profundización, con el objetivo de obtener el promedio de las 10 lecturas.
- Con el fin de evidenciar los hallazgos considerando la fortaleza bajo presión en Mpa, se realiza un cálculo utilizando el gráfico de cambio proporcionada por el constructor y la relación de la fuerza promedio (N), con el fin de obtener la fuerza en Mpa.

Figura 25: Curva de calibración del fabricante.



Fuente: EFNARC, 2016.

3.6.3. Determinación de la resistencia del shotcrete con fibra sintética.

Se llevará a cabo la prueba de resistencia inicial para los distintos modelos.

Figura 26: Equipo putzmeister SPM. 4210 (equipo robot) en lanzando.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro digital en Newton Y Mpa con el FS-4

Penetración	Resistencia de Penetración (N)											
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio	Mpa
Hora												
30 min	307.0	327.1	322.0	311.9	335.5	298.7	339.0	294.8	333.5	300.8	317.0	0.51
1.0 hora	614.0	634.2	629.0	618.8	642.4	606.0	646.0	601.8	640.1	608.0	624.0	0.96
1.5 hora	922.0	942.2	937.0	926.7	950.4	914.0	954.0	909.9	948.3	915.9	932.0	1.40
2.0 hora	1430.0	1450.2	1445.2	1435.0	1458.1	1421.6	1462.2	1417.9	1456.0	1423.7	1440.0	2.14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Ensayo de resistencia inicial de los diferentes diseños del Shotcrete (Mpa)

Tiempo	FS – 4	FS – 6	FM - 20	FM – 40
30 MIN	0.48	0.51	0.50	0.47
60 MIN	0.82	0.96	0.90	0.87
90 MIN	1.24	1.4	1.28	1.31
120 MIN	2.06	2.14	2.09	2.11

Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar de manera evidente en la tabla, el Shotcrete vía húmeda exhibió un fraguado rápido, logrando una resistencia óptima en 1 hora y media (90 minutos).

Figura 27: Ensayo con dinamómetro digital.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Ensayo de resistencia temprana con pistola Hilti DX 450 con el FS-4

(h : min)	(h : min)	mm.	mm.	mm.	kN	N	N / mm.	N / mm.	
$t_0 =$	0	TODAS LAS MEDICIONES Y CALCULOS ESTAN EN EL MISMO ORDEN DE COLOCACION DE PERNOS							
01:30:00	03:30:00	103	24	79	0.9	900	11.4	13.6	2.118
			23	80	1.0	1000	12.5		
			21	82	1.0	1000	12.2		
			30	73	1.1	1100	15.1		
			33	70	1.4	1400	20.0		
			33	70	1.4	1400	20.0		
			11	92	1.1	1100	12.0		
			11	92	1.1	1100	12.0		
			11	92	0.9	900	9.8		
			12	91	1.0	1000	11.0		
$\Sigma =$							135.8		

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
HORA	Tiempo tras completarse en gunitado	Tipo de perno / Longitud Total L_{tot}	Saliente NVS	Penetración $h_{nom} = L_{tot}$ NVS	Lectura de la carga de tracción U_n	Carga de tracción real N_u	N_u' / h_{nom} ⑧/⑤	Media N_u' / h_{nom} Σ $N_u' / h_{nom} / 10$	Resistencia del Shotcrete $F'c$ (MPa)
(h : min)	(h : min)	mm.	mm.	mm.	kN	N	N / mm.	N / mm.	
$t_0 =$	0	TODAS LAS MEDICIONES Y CALCULOS ESTAN EN EL MISMO ORDEN DE COLOCACION DE PERNOS							
10:15:00	13:15:00	103	23	80	1.5	1500	18.8	18.6	2.77
			27.5	75.5	1.8	1800	23.8		
			24	79	1.5	1500	19.0		
			20	83	1.4	1400	16.9		
			21	82	1.5	1500	18.3		
			20	83	1.4	1400	16.9		
			24	79	1.4	1400	17.7		
			20	83	1.4	1400	16.9		
			21	82	1.6	1600	19.5		
			22	81	1.5	1500	18.5		
$\Sigma =$							186.2		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Ensayo de resistencia temprana de los diferentes diseños del shotcrete (Mpa)

TIEMPO EN HORAS	FS - 4	FS - 6	FM - 20	FM - 40
2	2.12	2.14	2.10	2.07
3	2.77	2.91	2.87	2.82

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 47 se evidencia los distintos diseños lograron una resistencia ideal en un lapso de 2 horas.

Figura 28: Ensayo con la pistola Hilti DX 450 en los paneles trapezoidales.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Resultados de resistencia a la compresión con testigos diamantinas.

Nro DE SERIE	FECHA DE MOLDEO	EDAD (DIAS)	FECHA DE ROTURA	LABOR	CARGA	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO	%
188	21/07/2023	7	28/07/2023	TJ 9000	7954	185	188	47%
	21/07/2023	7	28/07/2023		8214	191		
	21/07/2023	14	4/08/2023		13412	312	307	77%
	21/07/2023	14	4/08/2023		12998	302		
	21/07/2023	28	18/08/2023		18471	429	429	107%
	21/07/2023	28	18/08/2023		18240	424		
	21/07/2023	28	18/08/2023		18420	428		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Resultado de resistencia de compresión fibra sintética y metálica en kg/cm2.

Edad (días)	FS – 4	FS – 6	FM - 20	FM – 40
7	270	285	293	310
14	328	339	342	367
28	417	429	425	427

Fuente: Elaboración propia

De la tabla: analizamos cómo evoluciona la resistencia del concreto a los 7, 14 y 28 días, observando que en el caso del FS-6 se logra una resistividad elevada de 429 kg/cm2 a los 28 días.

Tabla 38: Resultados de resistencia a la compresión en probetas 4x8.

Nro DE SERIE	FECHA DE MOLDEO	EDAD (DIAS)	FECHA DE ROTURA	LABOR	CARGA	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO	%
195	30/07/2023	7	6/08/2023	TJ 8690	10997	256	266	67%
	30/07/2023	7	6/08/2023		11874	276		
	30/07/2023	14	13/08/2023		14471	336	352	88%
	30/07/2023	14	13/08/2023		15845	368		
	30/07/2023	28	27/08/2023		20245	471	464	116%
	30/07/2023	28	27/08/2023		19436	452	464	
	30/07/2023	28	27/08/2023		20178	469	464	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Resultados de resistencia a la compresión en probetas 4x8 de la fibra sintética y metálica.

Edad (días)	FS – 4	FS – 6	FM - 40	FM – 60
7	260	266	268	270
14	315	352	330	350
28	425	464	450	448

Fuente: Elaboración propia

De la tabla, se puede observar la representación gráfica de la progresión de la solidez del concreto 7, 14 y 28 días, donde la FS-6 se muestra un valor superior de 414 kg/cm². Es el fruto de controlar la excelencia y condición de la Rp 8600 del nivel 1200 al 1100 de la instalación de minas SAN VICENTE.

3.7. Índice de rebote del shotcrete vía húmeda con fibras sintéticas

Con respecto a nuestro tercer objetivo específico, se aplicaron métodos y procesos para el uso de shotcrete vía húmeda en la rampa principal del nivel 23. Para verificar, se llevaron a cabo pruebas de rebote perdido, evaluando la proporción entre el peso del rebote del shotcrete vía

húmeda en comparación con la base y el volumen completo de concreto proyectado en vía húmeda.

3.7.1. Técnicas para el lanzamiento de shotcrete.

- La eficacia del lanzamiento de shotcrete está fuertemente influenciada por la destreza del operador.
- Es necesario realizar un soplado previo para eliminar cualquier obstrucción en la línea de la manguera.
- Se recomienda que la fuerza atmosférica sea de 4 bares para garantizar una adecuada sujeción al sustrato.
- Se debe llevar a cabo un control de los niveles en el tanque dosificador para gestionar el consumo durante el lanzamiento.

3.7.2. Aplicación para el lanzamiento shotcrete.

- Disponer la zona despejando las piedras desprendidas y realizando una limpieza previa al lanzamiento.
- Ajustar la separación de la boquilla al sustrato en el rango de 0,80 a 1,20 m.
- Dirigir el shotcrete de manera vertical y circular hacia la superficie
- Lanzar el shotcrete de abajo hacia arriba.
- El manejador tiene el deber inicialmente aplicar el hormigón proyectado en todas las grietas y defectos presentes, asegurándose de que estén completamente llenos para prevenir rebotes.
- Considerar el volumen impactado en la superficie en cada bombeada.

- Aplicar una capa inicial con un espesor de 1", esperar 10 minutos para aplicar la segunda capa, según la sugerencia.
- Posterior a la proyección limpiar para no generar acumulaciones de shotcrete.
- Por último, colocar medidores para controlar el espesor del shotcrete.

Figura 29: Lanzado de shotcrete en la rampa principal 8600 del nivel 1200 al 1100.



Fuente: Elaboración propia

a) Pruebas de rebote Según la norma ACI 506.

El rebote se refiere al mortero proyectado que salta de vuelta desde la superficie en la que se aplica. La cantidad de rebote está influenciada por:

La cantidad de rebote está vinculada a varios factores, incluida la destreza del operador del robot, la separación y ángulo entre la boquilla y el sustrato, la presión del aire constante y adecuada, el tamaño de los agregados según la norma G-02 con un tamaño máximo de árido de 14 mm, así

como la clase y aspereza de la superficie. En la tabla 63 se detallan los valores menor y mayor del porcentaje de rebote en la superficie de shotcrete vía húmeda.

Tabla 40: Porcentaje de rebote para superficies de shotcrete vía húmeda.

SUPERFICIE	MINIMO	MAXIMO
SOLERA O PISO	2 %	5 %
PAREDES VERTICALES O INCLINADAS	5 %	10 %
TECHOS BOVEDAS	10 %	15 %

Fuente: ACI 506R

Tabla 41: Cálculo de % de rebote del shotcrete con fibra sintética.

Labor	Nivel	SLUMP/T°C	Operador	Equipo de lanzado	Diametro de valde en mt	Altura de valde en mt	Volumen Despachado. (m3)	Volumen del Molde	Nº de Moldes Llenados	Cantidad Proyecta de Diseño	% De Rebote	Lanzado Real (m3)	Presion De Aire (Bar)
RP 8600	1200	10	NISIO FERNAN	RB-06	0.29	0.37	5.0	0.024	17	0.41	82	4.6	3.5
RP 8600	1100	9 1/4	RRES FERNAN	RB-08	0.29	0.37	5.0	0.024	15	0.41	72	4.0	4.0

con los estándares establecidos por la norma ACI 506, y esto está sujeto al conocimiento práctico del operario, el desempeño de los equipos y la calidad del agregado en la planificación del shotcrete mediante vía húmeda.

Figura 30: Recolección de muestra del rebote de shotcrete.



Fuente: Elaboración propia

En la ilustración, se despliega una manta o tela oscura que cubre toda la zona para recoger el shotcrete rechazado hacia el suelo. Además, se lleva a cabo la medición del peso de los cubos que contienen todo el rebote de shotcrete, con el fin de supervisar el porcentaje de rebote en la totalidad de la proyección.

3.8. Tiempo de ciclo de minado con shotcrete

Después de alcanzar la solidez ideal de 2.12 Mpa en un lapso de 2 horas, es posible proseguir con los procedimientos en diversas actividades con la certeza de que el sostenimiento da cumplimiento con el patrón establecido.

3.9. Costos unitarios del shotcrete

Se calculan los gastos por unidad como la agregación de gastos de todos los insumos.

Tabla 42: Costo del diseño del shotcrete con 4.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-4)

MATERIALES	PESO HÚMEDO (KG)	P.U. S/.	PARCIAL S/.
CEMENTO	440 kg	0.45	198
AGREGADO	1808.0 kg	0.04	72.32
AGUA	78.2	0.02	1.564
ADITIVO PLASTIFICANTE	2.2	9.80	21.56
ADITIVO ACELERANTE	26.4	3.30	87.12
FIBRA SINTÉTICA	4	5.5	22.0
TOTAL			402.564

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Costo del diseño del shotcrete con 6.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-6)

MATERIALES	PESO HÚMEDO (KG)	P.U. S/.	PARCIAL S/.
CEMENTO	440 kg	0.45	198
AGREGADO	1801.0 kg	0.04	72.04
AGUA	78.6	0.02	1.572
ADITIVO PLASTIFICANTE	2.2	9.80	21.56
ADITIVO ACELERANTE	26.4	3.30	87.12
FIBRA SINTÉTICA	6	5.5	33.0
TOTAL			413.292

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Diseño del shotcrete con 20.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-20)

MATERIALES	PESO HÚMEDO (KG)	P.U. S/.	PARCIAL S/.
CEMENTO	440 kg	0.45	198
AGREGADO	1813.8 kg	0.04	72.552
AGUA	77.9 kg	0.02	1.558
ADITIVO PLASTIFICANTE	2.2 kg	9.80	21.56
ADITIVO ACCELERANTE	26.4 kg	3.30	87.12
FIBRA SINTÉTICA	20 kg	2.3	46
TOTAL			425.236

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Diseño del shotcrete con 40.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-40)

MATERIALES	PESO HÚMEDO (KG)	P.U. S/.	PARCIAL S/.
CEMENTO	440 kg	0.45	198
AGREGADO	1805.8 kg	0.04	72.232
AGUA	78.3 kg	0.02	1.62
ADITIVO PLASTIFICANTE	2.2 kg	9.80	21.56
ADITIVO ACELERANTE	26.4 kg	3.30	87.12
FIBRA SINTÉTICA	40 kg	2.3	92
TOTAL			472.532

Fuente: Elaboración propia

De las tablas obtenidas se pueden notar distintos costos por metro cúbico en los diseños de shotcrete, destacando que los diseños con fibras metálicas presentan un costo elevado, y que el diseño más eficiente FS-6, tiene menor costo de S/. 413.292 por M³.

Costo total de personal y equipos por metro cubico.

Costo de personal por metro cubico (jefe y asistente de planta, ing. De seguridad, supervisor de operaciones, operador y ayudante de planta, mecánico, electricista, laboratorista, operador de mixkret, operador y ayudante de robot lanzador y alimentación)	S/. 180.50
Costo de equipos por metro cubico (planta, laboratorio, minicargador, mixkret, robot lanzador, camioneta)	S/. 194.75

Costo operativo por metro cubico = costo de personal + costo de equipo = S/. 375.25, este valor es igual en ambos casos tanto en el uso de fibra metálica y fibra sintética, ya que el personal y equipos utilizados son los mismos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis desde el punto de vista técnico

- En los patrones con fibra metálica podemos observar en las tablas obtenidas, que entre más fibra metálica en la mezcla de concreto el hundimiento se reduce a 6 pulgadas en un período de 2 horas, mientras que la mezcla del concreto con fibra sintética al momento que su compactación es menor llega a 7 ½” en 2 horas, lo que preserva la manejabilidad y lo consistente del concreto.
- En las resistencias iniciales y tempranas el diseño con fibra sintética alcanza una solidez de 1.4 Mpa en 90 minutos esto resulta beneficioso para la resistencia inicial del shotcrete.
- En las evaluaciones de tenacidad frente a la presión a los 7, 14 y 28 días en los especímenes con diamantinas, el diseño que incorpora fibra sintética logró una resistencia máxima de 414 kg/cm², cumpliendo así con los estándares recomendados para garantizar la resistencia durante las operaciones y la seguridad.
- Con respecto al hallazgo de rebote se ha reducido a 7.2 %, lo cual es un % de rebote conforme a la norma ACI 506R, esto está sujeto a la destreza y habilidad del operador de

proyección, de la eficiencia de artefactos y la condición del agregado en la formulación del shotcrete vía húmeda.

4.2. Análisis desde el punto de vista económico

Con el uso de fibra metálica tenemos un costo de diseño mayor a 425.236 \$/m³ y con el uso de fibra sintética tenemos un costo de diseño menor a 413.292 \$/m³, este último costo da cumplimiento a las normativas establecidas para el shotcrete

4.3. Análisis desde el punto de vista de seguridad

En términos de seguridad, se da cumplimiento a los estándares de sostenimiento en operaciones mina, pues se alcanza la resistencia óptima en una hora, proporcionando seguridad en las operaciones mineras y para los colaboradores.

Simultáneamente, ofrece una confiabilidad en un periodo extenso al mantener una robustez acorde con los rangos definidos, sin mostrar grietas ni derrumbes con el tiempo ya que por la presencia de goteras y eventos micro sísmicos en mina la fibra sintética no llega a oxidarse ni debilitarse.

4.4. Cuadros comparativos de mejora con el uso de fibra sintética según datos obtenidos en las tablas.

Tabla 46: Cuadro comparativo de mejora según resultados de la prueba del slump.

Tiempo (min)	FS-6 (pulgadas)	FM-20 (pulgadas)
0	9 ½	9
30	9 ¼	8 ½
60	8 ½	8 ¼
90	8	7 ¾
120	7 ½	7¼

Fuente: elaboración propia.

Tabla 47: Cuadro comparativo de mejora según resultados de resistencias iniciales (uso de penetrómetro digital).

Tiempo	FS – 6 (Mpa)	FM – 40 (Mpa)
30 MIN	0.51	0.47
60 MIN	0.96	0.87
90 MIN	1.4	1.31
120 MIN	2.14	2.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Cuadro comparativo de mejora según resultados de resistencias a la compresión con testigos diamantinas.

Edad (días)	FS – 6 (Kg/cm2)	FM – 40 (Kg/cm2)
7	285	310
14	339	367
28	429	427

Fuente: elaboración propia.

Tabla 49: cuadro comparativo de mejora según resultados de resistencia a la compresión en probetas 4x8.

Edad (días)	FS – 6 (Kg/cm2)	FM – 40 (Kg/cm2)
7	266	268
14	352	330
28	464	450

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: cuadro comparativo de mejora según índice de rebote.

Numero de prueba	FS – 6 (primera prueba) %	FS – 6 (segunda prueba) %
Índice de rebote	8.2	7.2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 51: cuadro comparativo de mejora según costo

Tipo de Fibra	FS – 6 (S/.)	FM – 20 (S/.)
Costo / M3	788.542	800.486

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

- 1.- De acuerdo a los parámetros geomecánicos de la roca en la rampa 8600 (roca de clase III, RMR igual a 46, roca regular, parcialmente estable, algunas juntas (muchas cuñas)), es necesario esta mejora en el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda con el uso de fibra sintética.
- 2.- Las mejoras en las resistencias iniciales son beneficiosas con el mecanismo del uso del penetrómetro digitalizado de 2.14 Mpa en 2 horas en los modelos (FS-6) de la fibra sintética y la resistencia en constante evolución del concreto seco es positiva, logrando la resistencia deseada de 429 Kg/m² en 28 días en muestras diamantinas y en caso de muestras en probetas de 4 x 8 es de 464 Kg/cm² estos en los diseños (FS-6), lo cual representa una mejora con el uso de fibra sintética.
- 3.- En el parámetro técnico - económica se determinó que en la implementación de fibras sintética se ha reducido el cosco de S/ 425,236/ m³ a S/ 413.292/m³ lo cual se da en el modelo de la FS - 6 y da cumplimiento con la norma determinada en el shotcrete
- 4.- Con el uso de fibra sintética se observó buena respuesta con respecto a la presencia de agua en el frente de trabajo, ya que con la fibra metálica se tenía problemas de oxidación.

RECOMENDACIONES

- 1.- Es recomendable que el equipo robot debe de operar con una presión neumática de 4 bares, para evitar dañar la adherencia del shotcrete en la corona y los hastiales para prevenir posibles irregularidades en la aplicación del shotcrete, debiendo realizar un seguimiento al mantenimiento preventivo de los equipos así mismo a la planta dosificadora para evitar dosificación en la mezcla.
- 2.- Se recomienda lograr una resistencia de 0,8 a 1,0 Mpa en 1 hora tal como indica la norma para tener una evolución favorable.
- 3.- Antes de comenzar la proyección de shotcrete, se aconseja llevar a cabo un buen desate de rocas sueltas así mismo un adecuado rimado de carga en el piso.
- 4.- Se recomienda seguir con la mejora del diseño para un buen sostenimiento con shotcrete por vía húmeda, según tipo de roca que se va presentando en el avance.

Bibliografía

1. *ACI 506R-16. (2016)*. Guide to shotcrete. American concrete institute.
2. *ACI 211. (2012)*. Diseño de mezcla de concreto ACI Comité 211. Disponible en: file:///C:/Users/Jhon6/Downloads/Diseño de mezclas por el método ACI.pdf.
3. *ASTM international. (2015)*. American Society of Testing and Material.
3. *Arroyo M / Ojeda J (2015)*. En el seminario realizado “Nuevas soluciones para la mejora técnica y económica del concreto en las operaciones mineras” OSINERMING (MyPHor materiales Especiales) (lima – Perú).
4. *Acuña S. (2023)*. En la tesis “Implementación de la fibra sintética en el shotcrete en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la CIA MINERA ALPAYANA CASAPALCA” Universidad Nacional San Antonio Abad – CUSCO.
5. *Carpio A. (2021)*. En la tesis “Selección de fibras y diseño para shotcrete en la construcción del by pass del nivel 4540 en la U.P. Tambomayo Arequipa” Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
6. *CAÑON L. (2016)*. En la tesis “Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno sikafiber ad de sika y toc fibra500 de toxement” Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad Tecnológica Ingeniería Civil Bogotá D.C – COLOMBIA.
7. *Cruz, M. (2019)*. Formulación de una mezcla de concreto con fines de optimizar el tiempo de fraguado en el concreto proyectado aplicado a la minería subterránea. Tesis de pregrado para optar el título profesional de ingeniero de materiales. Universidad nacional de San Agustín de Arequipa.
8. *Díaz, L. J. (2014)*. Shotcrete vía húmeda su importancia como elemento de sostenimiento en minería. Disponible en: http://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20140227_shotcrete.pdf.

9. *León, L. (2018)*. Evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el nivel 6 – Xc 750 w en la unidad cuerpo Mery – Compañía Minera Casapalca 2017. Tesis de pregrado para optar el título profesional de ingeniero de minas. Universidad Continental.

10. *Machuca C. (2018)*. En la tesis “Evaluación del remplazo de acero tradicional por fibras como refuerzo en losas de concreto” Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Estudios a Distancia Bogotá D.C – COLOMBIA.

ANEXOS

ANEXO 1: ASPECTOS GENERALES DE LA MINA

1. Ubicación:

La Mina San Vicente, está ubicada en el Distrito de Vitoc, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín a 17 Km. al Sur de la Ciudad de San Ramón; en el flanco occidental de la cordillera oriental, en ceja de selva y a una altura 1,400 a 2,000 msnm.

2. Acceso:

Para llegar, se parte desde Lima utilizando la Carretera Central en dirección a Tarma y San Ramón. En el kilómetro 293 (antes de llegar a San Ramón), se toma un desvío hacia el sur.

Cusco – Lima	1,104.0 km
Lima (Huaycan) – Tarma	237.0 km
Tarma – San Ramon	64.0 km
San Ramon – San Vicente	17.0 Km
Total	1458.0 km

Elaboración propia.

3. Clima y Vegetación. La llegada de vientos cálidos y húmedos provenientes del Océano Atlántico propicia la presencia de lluvias, alcanzando en algunos casos niveles superiores a los 2000 mm³ de precipitación anual.

4. Hidrología. El ámbito de estudio está ubicado desde el punto de vista hídrico en la vertiente del Atlántico y forma parte la cuenca del Río Ucayali.

Corresponde a este ámbito la cuenca del Río Tulumayo, cuenca en el cual se desarrollan las actividades de la mina San Vicente.

Este río tiene sus nacientes sobre los 5300 m.s.n.m cuyo cauce principal es alimentado progresivamente por los deshielos de los nevados y las descargas de las lagunas existentes en las partes altas de sus afluentes principales. (Huaman, 2011).

5. Flora y fauna. En el área de estudio se encuentran dos formaciones naturales boscosas primarias y secundarias. El bosque primario localizado en las montañas y plataforma de moldeado suave de terrenos empinados está conformado por especies de árboles, estos árboles son grandes formando en su extremo superior una superficie aplanada. El bosque secundario se encuentra en terrenos llanos expuestos a inundaciones y colinas y terrazas del área en estudio, los bosques suelen ser sustituidos por formaciones denominadas purmas y/o matorrales. (Huaman, 2011).

6. Entorno Geológico.

6.1. Geología regional.

6.1.1. Geomorfología. - Los elementos geomorfológicos presentes en la región de la selva central están formados por la Cordillera Oriental de los Andes y el Sistema de Cordilleras Subandinas Orientales. Estas estructuras se originaron debido al sistema de fallas subandinas, que está actualmente en formación en relación con la actividad tectónica. Geomorfológicamente, la región es considerada joven y activa.

6.1.2. Unidades geomorfológicas. - El área de la Mina San Vicente y sus alrededores comprende cuatro unidades y trece sub-unidades geomorfológicas.

6.1.3. Medio fluvial. - Comprende el nivel de base geomorfológico local entre 905 m.s.n.m y 1475 m.s.n.m siguiendo el perfil de los ríos Tulumayo-Chilpes-Puntayacu, desde la desembocadura de la Quebrada Yanayacu, hasta la Planta Concentradora de la Mina San Vicente.

6.1.4. Medio aluvial. - Esta Unidad se formó por la acumulación de materiales aluviales durante la época geotectónica y climática anterior en el Holoceno. Se han identificado cuatro unidades aluviales comprendidas entre los 500 m.s.n.m y 900 m.s.n.m.

6.1.5. Depresión colinosa. - Comprendido entre los 1475 m.s.n.m y 2000 m.s.n.m

6.1.6. Cordilleras centrales. - Comprendidas entre los 2000 m.s.n.m y 3500 m.s.n.m.

6.1.7. Macizo Intrusivo Montañoso. - Comprende parte de la cordillera montañosa granítica que separa los valles Tulumayo y Perene, formado por rocas intrusivas graníticas alteradas y cubiertas por la exuberante vegetación de la selva alta y ceja de la selva.

6.1.8. Macizo Calcáreo Montañoso. - Comprende a la Cordillera Oriental entre el Río Mantaro, formada por formaciones de calizas, esquistos y conglomerados.

6.1.9. Geología local. - La zona contiene rocas sedimentarias encajonadas de rocas ígneas. Las secuencias sedimentarias forman una banda en la superficie

con un sentido norte-sur y las rocas ígneas se encuentran en los lados este y oeste. Las rocas sedimentarias consisten en dos grupos, uno de sedimentos marinos carbonatados (caliza, dolomita) y el otro de sedimentos continentales elásticos (arenisca, conglomerado).

6.1.10. Granito San Ramón. - Las rocas ígneas en el lado este del "Sector" forman parte del Granito San Ramón. Este intrusivo batolítico está constituido de granodioritas de color blanco grisáceo y de grano grueso. De acuerdo a la experiencia conseguida en el proyecto hidroeléctrico Chimay, la roca de este intrusivo es de buena calidad para hacer excavaciones subterráneas salvo en una zona cerca de la superficie donde ha experimentado alteración. Su edad es del período Paleozoico.

6.1.11. Granodiorita Tarma. - Las otras rocas ígneas en el lado oeste del "Sector" forman parte de la Granodiorita Tarma. Este intrusivo plutónico consiste en granito masivo y de grano grueso. Una importante falla de escurrimiento ha empujado este cuerpo intrusivo sobre los sedimentos marinos carbonatados. Igual al Granito San Ramón, esta roca es favorable para realiza excavaciones mineras salvo cerca de la superficie. La Granodiorita Tarma es relativamente impermeable, sin embargo, la zona de fracturamiento asociada con la falla podría tener una permeabilidad alta. En cuanto a su edad, es del período Triásico Inferior.

6.1.12. Grupo Mitú. - El Grupo Mitú constituye una de las dos secuencias sedimentarias que conforman la franja en dirección norte-sur en el medio del "Sector". Se encuentra posicionado entre el Granito San Ramón al este

y los sedimentos marinos carbonatados al oeste. Este grupo está compuesto por sedimentos continentales, tales como arenisca, limolita, yeso y conglomerado. La experiencia con el Grupo Mitú, por ejemplo, la entrada del Túnel Uncush, indica que esta roca es altamente incompetente. La formación tiene una baja permeabilidad, y su edad es del período Triásico o Pérmico.

6.1.13. Grupo Pucará. - La secuencia sedimentaria carbonatada se llama el Grupo Pucará y consiste en sedimentos marinos tales como caliza y dolomita. Se encuentra en el medio del "Sector" cercado en el lado oeste por la Granodiorita Tarma y en el lado este por el Grupo Mitú. El Grupo Pucará tiene un contacto directo con el Mitú y yace sobre éste. Las secuencias del grupo tienen un rumbo norte-sur y un buzamiento de 5' a 50' hacia el este. Respecto a su edad, es de los períodos geológicos Triásico Superior y Jurásico Inferior.

6.1.14. Intrusivos Menores. - En el medio del "Sector", se encuentra un stock volcánico de reciente edad consistiendo en tonalitas granodioritas. Aunque no hay mucha información sobre la calidad de la roca, se piensa que podría ser de buena calidad para labores mineras siempre que no haya muchas fallas o fracturas. Es uno de una serie de pequeños intrusivos que se han formado en ciertos puntos a lo largo del contacto entre el Pucará y el Mitú. En la mayoría de los casos, se ha producido un ligero metamorfismo de tipo marmolización en el contacto.

6.1.15. Formación La Merced. - La Formación La Merced se encuentra hacia la ciudad de San Ramón en el norte del "Sector" y en el oeste sobre el contacto entre el Mitú y el Granito San Ramón. Es una secuencia de sedimentos continentales recientes que consiste en conglomerados y areniscas formados de los antiguos cursos de ríos. La roca de la formación es ligeramente consolidada y sería altamente incompetente para excavaciones subterráneas. De todas maneras, se encuentra cerca de la superficie y no en las cotas de los posibles túneles.

6.2. Geología estructural. Se han identificado 4 sistemas principales de fallas:

- **Sistema N – S.** - De cuenca durante la sedimentación del Pucara: cambios bruscos de Facies y espesor son atribuibles a ellas, las más representativas son la falla Alicia al este de la mina que controla la sedimentación entre la mina Norte y quebrada Vilcapoma y la falla Solitaria al oeste de la mina que durante la tectónica andina habría servido como zona de despegue del sobre escurrimiento del granito Tarma. En interior mina; estas estructuras son esencialmente paralelas a la estratificación (los rumbos pueden ser ligeramente variables) con buzamientos bajos al Oeste, sus desplazamientos son inversos (modelo de barajas), pero han sido reactivadas con movimientos normales de menor intensidad. Ocasionalmente, estas cortan a la estratificación.

- **Sistema E – W.** - Tienen generalmente alto ángulo de buzamiento hacia el Norte, sus desplazamientos son normal- dextral (pitch 30° E). Probablemente sean una variación del sistema NE-SW. Buenos exponentes de este sistema se encuentran al

norte de la coordenada 21,600 en el nivel 1750; así por ejemplo la falla 1640 que correlaciona en superficie con la falla Colca Sur Centro, que ha desplazado cerca de 50 m. el manto San Vicente Techo hacia el Este.

- **Sistema NE – SW.** - Tiene buzamiento generalmente al NW y su movimiento es dextral normal ($< 20^\circ$), este sistema pertenece al lineamiento Puntayacu que es un conjunto de fallas con un ancho de más de 400 m. de alcance y al parecer han producido grandes desplazamientos en los componentes horizontal sobre todo al Sur de la coordenada 20,530 en el Nv. 1750.

- **Sistema NW – SE.** - Son también de alto buzamiento al SW; ocasionan desplazamiento sinistral-normal principalmente. Las fallas 860 y 1220 son los mejores exponentes en interior mina. Se originaron como fallas tensionales de un desgarre sinistral de las grandes fallas longitudinales (Solitaria y Alicia); esto explica el carácter tangencial de la falla 860 en las proximidades de la falla Alicia. Asimismo, durante la tectónica andina, que produjo el sobre escurrimiento del granito Tarma sobre el Pucará, este sistema NW-SE se comportan como conjugada del sistema Puntayacu NE, los juegos de ambos sistemas son totalmente compatibles con el movimiento inverso de las fallas longitudinales; dando en conjunto esfuerzos compresivos E-W, que es lógico considerando el contexto tectónico regional de escamas cabalgantes de rumbo N-S.

6.3. Geología económica. San Vicente es un yacimiento estratoligado de Zn y Pb tipo MVT, ubicado en rocas calcáreas de edad mesozoica con orientación N-S y buzamiento al oeste.

- Los mantos mineralizados están emplazados en tres horizontes estratigráficos de piso a techo son los siguientes:

- San Judas.

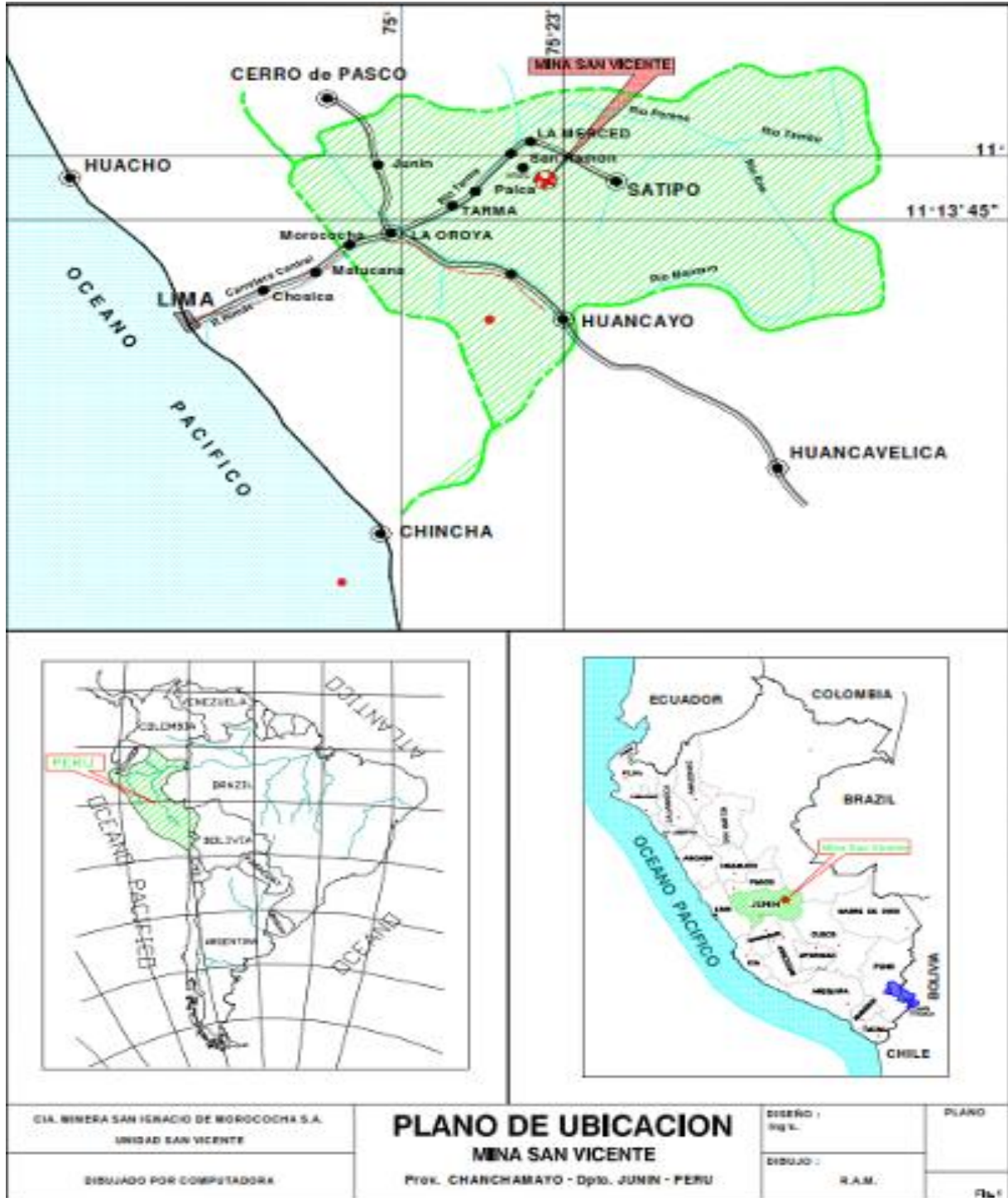
- San Vicente.

- Alfonso.

7. Mineralización: La mineralización consiste principalmente de sulfuros de Zinc (esfalerita) y cantidades menores de sulfuros de plomo (Galena).

La mineralogía de la ganga está representada por Dolomita (Carbonato de Calcio y Magnesio) y en cantidades menores Calcita. (Departamento de geología de SIMSA, 2023).

Mapa de ubicación de la mina San Vicente.



Fuente: Departamento de geología SIMSA.

8. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

8.1. Corte y relleno ascendente.

El enfoque ascendente del método de corte y relleno mecanizado involucra la utilización de la roca fragmentada como material de relleno, así como el empleo de los residuos del procesamiento de minerales como relleno hidráulico. Este método es aplicado en mantos con un buzamiento de 30° a 45° y una potencia de 2.5 a 5 metros, donde tanto las cajas como el mineral son competentes. Los bloques diseñados en este contexto tienen una altura de 30 metros en dirección vertical y una longitud que varía entre 80 y 150 metros, dependiendo del comportamiento específico del manto.

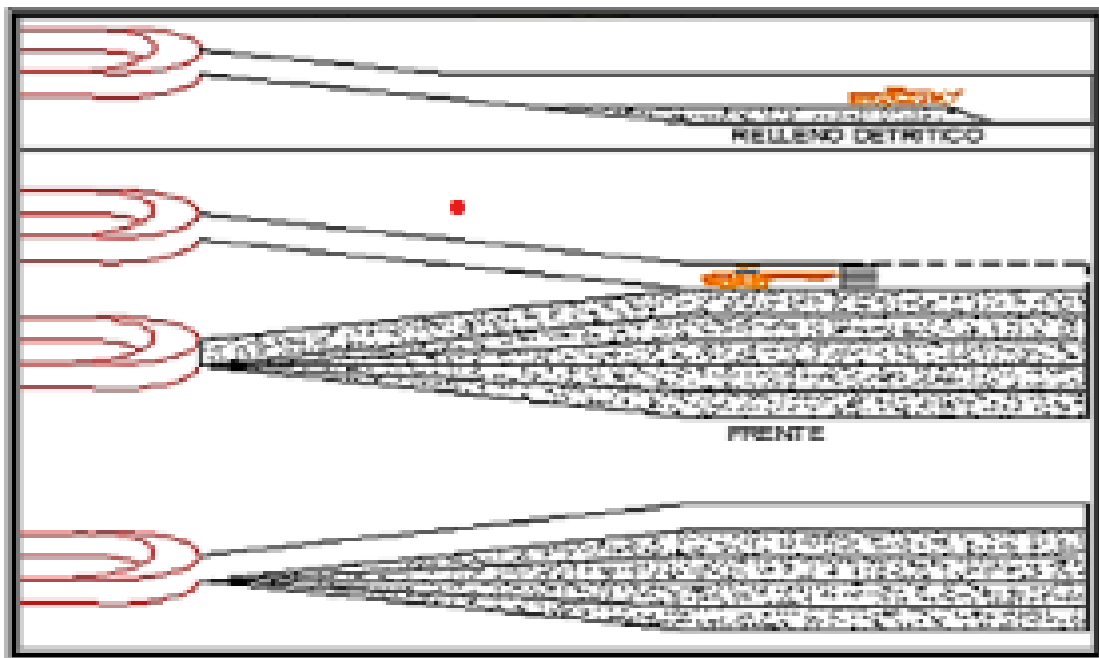
a) Diseño: Se accede al yacimiento penetrando a través de la rampa principal localizada en la caja piso del mismo, desde donde se preparan las labores hasta alcanzar e iniciar la explotación a lo largo de toda su extensión. En cuanto a la rampa principal, esta se encuentra a una distancia de 50 metros del yacimiento, con una pendiente del 15% y del 8% en las curvas, y posee dimensiones de sección de 4 metros x 4 metros.

La galería de acceso cruza el yacimiento en su punto central para dividir el bloque en dos secciones. En cada bloque resultante, se crean dos accesos para extraer minerales a lo largo de toda la altura del bloque, que tiene un encampane de 50 metros. El ingreso a las zonas mineralizadas se efectúa a través de rampas, para luego interceptarlas con accesos negativos y proceder con una avanzada horizontal que siga la orientación de la estructura del mineral. De este modo, se delimitan los límites de los bloques.

En cada bloque de explotación, se construyen las chimeneas utilizando el sistema Raise Boring con un diámetro de 1.5 metros (5 pies), y el aire utilizado se dirige hacia las chimeneas principales de ventilación, que tienen un diámetro de 2.1 metros (7 pies). Para la perforación de los frentes, se utilizan equipos como los jumbos electrohidráulicos de un brazo, así como jumbos adaptados para llevar a cabo el sostenimiento, que incluye la instalación de pernos y mallas electrosoldadas.

- b) **Relleno Detrítico y/o Relleno Hidráulico:** Una vez finalizado el proceso de ruptura en el acceso, se lleva a cabo la llenura con el material proveniente de las preparaciones cercanas, con el propósito de sellar utilizando relleno hidráulico y dejando un espacio de 0.50 metros hacia el techo. Esto contribuye a estabilizar las paredes de la labor y prepara el piso para el siguiente corte.

Relleno detrítico y/o hidráulico en SIMSA




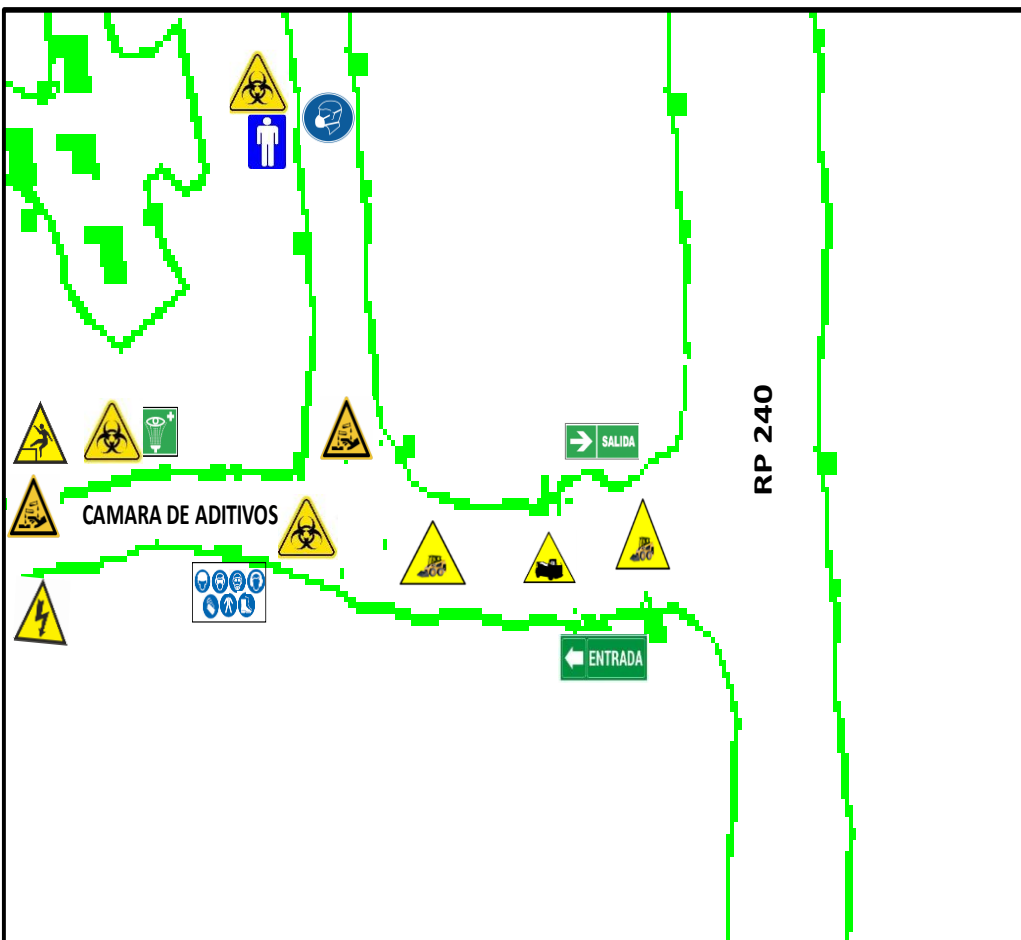













Fuente: Plan Anual de Minado 2022

8.2. Cámaras y pilares.

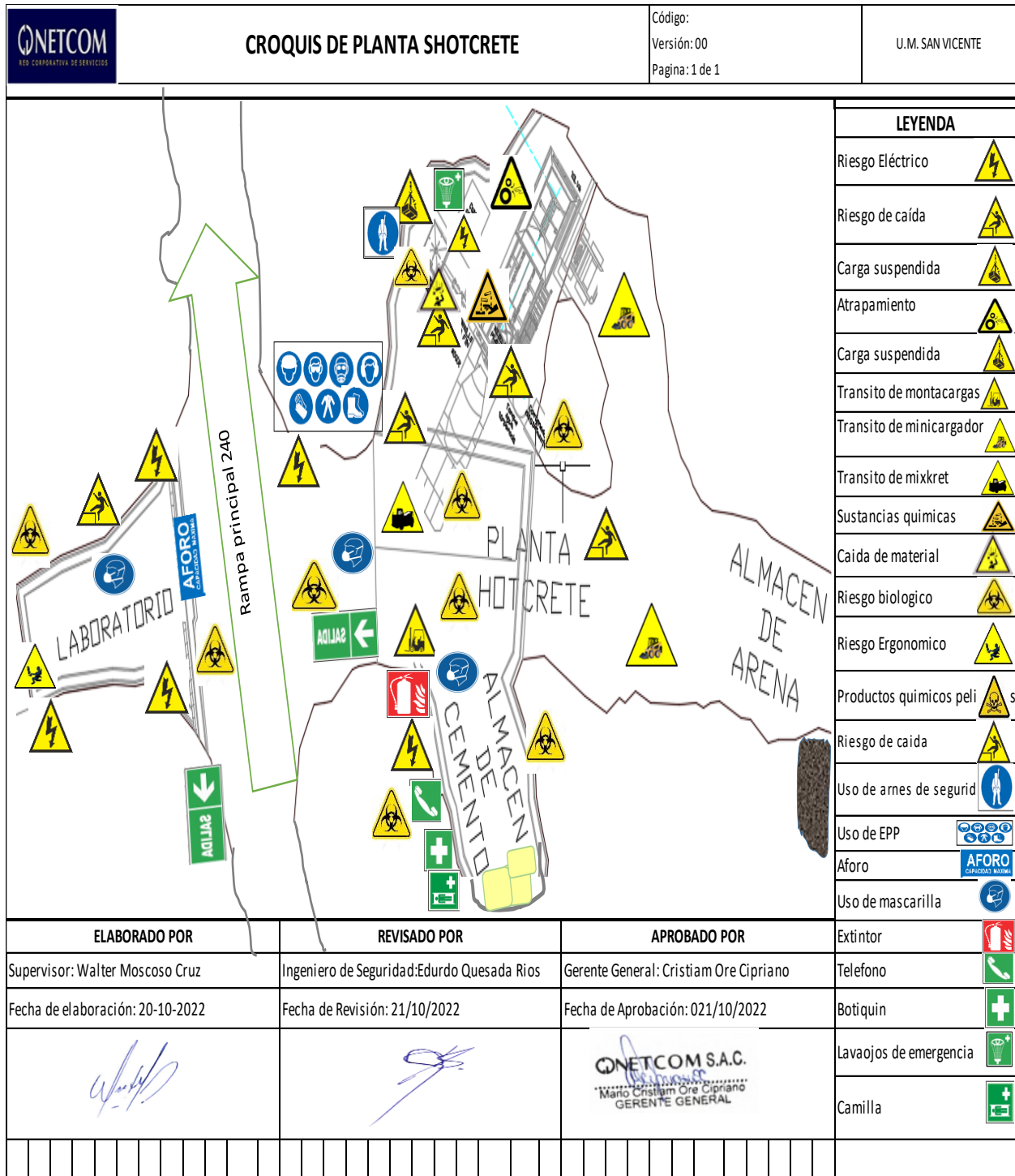
En SIMSA, las dimensiones y la disposición de las cámaras se determinan de manera flexible durante el proceso de explotación, creando pilares de forma irregular que se ajustan a las características particulares del yacimiento, especialmente en zonas de baja ley y/o estériles. Este enfoque se aplica a mantos con un buzamiento de 0° a 25° y una potencia de 2 a 6 metros. En los mantos horizontales, la perforación se asemeja a la realizada en las galerías, donde el ancho y la altura de la excavación corresponden a las dimensiones operativas de un equipo específico.

Diseño: El acceso se lleva a cabo mediante rampas, y se intercepta el yacimiento mineral utilizando la parte superior de la estructura mineralizada (mantos con un ángulo entre 20° y 25°) con accesos negativos. Una vez que se ha interceptado el yacimiento, se avanza en el frente siguiendo su dirección hasta definir sus límites en los extremos. Una vez que se ha delimitado la zona económica del yacimiento, la recuperación de los pilares puede ser parcial o total, y esta recuperación se realiza durante la retirada una vez que la excavación haya alcanzado su límite económico.

ANEXO 2. Croquis de la cámara de aditivo.

 CROQUIS CAMARA DE ADITIVOS		Código: Versión: 00 Pagina: 1 de 1	U.M. SAN VICENTE
			LEYENDA
			Riesgo Eléctrico  Riesgo de caída  Transito de minicargador  Sustancias químicas  Transito de mixkret  Riesgo biologico  Uso de EPP  Servicio higienico  Uso de mascarilla  lavajos emergencia 
ELABORADO POR Supervisor: Walter Moscoso Cruz Fecha de elaboración: 20-10-2022	REVISADO POR Ingeniero de Seguridad: Eduardo Quesada Rios Fecha de Revisión: 21/10/2023	APROBADO POR Gerente General: Cristiam Ore Cipriano Fecha de Aprobación: 21/10/2023	
		 QNETCOM S.A.C. Mario Cristiam Ore Cipriano GERENTE GENERAL	

ANEXO 3. Croquis de planta shotcrete



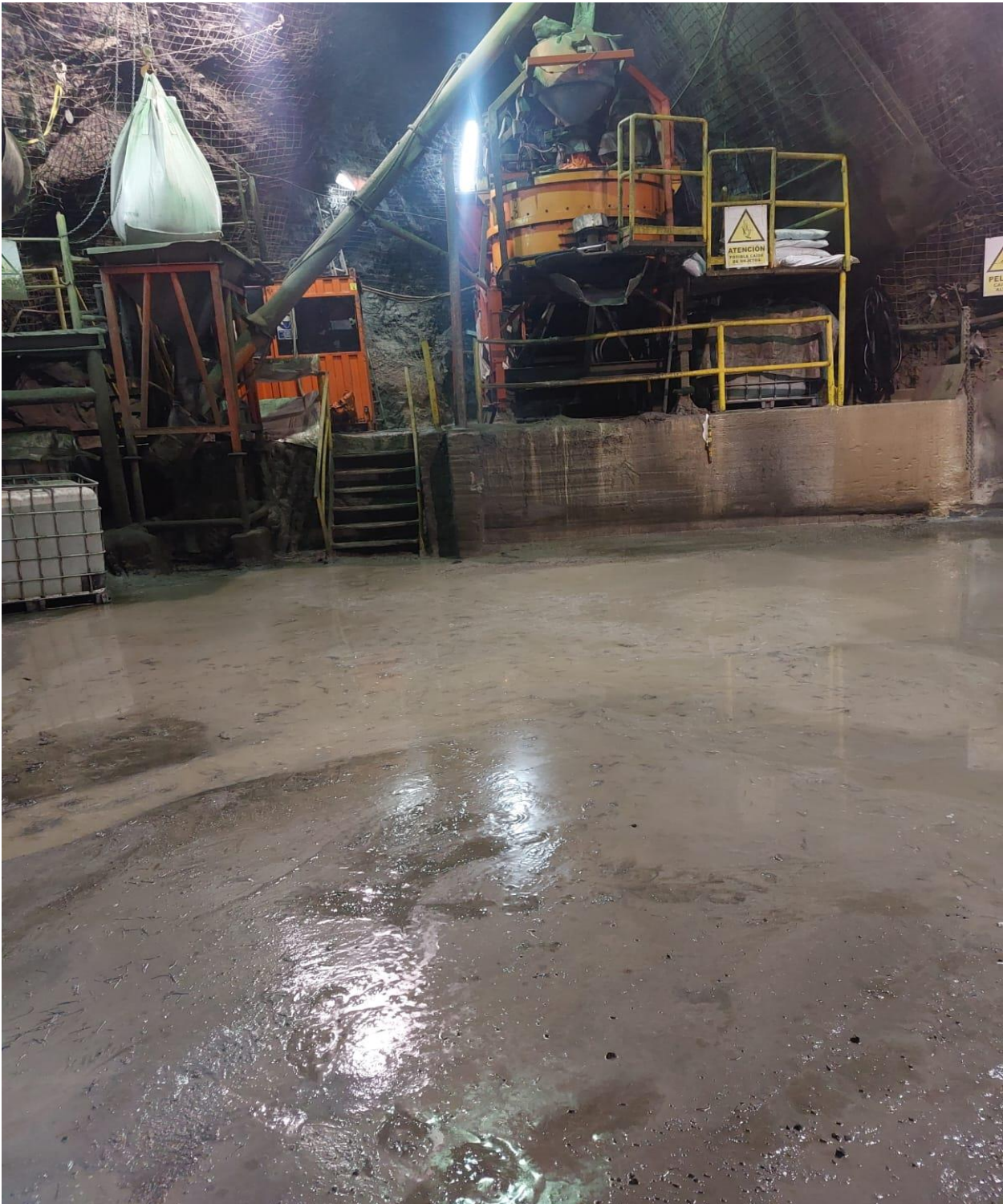
ANEXO 4. Equipo robot putmaister 4210



ANEXO 5. Equipo mixkret 4



ANEXO 6. Planta shotcrete.



ANEXO 7. Trasegado de concreto premezclado de tina a cuba de mixkret en planta shotcrete



ANEXO 8. Capacitación al personal en trasegado de aditivo gunitoq a equipo robot.



ANEXO 9. Trasegado de aditivo gunitoq a equipo robot



ANEXO 10. Cantera de arena



ANEXO 11. Carguío de arena a tolva de volquete, con cargador frontal



ANEXO 12. Vista del cocido de fibras, después de un evento micro sísmico

