

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



TESIS

“IMPLEMENTACION DE LA FIBRA SINTETICA EN EL SHOTCRETE EN EL SOSTENIMIENTO DE LA RAMPA 565 DEL NIVEL 23, EN LA CIA. MINERA ALPAYANA CASAPALCA - LIMA”

PRESENTADO POR:

BACH. SAMUEL ACUÑA HOLGUIN

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

MGT. ODILON CONTRERAS ARANA

CUSCO - PERÚ

2023

AGRADECIMIENTO

A la Universidad San Antonio de Abad de Cusco, de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que nos dieron la oportunidad de formarnos como profesionales y nos guiaron con éxito a nuestra formación académica que hoy se constituye en los fundamentos de nuestra vida profesional.

Mis agradecimientos a los ingenieros docentes de la escuela Profesional de Ingeniería de Minas que constituyeron con mi formación académica universitaria.

También a la empresa CIA. Minera Alpayana por brindarme la oportunidad de poder trabajar y permitirme desarrollar mis experiencias adquiridas en la empresa minera, por presentar este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mi Dios, mi Padre celestial
que a pesar de las dificultades de la
vida siempre está conmigo
guiándome el camino y dándome
fuerzas para poder seguir adelante.

A mi madre Libia Holguín
Huamán quien me sigue apoyando
como persona a seguir adelante a
pesar de los obstáculos que se me
presenten en la vida.

A mi padre Ezequiel Acuña
Castro que me ha brindado todo su
apoyo y está aconsejándome para
seguir creciendo profesionalmente.

INDICE

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
INDICE	III
RESUMEN	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO I:.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Problemática de la investigación.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema principal	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo principal	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis principal.....	4
1.5.2. Hipótesis específicas	4

1.6. Variables e indicadores.....	4
1.7. Metodología de la investigación	5
1.7.1. Tipo de investigación	5
1.7.2. Nivel de investigación	5
1.7.3. Población y muestra	5
1.7.3.1. Población	5
1.7.3.2. Muestra.....	6
1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	6
1.7.4.1. Técnicas de recolección de la información	6
1.7.4.2. Instrumentos de recolección de datos	6
1.7.5. Procesamiento y presentación de datos	7
CAPÍTULO II:.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.1.1. A nivel nacional.....	8
2.1.2. A nivel internacional.....	9
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Sostenimiento de labores mineras subterráneas	11
2.2.1.1. Tipos de sostenimiento	11
2.2.1.2. Factores que intervienen en el tipo de sostenimiento.....	12
2.2.2. Historia del shotcrete	12

2.2.3. Sostenimiento con shotcrete en nivel internacional.....	14
2.2.4. Sostenimiento con shotcrete.....	16
2.2.4.1. Shotcrete	16
2.2.4.2. Método por vía seca.....	17
2.2.4.3. Método por vía húmeda	18
2.2.5. Requerimiento de la capa de shotcrete.....	20
2.2.5.1. Requerimientos mecánicos:.....	20
2.2.5.2. Requerimientos físicos:.....	20
2.2.5.3. Requerimientos hidráulicos:.....	21
2.2.5.4. Requerimientos químicos:.....	21
2.2.6. Materiales del shotcrete	21
2.2.7. Propiedades del agregado.....	24
2.2.8. Consideraciones de diseño para refuerzo del shotcrete.....	26
2.3. Fibras utilizadas en sostenimiento de labores mineras	28
2.3.1. Tipos de fibras	28
2.3.2. Propiedades de shotcrete con fibras.....	31
2.3.3. Ensayos para caracterizar el shotcrete con fibras.....	32
CAPÍTULO III:.....	35
ASPECTOS GENERALES DE LA MINA	35
3.1. Ubicación.....	35
3.2. Accesibilidad.....	36

3.3. Breve historia de la mina	36
3.4. Fisiografía y clima	37
3.4.1. Clima..	37
3.4.2. Precipitaciones	38
3.5. Flora y Fauna	38
3.5.1. Flora.....	38
3.5.2. Fauna	38
3.6. Geología.....	40
3.6.1. Geología regional	40
3.6.1.1. Estratigrafía	40
3.6.1.2. Tipo y formación del yacimiento	42
3.6.2. Geología estructural.....	44
3.6.2.1. Plegamiento y fractura miento.....	44
3.6.3. Geología local.....	44
3.6.4. Geología económica.....	44
3.6.4.1. Tipos de depósitos de minerales.....	44
3.6.4.2. Mineralogía	46
3.6.4.3. Alteraciones hidrotermales.....	46
3.6.4.4. Ley Cutt-off	46
3.6.4.5. Reserva mineral.....	47
3.7. Geomecánica	48

3.7.1. Clasificación geomecánica.....	48
3.7.1.1. Índice de calidad de la roca (RQD)	48
3.7.1.2. Clasificación de Barton (NGI) – Sistema Q	49
3.7.1.3. Clasificación Bieniawsky – INDICE RMR	53
3.7.1.4. Índice de G.S.I. (Geological Strength Índice)	58
3.7.2. Características de geomecánicas de la mina	59
3.7.2.1. Excavaciones subterráneas.	60
3.7.3. Mapeo geomecánica del Rp 565 Nv.23	63
3.7.4. Recomendación geomecánica en el Rp 565	65
3.8. Minería	66
3.8.1. Capacidad de producción	66
3.8.2. Métodos de explotación	66
3.8.2.1. Parámetros de diseño para subnivel stoping.....	67
3.8.3. Ciclo minado	68
3.8.3.1. Perforación	68
3.8.3.2. Voladura	70
3.8.3.3. Limpieza y Acarreo	73
3.8.3.4. Sostenimiento de las labores mineras.....	75
CAPÍTULO IV:	76
IMPLEMENTACIÓN DE LAS FIBRAS SINTÉTICAS CON SHOTCRETE	76
4.1. Especificación y ubicación de Rp 565.....	76

4.1.1. Ubicación de la Rampa 565	76
4.1.2 Dimensión de la rampa, sección, longitud, diferencia de cotas	77
4.2. Ensayos físicos del agregado	77
4.2.1. Granulometría	77
4.2.2. Módulo de fineza	81
4.2.3. Ensayo malla #200	82
4.2.4. Ensayo de humedad	83
4.2.5. Gravedad específica y absorción del agregado	84
4.3. Diseño del shotcrete con fibras sintéticas	86
4.3.1. Resistencia a la compresión requerida	86
4.3.2. Relación agua/cemento	87
4.3.3. Cantidad de cemento	87
4.3.4. Cantidad de agua	87
4.3.5. Cálculo de volúmenes absolutos.....	88
4.3.6. Aditivo hiperplastificante	89
4.3.7. Aditivo acelerante	89
4.3.8. Valores finales del diseño del shotcrete	90
4.3.9. Fibras macro sintéticas	90
4.3.10. Fibras metálicas.....	92
4.4. Control de calidad.....	94
4.4.1. Prueba de slump con fibra sintética	94

4.4.2. Ensayo de peso unitario y rendimiento	95
4.4.3. Ensayo de temperatura del concreto fresco	97
4.5. Resistencia de compresión del shotcrete con fibras sintéticas	98
4.5.1. Equipos y materiales.....	98
4.5.2. Procedimiento para resistencia iniciales	100
4.5.3. Determinación de la resistencia del shotcrete con fibras sintéticas	102
4.5.4. Ensayo con pistola Hilti DX 450 – Método B	104
4.6. Índice de rebote del shotcrete vía húmeda con fibras sintéticas	108
4.6.1. Técnicas para el lanzado de shotcrete.....	108
4.6.2. Aplicación para el lanzado shotcrete.....	108
4.7. Tiempo de ciclo de minado con shotcrete	111
4.8. Costos unitarios del shotcrete.....	111
CAPÍTULO V:	115
ANÁLISIS DE RESULTADOS	115
5.1. Análisis desde el punto de vista técnico.....	115
5.2. Análisis desde el punto de vista económico.....	115
5.3. Análisis desde el punto de vista de seguridad	116
5.4. Cuadros comparativos de los resultados	116
5.4.1. Fibras sintéticas vs fibra metálica	116
5.4.2 Diseño optimo con método a (penetrómetro digital).....	116
5.4.3 Resultados diseño con fibra sintética	117

5.4.4. Índice de rebote	117
5.4.5. Costos /m3	117
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	119
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA.....	120
ANEXOS	122

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	5
Tabla 2 Aplicaciones de shotcrete en áreas de trabajo.....	15
Tabla 3 Comparativo de shotcrete vía seca y vía húmeda.....	20
Tabla 4 Cuadro de graduación de agregado.....	22
Tabla 5 Parámetros de módulo de finura.....	25
Tabla 6 Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete.....	33
Tabla 7 Ruta de compañía minera Alpayana S.A.	36
Tabla 8 Reservas de mineral de la mina.....	47
Tabla 9 Valor de RQD y calidad de roca.....	49
Tabla 10 Valores de los parámetros del Sistema Q	50
Tabla 11 Clasificación de los parámetros y su evaluación.....	56
Tabla 12 Orientación de las discontinuidades.....	58
Tabla 13 Valores obtenidos de evaluación de Rp (-)565.....	66
Tabla 14 Cuadro de producción mensual.....	66
Tabla 15 Datos de TJ 445 – sección 61.....	71
Tabla 16 Parámetros de la voladura	72
Tabla 17 Dimensiones de rampa 565	77
Tabla 18 Ensayo de granulometría de la M-01	78
Tabla 19 Ensayo de granulometría de la M-02	79
Tabla 20 Ensayo de granulometría de la M-03	80
Tabla 21 Módulo de fineza del agregado.....	81
Tabla 22 Ensayo malla #200	82
Tabla 23 Ensayo contenido de humedad.....	83

Tabla 24 Gravedad específica y absorción del agregado.....	85
Tabla 25 Diseño del shotcrete con 4.0 kg/m ³ de fibra sintética	86
Tabla 26 Relación de resistencia y contenido de cemento.....	87
Tabla 27 Cálculo de los volúmenes absolutos de los materiales	88
Tabla 28 Pesos del diseño del shotcrete en seco.	88
Tabla 29 Características del aditivo hiperplastificante MACFLU 110	89
Tabla 30 Características del aditivo acelerante MACFREE PLUS.	90
Tabla 31 Diseño del shotcrete sin fibras	90
Tabla 32 Características de las macro fibras sintéticas plus 48 MYPHOR.....	91
Tabla 33 Diseño del shotcrete con 2.0 kg/m ³ de fibra sintética (FS-2).....	91
Tabla 34 Diseño del shotcrete con 4.0 kg/m ³ de fibra sintética (FS-4).....	91
Tabla 35 Diseño del shotcrete con 6.0 kg/m ³ de fibra sintética (FS-6).....	92
Tabla 36 Características de las fibras metálicas WIRAND FS3N.....	93
Tabla 37 Diseño del shotcrete con 10.0 kg/m ³ de fibra metálica (FM-10).....	93
Tabla 38 Diseño del shotcrete con 20.0 kg/m ³ de fibra metálica (FM-20).....	93
Tabla 39 Diseño del shotcrete con 30.0 kg/m ³ de fibra metálica (FM-30).....	94
Tabla 40 Resultados del slump con fibras sintética y fibra metálica	94
Tabla 41 Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete con el diseño FS-2 .	95
Tabla 42 Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete de diferentes diseños.	96
Tabla 43 Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro digital en Newton con el FS-2	103
Tabla 44 Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro digital en Mpa con el FS-2...	103
Tabla 45 Ensayo de resistencia inicial de los diferentes diseños del shotcrete (Mpa)..	103
Tabla 46 Ensayo de resistencia temprana con pistola Hilti DX 450 con el FS-2.....	104

Tabla 47 Ensayo de resistencia temprana de los diferentes diseños del shotcrete (Mpa)	105
Tabla 48. Resultados de resistencia a la compresión en probetas 4x8.	105
Tabla 49 Resultado de resistencia de compresión fibra sintética y metálica en kg/cm ²	106
Tabla 50 Resultados de resistencia a la compresión con testigos diamantinas.	107
Tabla 51 Resultado de resistencia de compresión en kg/cm ²	107
Tabla 52 Porcentaje de rebote para superficies de shotcrete vía húmeda	109
Tabla 53 Cálculo de % de rebote del shotcrete de fibra sintética	110
Tabla 54 Costo del diseño del shotcrete con 2.0 kg/m ³ de fibra sintética (FS-2)	112
Tabla 55 Costo del diseño del shotcrete con 4.0 kg/m ³ de fibra sintética (FS-4)	112
Tabla 56 Costo del diseño del shotcrete con 6.0 kg/m ³ de fibra sintética (FS-6)	112
Tabla 57 Diseño del shotcrete con 10.0 kg/m ³ de fibra metálica (FM-10)	113
Tabla 58 Diseño del shotcrete con 20.0 kg/m ³ de fibra metálica (FM-20)	113
Tabla 59 Diseño del shotcrete con 30.0 kg/m ³ de fibra metálica (FM-30)	114
Tabla 60 Cuadro de diseño de fibra metálica y sintética	116
Tabla 61 Cuadro de resistencia inicial	116
Tabla 62 Cuadro de diseño de fibra metálica y sintética	117
Tabla 63 Cuadro de comparación de rebote	117
Tabla 64 Cuadro de comparación de costos /m ³	117

Índice de Figuras

Figura 1 Equipo de shotcrete en 1907	13
Figura 2 Equipo de shotcrete en 1920	13
Figura 3 Shotcrete sostenimiento pasivo de Rompebanco y pilar del tajo 445 nv.18.....	15
Figura 4 Concreto vaciado en obras civiles de mejoramiento de comedor nv.14.	16
Figura 5 Método por vía seca.....	18
Figura 6 Método por vía húmeda.	19
Figura 7 Granulometría de agregado mínimo y máximo.....	22
Figura 8 Granulometría de agregado mínimo y máximo.....	23
Figura 9 Aplicación de shotcrete con refuerzo de malla	27
Figura 10 Diferencia de aplicación de shotcrete con malla y con fibras.....	28
Figura 11 Fibras metálicas	29
Figura 12 Fibras sintéticas en almacén interior mina.....	31
Figura 13 Diseño y partes de cono abrams.....	32
Figura 14 Procedimiento de ensayo de slump.....	33
Figura 15 Mapa de acceso de Cía. minera Casapalca.....	36
Figura 16 Historia de Casapalca	39
Figura 17 Mapa de geología regional.....	40
Figura 18 Estratigrafía.....	41
Figura 19 Procedimiento y cálculo para la medición del RQD	49
Figura 20 Tabla Geomecánica de GSI	59
Figura 21 Esquema sección transversal y longitudinales cuerpo Casapalca y Esperanza	61
Figura 22 Marcado del hastial de 1 metro lineal	63
Figura 23 Condición Estructural	64
Figura 24 Mapeo del macizo rocoso en Rp 565 sw Nv. 23.....	64

Figura 25 Presencia de agua en el macizo rocoso y empozamiento en Rp565.....	65
Figura 26 Método sub-level stoping 1.	67
Figura 27 Método sub-level stoping 2	67
Figura 28 Método sub-level stoping 3.	68
Figura 29 Chimenea 600 Nv 21.	69
Figura 30 Malla de perforación.....	70
Figura 31 Se observa la malla de perforación cargado de VCR	73
Figura 32 Se observa una sección de taladro positivos cargados	73
Figura 33 Inyección de perno helicoidal con equipo jumbo retracktril.....	75
Figura 34 Ubicación de rampa 565 en el plano	76
Figura 35 Curva granulométrica M-01.....	78
Figura 36 Curva granulométrica M-02.....	79
Figura 37 Curva granulométrica M-03.....	80
Figura 38 Ensayo de granulometría y módulo de fineza.....	82
Figura 39 Ensayo de humedad.	83
Figura 40 Ensayo del ensayo de humedad.	84
Figura 41 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado.....	85
Figura 42 Preparación y posicionamiento de equipo Alpha 20	86
Figura 43 Fibra metálica	92
Figura 44 Prueba de slump con fibras sintéticas	95
Figura 45 Prueba de slump con fibras metálicas.....	95
Figura 46 Ensayo del peso unitario del shotcrete.....	96
Figura 47 Control de temperatura de shotcrete	97
Figura 48 Fibra sintética.....	97
Figura 49 Penetrómetro digital	98

Figura 50 Paneles trapezoidales para muestras de ensayo.	99
Figura 51 Equipo de ensayo para hincado de clavo	100
Figura 52 Preparación de núcleos para ensayo de shotcrete endurecido.	100
Figura 53 Curva de calibración para penetrómetro digital.	101
Figura 54 Curva de calibración del fabricante.	102
Figura 55 Equipo putzmeister SPM. 4210 lanzando con fibra sintetica	102
Figura 56 Ensayo con penetrómetro digital.	104
Figura 57 Ensayo de la pistola Hilti DX 450 en los paneles trapezoidales.....	105
Figura 58 Curva de resistencia de compresión	106
Figura 59 Desarrollo de resistencia de shotcrete endurecido	107
Figura 60 Lanzado de shotcrete en la rampa principal del nivel 23	109
Figura 61 Manta para recolectar el rebote del shotcrete.	111
Figura 62 Costo del shotcrete por m3	114

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal implementar las fibras sintéticas en el shotcrete como un buen sostenimiento en la rampa principal 565, con la finalidad de evaluar la influencia y comportamiento de las fibras para incrementar el soporte de shotcrete, dando seguridad al trabajador en sus labores diarias.

El tipo de investigación es aplicada, ya que se toma de los conocimientos y las normas ASTM, UNE, ACI Y EFNARC para determinar la capacidad de absorción de energía del shotcrete, con la finalidad de aplicarlo en el campo donde será lanzado para el sostenimiento, el diseño es no experimental – transversal ya que los datos se tomaron en un solo momento en el campo sin cambiar variables.

Los resultados se obtuvieron mediante ensayos físicos del agregado y control de calidad dentro de los parámetros, lo que es resistencias tempranas en 1 hora se ha demostrado 0,97 Mpa y en 2 horas 2,1 Mpa, lo que es en resistencia a la compresión en 28 días 33,8 Mpa y lo que es en rebote 6,82% los cuales nos permitieron evaluar la implementación de fibras en el shotcrete para determinar la resistencia a compresión como un buen sostenimiento de la rampa principal 565 del nivel 23 en la Compañía Minera Alpayana

Por ello la presente tesis concluye que, mediante los resultados obtenidos, los diseños de shotcrete reforzado con fibras sintéticas es óptimo para construir el sostenimiento de la rampa del nivel 23.

Palabras claves: Sostenimiento, shotcrete, fibras, resistencia

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to implement the synthetic fibers in the shotcrete as a good support in the main ramp 565, in order to evaluate the influence and behavior of the fibers to optimize the quality of support, giving security to the worker in their work. daily.

The type of research is applicative, since it is taken from the knowledge and the ASTM, UNE, ACI and EFNARC standards to determine the energy absorption capacity of the shotcrete, in order to apply it in the field where it will be launched to build the support. , the design is non-experimental - cross-sectional since the data will be taken at a single moment in the field without changing variable samples.

The results obtained through physical tests of the aggregate, quality control and compression test, allowed us to evaluate the influence of fibers in the shotcrete to determine the compressive strength as a good support of the main ramp 565 of level 23 in the Alpayana mining company

For this reason, this thesis concludes that, based on the results obtained, our shotcrete design reinforced with synthetic fibers is optimal for building the support of the level 23 ramp.

Keywords: Support, shotcrete, fibers, resistance

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo implementar las fibras sintéticas en el shotcrete para el incremento de la resistencia en la Rp 565 principal, lo cual comprende de 5 capítulos de forma detallada para una mejor comprensión.

En el capítulo I, se detalla el planteamiento del problema, resaltando el problema general y los problemas específicos, también dándonos a conocer los objetivos de la investigación, para poder demostrar que tiene justificación e importancia del estudio y logrando explicar la hipótesis general y específicas.

En el Capítulo II, trata sobre el marco teórico, considerando los antecedentes del trabajo de investigación, teoría referente al shotcrete, fibras metálicas, fibras sintéticas y bases teóricas de tipos de esfuerzos.

En el capítulo III, se presentan los aspectos generales de la mina, las generalidades, donde se detalla la ubicación del proyecto de investigación, accesibilidad de la mina, así como la geología local, regional y económica.

En el Capítulo IV, detalla la implementación de las fibras sintéticas con shotcrete en la rampa 565, donde especifica los ensayos físicos de los agregados, control de calidad del shotcrete, su dosificación y resistencia a la compresión.

En el Capítulo V, se da a conocer el análisis de los resultados tanto desde el punto vista técnico, económico y de seguridad.

Finalmente se da a conocer las conclusiones y recomendaciones de la investigación, para finalmente referenciar la bibliografía de consulta y anexar aspectos importantes en la tesis.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

Actualmente la explotación del mineral en la mina subterránea es un trabajo muy complejo, ya que depende del avance de exploración, explotación, preparación y desarrollo de cuerpos mineralizados, hoy en día en la minería moderna se necesita prevenir los accidentes por caída de rocas más aun en minería subterránea, en la cual durante últimos años ha ocasionado numerosas perdidas vidas humanas.

En el desarrollo de la rampa principal 565 en el nivel 23 de la mina Casapalca se sostiene con pernos helicoidales y shotcrete vía húmeda con fibras metálicas de acuerdo al tipo de roca que se presenta, lo cual en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda no es eficiente ni seguro, ya que al tiempo de sostenimiento de shotcrete se presenta rajaduras y desprendimiento y lo que hace por necesidad es hacer un reforzamiento mejor con shotcrete para evitar accidentes de personas, equipos o materiales implica tiempo y costo, esto se da con los factores que se presenta en la profundización como la temperatura, humedad, esfuerzos, filtración de agua y voladura son factores influyentes.

De tal modo se requiere un sostenimiento seguro, reforzado y que sea rápido con el fin de prevenir el desprendimiento de roca y no dar inseguridad a los trabajadores y tampoco a la producción. La experiencia ha demostrado, que las fibras metálicas son adecuadas; pero dado el alto costo que ocasiona, además las condiciones geomecánica son variables, se plantea utilizar fibras sintéticas por ofrecer mejores resultados para las condiciones cambiantes.

Por tal motivo se debe de realizar pruebas de resistencia a la compresión del shotcrete vía húmeda con fibras sintéticas con un buen diseño para realizar una comparación con las fibras metálicas y para determinar si el shotcrete con fibras sintéticas es óptimo para el sostenimiento en la rampa 565 nivel 23 en Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿Cuál es el parámetro técnico-económico de la implementación de fibra sintética en el shotcrete en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el diseño óptimo del shotcrete con fibra sintética en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima?
- ¿Cuál es el diseño óptimo de resistencia de compresión del shotcrete con fibra sintética en el sostenimiento de la Rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima?
- ¿Cuál es el índice de rebote del shotcrete con fibra sintética en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Determinar los parámetros técnico - económico de la implementación de fibra sintética en el shotcrete en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el diseño óptimo del shotcrete con fibra sintética en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima.
- Determinar el diseño óptimo de resistencia de compresión del shotcrete con fibra sintética en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima.
- Reducir el índice de rebote del shotcrete con fibra sintética en sostenimiento de la Rampa 565 nivel 23, en la Cía. minera Alpayana Casapalca-Lima.

1.4. Justificación de la investigación

- A. Social:** El presente trabajo permitirá brindar un sostenimiento seguro, eficiente y reforzados en las diferentes labores de la mina dando seguridad a los trabajadores.
- B. Económico:** Con la instalación de un sostenimiento rápido, seguro y cumpliendo con el ciclo minado y la operación se va a generar mayor producción, lo cual elevará las ganancias económicas en la empresa minera.
- C. Académica:** Nos permitirá tener un mayor conocimiento sobre la resistencia a la compresión del shotcrete con fibras sintéticas.

A la vez permite también apreciar el comportamiento de las fibras en el shotcrete en el deterioro de la resistencia, todo esto nos faculta para establecer que dosis y tipo de fibra son las más adecuadas a emplear al momento de solucionar diversos problemas ingenieriles.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis principal

Con la implementación de la fibra sintética en el shotcrete permitirá una mejor aplicación, eficiente, económico y de gran calidad para el sostenimiento en la Rp 565 nivel 23, en Cía. Minera Alpayana Casapalca-Lima.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El diseño del shotcrete con fibra sintética es óptimo en el sostenimiento de la Rampa 565 del nivel 23, en la Cía. Minera Alpayana Casapalca-Lima.
- La resistencia de compresión de shotcrete con fibra sintética es óptimo en sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. Minera Alpayana Casapalca-Lima.
- Se reducirá el índice de rebote del shotcrete con fibra sintética en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cía. Minera Alpayana Casapalca-Lima.

1.6. Variables e indicadores

A. Variable Dependiente

X: Sostenimiento de la rampa principal 565 nivel 23

B. Variables Independientes

Y: Implementación de fibra sintética con shotcrete vía húmeda

Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables de estudio	Indicadores	Valores
Variable dependiente: Sostenimiento de la rampa principal 565 nivel 23	Mejorar calidad de sostenimiento	Kg/m ² , Mpa
Variables independientes: Implementación de fibra sintética con shotcrete vía húmeda	Calidad de rocas Diseño con fibra sintética, Resistencia a la compresión con fibra Índice de rebote y costos	RQD, RMR Kg/m ³ , kg, Lt Kg/cm ² %, S/

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicativo ya que se tomará conocimientos de las teorías, esta investigación buscará conocer para hacer, en el caso de la investigación se enfoca a resolver problema de la implementación de fibras sintéticas.

1.7.2. Nivel de investigación

Es de nivel de investigación descriptivo - explicativo, ya que se realizará un estudio a profundidad, buscando la causa y efecto de nuestro proyecto de investigación.

1.7.3. Población y muestra

1.7.3.1. Población

La población está dada por todas las labores subterráneas que requieren ser sostenidos en la mina, Alpayana (Casapalca).

1.7.3.2. Muestra

La muestra es la rampa principal 565 del nivel 23.

1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

1.7.4.1. Técnicas de recolección de la información

- a) Visita técnica al campo donde se va a recolectar la información.
- b) Observación directa al procesamiento del trabajo.
- c) Entrevista técnica al supervisor del área, así mismo a los trabajadores del área.
- d) Ensayos físicos de los agregados en el laboratorio y pruebas del concreto fresco de acuerdo a la norma ASTM (American Society for Testing and Materials).
- e) Diseño del shotcrete vía húmeda con fibras sintéticas de acuerdo a la norma ACI 211.
- f) Elaboración de las probetas mediante la norma ASTM
- g) Determinar la resistencia a la compresión del shotcrete vía húmeda mediante la norma ASTM.

1.7.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Para la evaluación del macizo rocoso: martillo o picota, flexómetro, tabla geomecánica G.S.I. (Índice de resistencia geológica), pintura y fichas técnicas.
- Equipos para ensayos físicos de agregados: balanza electrónica digital, juego de tamices (12,7 mm, 9,53 mm, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, tapa, fondo), olla Washington, recipiente de acero, estufa eléctrica, cono de absorción de arena.
- Equipos para resistencia del concreto lanzado: penetrómetro de aguja, pistola Hilti DX 450, panel prismático (0,50 m. x 0,30 m. x 0,15 m), clavos 103 mm, prensa hidráulica (capacidad de 250 000 libras), probetas de 4x8, termómetro digital, cronómetro, cono de Abram (0,20 m. x 0,10 m. x 0,30 m).
- Equipos para el índice de rebote del shotcrete: baldes y balanza digital.

1.7.5. Procesamiento y presentación de datos

Este método se refiere como va a ser interpretado los resultados obtenidos en los diferentes ensayos ya mencionados hecho por el investigador. Donde se llevó a cabo las normas técnicas A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials), A.C.I. 506 (American concrete institute), EFNARC y guía chilena del hormigón proyectado. Por lo consiguiente, estos resultados obtenidos se interpretaron mediante curvas vistas en unas tablas y gráficos, donde será interpretada según las bases de cada norma técnica, con el propósito para la severidad de la hipótesis planteada y el cumplimiento de los objetivos, para llegar a las conclusiones del trabajo de investigación.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel nacional

- a) En el proyecto de investigación realizada por León (2018), ***“Evaluación y 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”*** destaca que, “La presente tesis responde al problema ¿Cuál es la evaluación del resultado de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – Xc 750W en la unidad cuerpo Mery – compañía minera Casapalca 2017? y tiene como objetivo determinar la evaluación del resultado de la aplicación de shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la unidad cuerpo Mery - compañía minera casapalca 2017. También como hipótesis: los resultados en la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método incide en el sostenimiento del Nv. 6 – XC 750W en la unidad cuerpo Mery – compañía minera casapalca 2017. El método de investigación es científico, el tipo de investigación es aplicada con diseño correlacional simple. El resultado de la evaluación de la aplicación del shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 –XC 750W en la unidad cuerpo Mery se basa en minimizar el

craquelamiento de los hastiales, la caja techo del XC 750W, y brindando seguridad a los trabajadores de la unidad cuerpo Mery (Tesis de pre - grado). Universidad continental.

- b) En el proyecto de investigación realizada por Tapia (2017). **“Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – Inpecon SAC – mina Chipmo CIA minera Buenaventura unidad Orcopampa.”** concluye que, “Al realizar el cambio de diseño de shotcrete de 10 a 9 bolsas de cemento de 42,5 kg/cm², se hicieron varias pruebas donde cumplen con la resistencia a la compresión mínima, Logrando obtener una resistencia a la compresión promedio de 223,06 Kg/cm² y un ahorro promedio de S/. 3,68 por m², estos resultados de laboratorio fueron analizados por el área de control de calidad y los precios unitarios fueron evaluados por el área costos y productividad de INPECON SAC.”. (Tesis de pregrado). Universidad nacional San Agustín de Arequipa.
- c) En la tesis realizada por Ramos (2017). **“Diseño de la mezcla del concreto convencional y concreto lanzado (shotcrete) para obtener un concreto de buena calidad; en la compañía minera Volcán S.A. unidad Andaychagua.”** Resume que, “Se ha realizado con la intención de determinar y eliminar los factores de un diseño de mezcla de shotcrete no tan efectivo en las labores de la Empresa e implementar un diseño el cual cumpla con los parámetros de seguridad dentro de un proceso de mejora continua.” (Tesis de pregrado). Universidad nacional Daniel Alcides Carrión.

2.1.2. A nivel internacional

- a) Ante lo expuesto a continuación se detalla los antecedentes internacionales como en la tesis de Muñoz (2018) en su tesis **“Validación del método de muestreo y ensayo de la norma coguanor NTG 41013 H1 y H3 (concreto lanzado)”** de la universidad San Carlos de Guatemala, concluyó que aplicando las fibras en el shotcrete (concreto lanzado) es de gran utilidad para un gran beneficio de las propiedades de tenacidad

tracción. La propiedad de tracción se determinó por los resultados de los ensayos obtenidos de tracción indirecta, por la acción de las fibras que genera mejor adherencia, pero para la propiedad de compresión se demuestra a través de los resultados que el ensayo no es factible para el shotcrete (concreto lanzado), por tal motivo los resultados con menor cantidad de fibras son menores a los que no poseen fibras y los que contiene mayor cantidad de fibras son muy dispersos, por lo que no se distribuye en su totalidad de toda la mezcla, por tal motivo es dificultoso determinar exactamente la resistencia a compresión.

- b) También tenemos en el trabajo de investigación de Linares (2018) en la **“Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado, correlación entre método normado UNE-EN 14488-2 y método alternativo”**, de la Universidad de Chile destacó que el shotcrete es una mezcla especial, por tal motivo requiere características especiales a comparación de los concretos convencionales. Por lo mencionado anteriormente el shotcrete tiende a una dosificación acorde al especificado y con la finalidad de lograr resistencias altas a edades tempranas. Por lo tanto, el lanzado de shotcrete es de vital importancia, ya que puede comprometer a corto y largo plazo la resistencia del mismo.
- c) Luego, en la tesis de Hidalgo (2017) en la **“Evaluación de parámetros incidentes en la respuesta post agrietamiento del hormigón proyectado reforzado con fibras de polipropileno”** de la Universidad de Chile se concluyó que, para cumplir con la funcionalidad estructural de hormigones fibra reforzados, es necesario que en el diseño se consideren altas dosis de fibra de polipropileno. Específicamente, en los resultados se obtuvo que una dosis de 8 [kg/m³] de fibra de polipropileno entrega funcionalidad estructural al hormigón, y que cantidades más pequeñas de 6 [kg/m³] son aptas en grados de resistencia del orden de G30 y G40, mientras que en mezclas con mayores resistencias la funcionalidad depende del criterio con el que se analice, lo mismo sucede

para hormigones G20. En definitiva, a partir de los resultados finales a los que se llegaron, se deduce que una dosis alta de fibra de polipropileno en un concreto con resistencias a compresión del orden de 30 [MPa] a 40 [MPa] y que, por supuesto, tenga propiedades de hormigón proyectado, asegura un comportamiento estructural frente a solicitaciones, ya que, bajo estas condiciones mínimas, ambos materiales adoptan cierto desempeño como el del hormigón reforzado, y para otros grados de resistencia y/o dosis de fibra de polipropileno, es recomendable evaluar caso por caso.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sostenimiento de labores mineras subterráneas

El sostenimiento de labores mineras, está definido como el medio para contrarrestar el efecto de las presiones producidas o generadas por la abertura de una vía bajo tierra, que requiere de materiales, herramientas y elementos.

2.2.1.1. Tipos de sostenimiento

Actualmente en minería subterránea se emplean diversos tipos de sostenimiento para poder compensar la actividad en el macizo rocoso y poder seguir realizando los trabajos de exploración, desarrollo, preparación y explotación, para lo cual se utilizará sostenimiento pasivo o activo

a) Sostenimiento activo (refuerzo)

Viene a ser un refuerzo adicional al macizo rocoso donde el sostenimiento en si forma parte del macizo rocoso, principalmente contamos con pernos de anclaje, pernos helicoidales, Swellex, Split set y cables Bolting.

b) Sostenimiento pasivo (soporte)

Viene a ser aquel elemento de sostenimiento externo al macizo rocoso y que dependen del movimiento interno de dicho macizo, estará en contacto con el perímetro excavado contamos con mallas electrosoldadas, cimbras, cuadros de madera y lanzamiento de shotcrete.

2.2.1.2. Factores que intervienen en el tipo de sostenimiento

La geomecánica es la encargada de conceptualizar la vida económica junto con el beneficio económico respetando la seguridad según parámetros aceptables, lo cual repercute en la decisión del tipo de sostenimiento a emplear.

El comportamiento del macizo rocoso depende de la presencia de carbonatos (material arcilloso que procede de la etapa de formación de la roca), dichas arcillas proviene de una formación secundaria es decir una alteración hidrotermal; por lo cual estas ocasionaran un desgaste o deterioro prematuro de la calidad de la roca por ende del mineral, por otro lado la constante absorción de agua subterránea contribuye en la disminución de la resistencia de la roca y el incremento de las presiones sobre las paredes.

- El agua.
- Condición geológica (Alteraciones, resistencia de la roca, falla, orientaciones de las discontinuidades).
- Esfuerzos tensionales (carga litostáticas).
- La forma, el tamaño y las excavaciones (secciones mayores a 3 x 3 m).
- La voladura.
- El tiempo de exposición abierta de las excavaciones.

2.2.2. Historia del shotcrete

Según Aragón y Cornejo (2017), el primer hito en la historia del shotcrete ocurrió en 1907 cuando el taxidermista, escultor, biólogo, conservacionista, inventor y fotógrafo estadounidense Carl Ethan Akeley inventó una máquina para reparar la fachada del “Field Museum” de Chicago, esta máquina permitía que los materiales secos fueran aplicados neumáticamente agregando agua a la salida.

Debido a los taponamientos iniciales del primer prototipo de Plastergun (pistola de escayola) Akeley opta finalmente por un diseño basado en el concepto de doble cámara bajo presión alterna que bombea material a una manguera, como apreciamos en la figura N°1 y N°2

Figura 1 Equipo de shotcrete en 1907



Fuente: Aragón y Cornejo, 2017.

La máquina inventada por Akeley fue copiada rápidamente por otros fabricantes, quienes empezaban a comercializar esta máquina con el nombre “Cement Gun”.

En 1912, “Cement Gun Company” compra la patente de Akeley para el uso de ‘gunita’, como Akeley la denomina, y comienza su uso en la industria de la construcción. Entre las primeras aplicaciones del shotcrete está el revestimiento del Hunter’s Brook Siphon en Catskills, un proyecto hidrográfico de la New York Water Supply que transportaba agua de la región hasta la ciudad de Nueva York y otras aplicaciones como el revestimiento antincendios de minas.

Figura 2 Equipo de shotcrete en 1920



Fuente: Aragón y Cornejo, 2017.

A inicios de 1930 nació el término “shotcrete” (Concreto Proyectado) difundido por el “American Railway Engineering Association (Asociación Americana de Ingenieros Ferrocarriles) con el objeto de describir el proceso de “gunitado”.

Con el paso del tiempo las máquinas de shotcrete fueron mejoradas constantemente y en 1955 tiene lugar el mayor avance, con la introducción del nuevo proceso, denominado “Vía Húmeda”, en la que los componentes del concreto se mezclan con agua antes de llegar a la manguera.

En 1966, el ACI (Instituto Americano del Concreto) adopta el término “shotcrete” para todas las aplicaciones neumáticas de mortero y concreto incluyendo vía húmeda y seca.

El shotcrete con fibras de acero se colocó por primera vez en Estados Unidos a principios de 1971 en trabajos experimentales dirigidos por Lankard. Posteriormente las primeras aplicaciones se hicieron en un túnel en Ririen Dam en 1973, en 1977 los noruegos Comenzaron a utilizar la fibra metálica y los equipos remotos en gran escala, desde entonces el shotcrete reforzado con fibra de acero ha sido utilizado alrededor del mundo.

El shotcrete proyectado con micro fibras sintéticas se colocó por primera vez en Europa en 1968. Las microfibras sintéticas para shotcrete fueron desarrolladas a mediados de 1990 y han sido usadas desde entonces.

2.2.3. Sostenimiento con shotcrete en nivel internacional

Según (La guía chilena del hormigón proyectado 2015) define que el hormigón proyectado es una forma eficiente de colocación de hormigón y posee excelente adherencia a múltiples sustratos, incluyendo roca, hormigón, albañilería y acero. Se adapta a una amplia gama de aplicaciones en soporte de suelo, revestimientos y edificación. Las principales ventajas del hormigón proyectado son:

- La colocación y compactación se efectúan en una sola etapa.
- Los moldajes generalmente no son necesarios.

- Permite un rápido proceso de colocación y puesta en servicio.
- En obras de sostenimiento o tunelería permite acortar los ciclos de trabajo.

El hormigón proyectado, correctamente diseñado y aplicado, permanece en su lugar sin hundimiento inclusive en paredes verticales o aplicaciones sobre cabeza. Es muy adecuado en áreas de acceso limitado, usando equipos pequeños, móviles y portables. El hormigón proyectado puede ser aplicado a través de equipos operados remotamente o por pitoneros, como apreciamos Figura N°3,4 y también se realiza mejoramiento de piso vaciado en obras civiles.

Tabla 2

Aplicaciones de shotcrete en áreas de trabajo

Aplicaciones del shotcrete	
Tunelería	Canales y embalses
Cavernas	Estabilización de taludes
Soporte de suelo en minería	Piscinas
Excavaciones subterráneas	Reparación, restauración y reforzamiento
Edificación	Protección contra el fuego
Estructuras civiles complejas	Acabos decorativos

Fuente: ACI 506R, 2016

Figura 3 Shotcrete sostenimiento pasivo de rompe banco y pilar del tajo 445 nv.18.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Concreto vaciado en obras civiles de mejoramiento de comedor nv. 14.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.2.4. Sostenimiento con shotcrete

2.2.4.1. Shotcrete

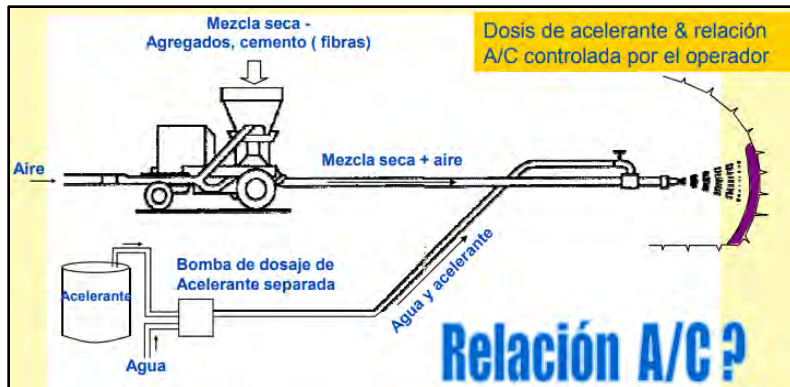
Según Muños (2019) El término concreto lanzado se utiliza para referirse a “Un concreto o mortero transportado por una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad en una superficie”. Simplemente dicho, el concreto lanzado es concreto o mortero rociado. Si la mezcla que se va a lanzar cuenta sólo con agregados finos, se le llama mortero lanzado, y si los agregados son gruesos se le denomina concreto lanzado. Es una técnica utilizada para colocar concreto con la velocidad suficiente para adquirir una adecuada compactación. Existen dos procedimientos para el lanzamiento de concreto: vía seca y vía húmeda. Algunos contratistas utilizan el término “gunite” para describir el proceso por la vía seca, y “concreto lanzado” para describir el proceso de la vía húmeda. Tal uso es incorrecto y está en conflicto con el Instituto Americano del Concreto (Por sus siglas en ingles American Concrete Institute “ACI”) y la Asociación de Cemento de Portland (Por sus siglas en ingles Portland 48 Cement Association “PCA”). El Concreto lanzado, tanto por la vía seca o húmeda, es el término correcto para describir todo el concreto o mortero rociado. El concreto lanzado es similar a un concreto convencional de alta calidad, con respecto a sus propiedades. Típicamente tiene una baja relación agua / cemento (a/c), normalmente el material fresco colocado tiene un revenimiento cero y puede sostenerse

por sí mismo sin escurrirse. El concreto lanzado también puede colocarse hacia arriba, en una sola operación en plafones, en espesores hasta de 50 mm. Adquiere algunas de sus propiedades únicas en el proceso de colocación, ya que es compactado simultáneamente al impactar la superficie. El Concreto lanzado es quizás el método más diverso disponible para la construcción con concreto. Los procedimientos para su funcionamiento apropiado están bien desarrollados, y el trabajo de alta calidad se obtiene regularmente. El funcionamiento confiable, sin embargo, requiere que los diseñadores y los constructores entiendan y empleen los procedimientos apropiados para el uso individual.

2.2.4.2. Método por vía seca

Según León (2018) En la proyección de shotcrete por vía seca únicamente se mezclan los materiales secos, y la mezcla se transporta por mangueras mediante aire comprimido; el agua necesaria para la hidratación es aplicada en la boquilla. En el método por vía seca se puede agregar un acelerante bien en la boquilla (como un líquido) o bien se puede agregar al material seco como polvo antes del bombeo. El método por vía seca genera una gran cantidad de polvo en el ambiente que conlleva riesgos para la salud de los operadores a largo plazo. Además, como la proyección manual para el operador es muy exigente físicamente, no se puede concentrar al 100% en la calidad del acabado. La tecnología de este tipo ha tenido un desarrollo siendo netamente artesanal, es variable en la calidad de depender de la voluntad del operador la aplicación del agua y la relación agua/cemento; el rebote irregular muestra una estructura de gradación discontinua y finalmente la compatibilidad entre los diversos tipos de cemento y los acelerantes ultrarrápidos ha sido un problema de difícil solución

Figura 5 Método por vía seca.



Fuente: Diaz, 2014 UNICON.

a) Ventajas de método vía seca

- Los equipos son más pequeños y adaptables a las limitaciones de espacio físico de las labores.
- En la boquilla se tiene control del agua y de la consistencia de la mezcla.
- Velocidad de proyección alta 80 -100m/s.
- Transportable a mayor distancia
- El shotcrete trabaja rápidamente en zonas con flujo de agua y alcanza buena resistencia.

b) Desventajas de método vía seca

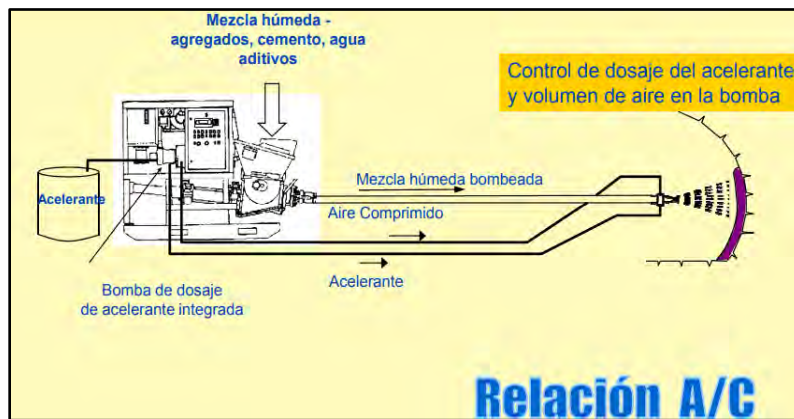
- El tiempo de lanzado es más lento requiere cuatro trabajadores como mínimo.
- Mayor polución, requiere de EPP adecuados.
- No adecuado para labores de secciones 4.0 x 4.0m.

2.2.4.3. Método por vía húmeda

Según Torres (2016) Con el método húmedo es más fácil producir una calidad uniforme a lo largo del proceso de proyección. La mezcla preparada se vacía en una bomba y se impulsa a presión a través de la manguera (Transporte caudaloso). En la boquilla, al final de la manguera se añade aire al hormigón en una proporción de 7 – 15 m³/min y a una presión de mayor 4 bar.

La proyección se realiza mecánicamente. El aire se añade para aumentar la velocidad del hormigón y conseguir así una buena compactación y una buena adherencia al sustrato/superficie. Es necesario que se utilice suficiente aire. Para la proyección se requiere un mínimo de 12 m³/min. Junto con el aire hay que añadir en la boquilla acelerante líquidos de fraguado. Con esto conseguimos y producimos shotcrete vía húmeda que tiene una resistencia a la compresión a los 28 días superior a 30 MPa.

Figura 6 Método por vía húmeda.



Fuente: Diaz,2014 UNICON.

a. Ventajas del método de vía húmeda

- Bajo rebote (5 – 10%): Con el uso de equipos apropiados y de personal capacitado, se obtienen pérdidas normales que oscilan entre 5 y 10 %, incluso para el caso de proyección de concreto reforzado con fibras.
- Mejor ambiente de trabajo, debido a la reducción del polvo.
- Capas gruesas debido a la efectiva mezcla de materiales.
- Control de la relación agua/cemento y calidad. Dosificación controlada del agua (relación agua/cemento constante y definida).
- Mayor capacidad de producción (30m³ en 8 horas).
- Uso de fibras sintéticas o de acero y posibilidad de utilizar nuevos y avanzados ingredientes/aditivos.

- Economía mejorada en la aplicación del hormigón proyectado.
- Mejor adherencia.
- Mayor resistencia a la compresión y uniformidad de resultados.

Tabla 3

Comparativo de shotcrete vía seca y vía húmeda

Método vía seca	Método vía húmeda
<ul style="list-style-type: none"> • Control instantáneo sobre el agua de mezclado y consistencia de la mezcla en la boquilla para cumplir con las condiciones variables del lugar 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua de mezclado se controla en el equipo de entrega y puede ser medida con precisión
<ul style="list-style-type: none"> • Más apropiado para mezclas que contengan agregados livianos, materiales refractarios y concreto que requiera resistencia temprana 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor seguridad de que el agua de mezclado es completamente mezclada con el resto de los ingredientes
<ul style="list-style-type: none"> • Puede transportarse a largas distancias 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos polvo y pérdida de cemento
<ul style="list-style-type: none"> • Mejor control del inicio y parado de la colocación con menor desperdicio y mayor flexibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Por lo regular, menor rebote, y con ello, menor desperdicio de material
<ul style="list-style-type: none"> • Baja producción de 6 m³ por guardia 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta producción de 30 m³ por guardia

Fuente: Rojas Acurio 2021.

2.2.5. Requerimiento de la capa de shotcrete

Según Flores (2015) afirma:

2.2.5.1. Requerimientos mecánicos:

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

2.2.5.2. Requerimientos físicos:

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

2.2.5.3. Requerimientos hidráulicos:

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

2.2.5.4. Requerimientos químicos:

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

2.2.6. Materiales del shotcrete

a) Cemento

Según Ortega (2020) El cemento más utilizado para el shotcrete en nuestro país es el cemento portland puzolánico de alta resistencia, en nuestro trabajo de investigación se usó cemento portland tipo 1, del cemento su base principal es la de actuar como un “aglomerante” en las mezclas de shotcrete que fija y une las partículas de los agregados a través de composición. Adicionalmente el cemento es también el lubricante principal de la mezcla de shotcrete, tiene un fraguado hidráulico, en consecuencia, es gran parte responsable de las propiedades físico-mecánicas del shotcrete. Uno de los requisitos del cemento para el shotcrete es que siempre tiene que tener tiempos de fraguado rápido para así producir una muy alta resistencia a edades tempranas, los cementos de tipo I debe cumplir con la norma ASTM C-150. En la unidad minera Alpayana utilizamos cemento andino (big bags) con un peso de 1500 kg.

b) Agregado

Según Rojas (2021) Los agregados en la mezcla de concreto están en un 75 por ciento pese a su comportamiento pasivo. La característica física de los agregados principalmente de su

forma geométrica es de mucha importancia. La granulometría de la arena debe cumplir con la gradación N° 02, según ACI 506 guía de shotcrete, en la siguiente tabla 4 se especifica cada gradación de los diferentes agregados, y en la figura 5 nos representa la granulometría de agregado mínimo y máximo.

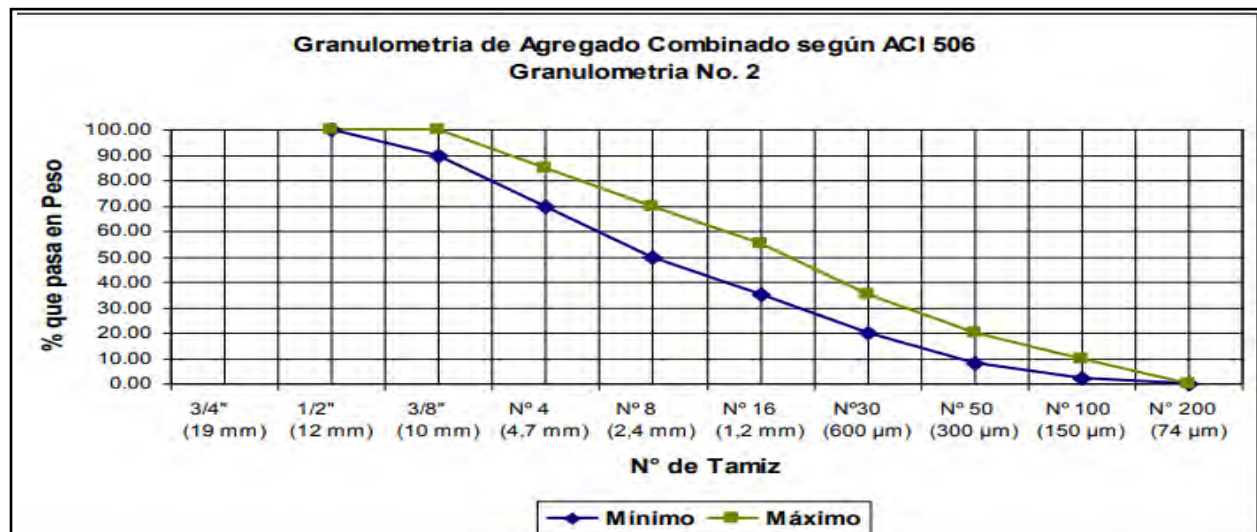
Tabla 4

Cuadro de graduación de agregado

Malla	Porcentaje que pasa en peso por malla individual		
	Graduación N°1	Graduación N°2	Graduación N°3
3/4" (19 mm)	-	-	100
1/2" (12 mm)	-	100	80 – 95
3/8" (10 mm)	100	90 – 100	70 – 90
N°4 (4,75 mm)	95 – 100	70 – 85	50 – 70
N°8 (2,4 mm)	80 – 100	50 – 70	35 – 55
N°16 (1,2 mm)	50 – 85	35 – 55	20 – 40
N°30 (600 µm)	25 – 60	20 – 35	10 – 30
N°50 (300 µm)	10 – 30	8 – 20	5 – 17
N°100 (150 µm)	2 - 10	2 - 10	2 – 10

Fuente: ACI 506R, 2016.

Figura 7 *Granulometría de agregado mínimo y máximo.*



Fuente: ACI 506R, 2016.

c) Agua

Según Ortega (2020) El agua debe ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto y acero. Para el lanzamiento del agua deberá llegar a una válvula que está instalada en la boquilla a través de una manguera de alta presión, que deberá estar enlazado a la alimentación principal. Esta presión debería ser conveniente para el equipo.

d) Relación agua/cemento

Según Ortega (2020) Se definirá la relación agua/cemento como inferior en cualquier caso a 0,4 – 0,5, empleando para ello aditivos superplastificantes/reductores de agua de alta actividad. Por otra parte, trabajar con relaciones agua/cemento elevadas implica una mala calidad y baja resistencia mecánica del concreto como se muestra en la figura 9 y demanda una mayor dosificación de acelerante.

Figura 8 Granulometría de agregado mínimo y máximo.



Fuente: Díaz, 2014 UNICON.

e) Aditivo hiperplastificante

Según Rojas (2021) Macflu 110 es un poderoso hiperplastificante para concretos y morteros, pertenece a una nueva generación de aditivos basados en la tecnología de polímeros

(éteres policarboxílicos). Este aditivo está diseñado para obtener una resistencia alta del concreto en los primeros días del proceso de fraguado al reducir la cantidad de agua (fraguado) y que a la vez permite un slump favorable que permite trabajar, como también un prolongado mantenimiento de la fluidez, con los agregados finos, permite obtener un alto grado de cohesión, permitiendo optimizar el concreto lanzado. Este aditivo cumple con la especificación ASTM C 494 tipos A y F.

Ventajas y desventajas

- Reduce el agua e incrementa la cohesión del concreto.
- Alta Impermeabilidad.
- Mejora la plasticidad y disminuye la contracción plástica.
- Mantiene la fluidez por mayor tiempo (reduce el tiempo de fraguado) sin variar el fraguado.

f) Acelerante

Según Ortega (2020) La finalidad es conseguir cortos períodos de tiempo para el fraguado inicial, y una rápida adherencia a la superficie a cubrir y características mecánicas elevadas. Es un aditivo líquido cuya dosificación puede variar para obtener los tiempos de fraguado y resistencias iniciales deseados. Cumple con la especificación ASTM C 494.

g) Fibras

Las fibras en mortero y hormigones mejoran sus características mecánicas.

- Aumenta la resistencia a la rotura.
- Aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura.
- Mejora el comportamiento a la flexo-tracción.
- Aumenta la durabilidad.

2.2.7. Propiedades del agregado

a) Curva granulométrica

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

$$\% \text{ retenido parcial} = \frac{(\text{Peso retenido en cada malla})}{\text{Peso inicial}} \times 100\% \quad [1]$$

b) Módulo de fineza

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

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

Tabla 5

Parámetros de módulo de finura.

Arena	Módulo de fineza
Muy fina	< 2.0
Fina	2,0 – 2,3
Medio Fina	2,3 – 2,6
Media	2,6 – 2,9
Media Gruesa	2,9 – 3,2
Gruesa	3,2 – 3,5
Muy Gruesa	> 3,5

Fuente: ACI 506R, 2016.

c) Ensayo malla #200

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

$$\% \text{ material pasante} = \frac{\text{Muestra seca original} - \text{Muestra seca luego de lavado}}{\text{Muestra seca original}} \times 100\% \quad [3]$$

d) Gravedad específica y absorción

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

e) Contenido de humedad en el agregado

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

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso muestra original} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100\% \quad [4]$$

2.2.8. Consideraciones de diseño para refuerzo del shotcrete

a. Shotcrete sin refuerzo

Según Rojas A. (2021) El shotcrete sin refuerzo se emplea en aquellas aplicaciones donde sólo exista compresión o sin cargas solicitantes significativas.

b. Refuerzo convencional

Según Rojas A. (2021) El refuerzo convencional comprende de barras de acero, mallas electrosoldadas, cables de postensado. Los elementos de concreto proyectado convencionalmente reforzado pueden ser diseñados de acuerdo con las normas de diseño de concreto armado en las normas correspondientes.

Figura 9 *Aplicación de shotcrete con refuerzo de malla*



Fuente: Aragón y Cornejo, 2017.

c. Refuerzo de shotcrete con fibras

Según Rojas A. (2021) Las fibras se incorporan al shotcrete por razones distintas al refuerzo estructural, tales como el control de rebote, la fisuración por retracción plástica y para mejorar la resistencia al fuego.

El rol estructural de la fibra de refuerzo en el shotcrete es proporcionar tenacidad, es decir la capacidad de carga después del agrietamiento.

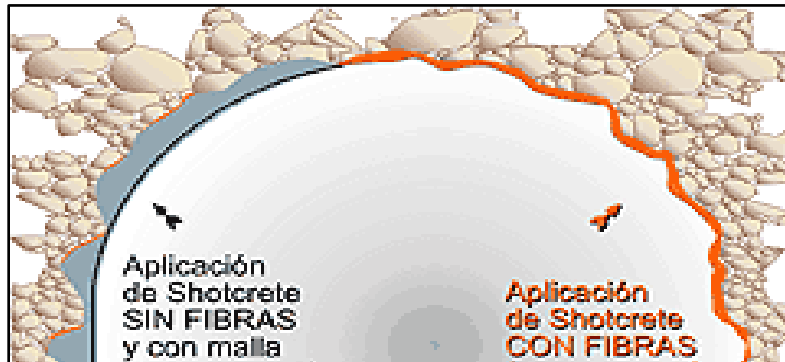
La tenacidad describe la capacidad del shotcrete reforzado con fibra para mantener y potencialmente redistribuir las cargas después de la fisuración.

En un diseño determinista, el sistema estructural con concreto proyectado se diseña de manera idealizada para no agrietarse.

La tenacidad se cuantifica en términos de la capacidad de carga o de la absorción de energía post agrietamiento, la que se evalúa a través de vigas o paneles. Las mediciones de la

capacidad de carga posterior a la fisuración, en una viga o panel de prueba se utiliza para cuantificar la capacidad del concreto con fibra agrietado para soportar las solicitaciones de carga.

Figura 10 Diferencia de aplicación de shotcrete con malla y con fibras



Fuente: Aragón y Cornejo, 2017.

2.3. Fibras utilizadas en sostenimiento de labores mineras

2.3.1. Tipos de fibras

A. Fibras metálicas

Según Rojas A. (2021) Las fibras de acero presentan claras ventajas por sobre la malla, debido a que son pequeñas y distribuidas uniformemente a través de toda la capa de hormigón. El hormigón reforzado con fibra de acero, al ser un material viscoso, ofrece una mejor distribución de fisuras y tensiones. La razón principal para el uso de fibras de acero en el hormigón proyectado es aumentar la ductilidad del material, la ductilidad está en función del tipo y cantidad de fibras.

Existen varios tipos y calidades de fibras de acero disponibles en el mercado por lo que los parámetros críticos e importantes, relacionados con las fibras de acero son:

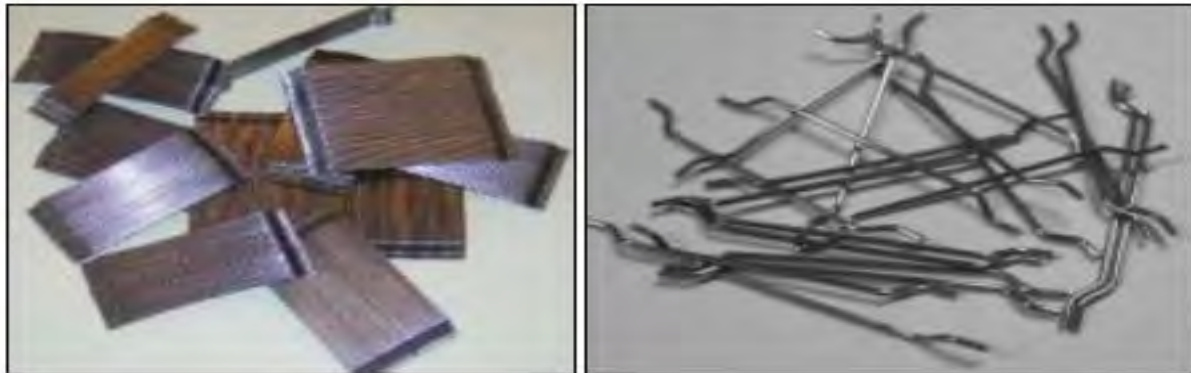
- Geometría de la fibra.
- Longitud de la fibra.
- Longitud / espesor (L / D).
- Calidad del acero.

La longitud de las fibras de acero no debe ser superior a $\frac{2}{3}$ del diámetro interno de los tubos o mangueras a utilizar, a menos que se haya demostrado en un ensayo, que las fibras más largas puedan proyectarse sin obstrucción.

Ventajas de las fibras de acero. Mediante la sustitución de malla de alambre electrosoldada por fibras de acero, se evita el tiempo y la peligrosa operación de instalación de malla. Las fibras de acero ahorran dinero y tiempo a través de:

- Ahorro en los costos directos de las fibras de acero: 50 a 60% del costo directo de refuerzo de malla (mano de obra más material).
- Ahorro en costes indirectos: aplicación de hormigón proyectado en dos capas necesaria por el uso de malla de alambre puede ser evitado.
- Ahorro de hormigón proyectado con fibras: el espesor requerido del hormigón proyectado se puede aplicar sobre toda la superficie, independiente de la irregularidad del sustrato. El aumento de rebote debido a la vibración generada sobre la malla de alambre y el efecto de sombra detrás de la malla se evita.

Figura 11 *Fibras metálicas*



Fuente: Rojas, 2021.

B. Fibras sintéticas (poliméricas)

Según Rojas A. (2021) Las fibras cortas de polímeros son resistentes y durables en el hormigón. Para aplicaciones en las que sólo se requiere un refuerzo contra la retracción plástica, se pide (al igual que en la reparación de concretos), una fibra de polímeros. Estas son muy eficientes en la distribución de micro-fisuras durante la fase plástica de endurecimiento y además ayudan a reducir el rebote en la proyección de vía húmeda. Además, las fibras de polímero tienen una influencia positiva en casos de incendio, ya que reducen el desprendimiento (spalling) del hormigón.

Las ventajas adicionales de las nuevas fibras poliméricas son:

- Si la corrosión es una preocupación en secciones fisuradas, el uso de fibras poliméricas podría ser la mejor opción si la fluencia (creep) es manejable.
- Reducción de las tasas de rebote de fibra.
- Menor desgaste de las piezas de proyección (placa de desgaste, cilindros de la bomba, mangueras y boquilla).
- Más económico que con fibras de acero a deflexiones medianas (20 - 40 mm).
- Las fibras poliméricas proporcionan una resistencia similar que las fibras de acero, para soportar deformaciones. La fluencia sólo se convierte en un problema cuando aparecen fisuras en el hormigón proyectado. Si se desarrolla una fisura en el hormigón reforzado con fibras, se crea la posibilidad de corrosión y pérdida de rendimiento de la ductilidad. Si la carga continúa, la energía de la carga continuará para ser absorbido, pero hay un riesgo de rotura repentina. Si se desarrolla una fisura en el hormigón armado con fibra polimérica, no hay riesgo de corrosión. Si continúan las cargas, las fibras se estirarán en lugar de cortarse repentinamente, y al hacerlo siguen absorbiendo la energía de carga.

Figura 12 *Fibras sintéticas en almacén interior mina*



Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Propiedades de shotcrete con fibras

Ventajas:

- Capacidad de colocación superior.
- El operador se encuentra lejos del frente de trabajo de manera segura.
- Consto unitario bajo por la gran producción.
- Rebote entre 5% y 10%.
- Menor presencia de polvo en suspensión, por ende, mejores condiciones.
- Optima aplicación de fibras, sin aumento en el rebote.
- Método ideal para superficies de gran dimensión.
- Para operar del equipo se requiere solo de dos personas.
- Equipos robotizados tiene facilidad de traslado es decir opera en varios frentes.

Desventajas:

- Línea de descarga limitada por su largo.
- Equipos de mayor costo (robots).
- Requiere mayor entrenamiento para el operador.
- Se deberá contar con vías en buen estado para su traslado.

2.3.3. Ensayos para caracterizar el shotcrete con fibras

Según Rojas A. (2021)

a) Ensayo para determinar el asentamiento y temperatura

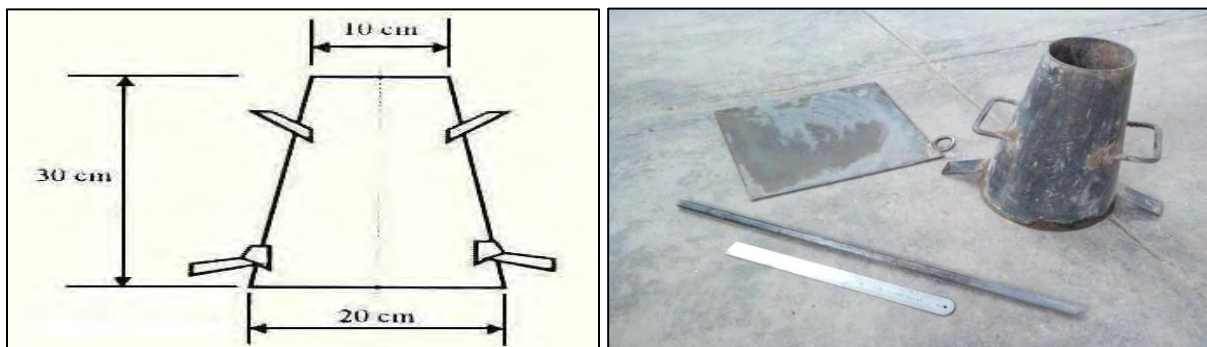
De acuerdo a la norma ASTM C 143, tiene la función de medir la consistencia de concreto en estado fresco, está relacionada con la cantidad de agua y cantidad de aditivos que presenta, para ver si está en estado plástico o fluido.

La norma ASTM C 1064, nos brinda el procedimiento para medir la temperatura del concreto en estado fresco, así mismo recomienda que la temperatura debe estar en un rango de 13 °C a 32 °C.

➤ Equipos

Se utiliza un molde con una superficie lateral de un tronco de cono con un diámetro de 20 cm en la base inferior, un diámetro superior de 10 cm, una altura de 30 cm y una varilla de acero de 1,6 cm de diámetro con 60 cm de longitud con punta redondeada y una regla metálica.

Figura 13 Diseño y partes de cono abrams.



Fuente: Rojas Acurio 2021.

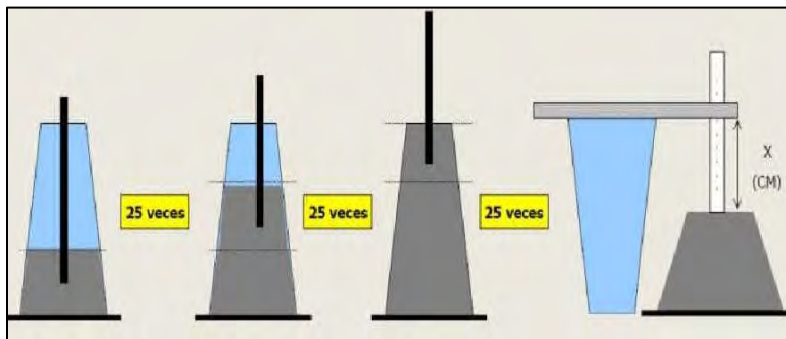
b) Procedimiento de medición slump de concreto

- Primero se coloca el molde encima de una plancha metálica, ambos limpios y humedecidos, sin grasa ni aceite, luego el trabajador se coloca encima de las pisaderas.
- Se comienza a llenar el concreto en el molde en 3 capas, la capa inferior se llena aproximadamente 1/3 del volumen total del molde, para luego ser compactado 25 golpes con

la varilla, los primeros golpes inclinados alrededor del perímetro, continuando hasta el centro del molde de forma espiral.

- Luego la siguiente capa hasta los 2/3, nuevamente compactado con 25 golpes distribuidos uniformemente, penetrando algunos centímetros hacia la capa inferior.
- Finalmente, la última capa, terminando de llenar el cono hasta desbordarlo para luego ser compactado 25 golpes, penetrando algunos centímetros hacia la capa media.
- Luego se procede a engrasar la superficie con la varilla y se levanta el molde por las asas en dirección vertical dejando las pisaderas libres en un tiempo de aproximado de 5 a 10 segundos.
- Finalmente se coloca la varilla de forma horizontal atravesando sobre el cono invertido, para extenderse encima del hormigón asentado y se mide el asentamiento con un flexómetro entre el centro de la varilla hacia el centro de la cara superior del hormigón.

Figura 14 Procedimiento de ensayo de slump.



Fuente: Cruz y Robledo, 2016.

c) Ensayo del peso unitario del shotcrete, rendimiento y contenido de aire

Según la norma ASTM C 138, determina el peso unitario (densidad), rendimiento relativo del shotcrete mediante un ensayo gravimétrico que debe ajustarse entre los parámetros de 0,98 a 1,02.

Tabla 6

Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete

Descripción	Formulas
Peso de recipiente	A
Volumen de recipiente	B
Peso de recipiente + Concreto	C
Peso de concreto	$D = C - A$
Peso unitario del concreto	$E = D/B$
Peso de concreto en 1 m ³	F
Peso de concreto en 4 m ³	$G = 4 \times F$
Rendimiento real	$H = G/E$
Rendimiento del mixer	I
Rendimiento relativo	$J = H/I$
Densidad de concreto teórico	K
Contenido de aire	$L = (K - E) / K$

Fuente: Elaboración propia.

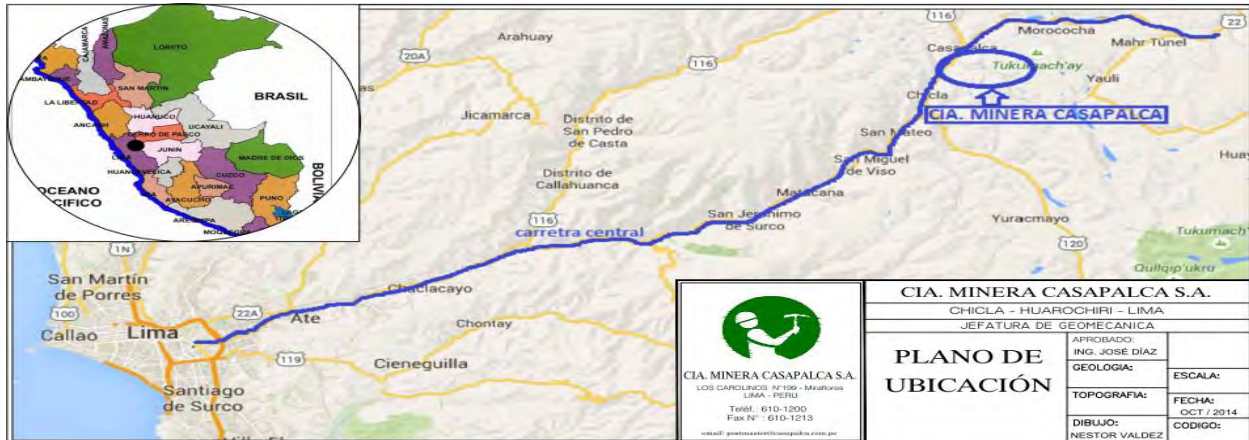
CAPÍTULO III:

ASPECTOS GENERALES DE LA MINA

3.1. Ubicación

La compañía Minera Alpayana S.A. (U.E.A. AMERICAN), se encuentra ubicada en la sierra central del Perú, en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. ubicada en la zona central, flanco Oeste de la cordillera Occidental de los Andes, con una altitud de 4 400 m.n.s.m. a la altura del km 115 de la carretera central al Nor-Este de la ciudad de lima, sus coordenadas geográficas en UTM- WG84 referido a un punto topográfico central en el área de campamento minero son 8' 710,068 y E: 366439 (Anexo 5: C-GLSA_295-1) se muestra.

Figura 15 Mapa de acceso de Cía. minera Casapalca.



Fuente: CIA. Minera Alpayana.

3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza desde la ciudad de Lima mediante la carretera central, pasando las localidades de: Lima – Chosica – Matucana – San Mateo – Chicla – Alpayana hasta el km. 115 en donde se encuentran las instalaciones de la Empresa Minera Los Quenuales S.A., luego se sigue mediante una carretera afirmada de 8 km., que sube por la quebrada, luego se continúa a través de la carretera afirmada hasta llegar a las instalaciones de la Compañía Minera Alpayana S.A. El tiempo total que se demora el viaje, es de 4 horas y 20 minutos aproximadamente.

Tabla 7

Ruta de compañía minera Alpayana S.A.

De	A	Tipo Vía	Km.	Tiempo (h)
Lima	Casapalca	Asfaltado	115	4,00
Los Quenuales	CMC (mina)	Afirmado	08	0,20

Fuente: Compañía minera Alpayana S.A.

3.3. Breve historia de la mina

Según (A. Cámac Bavin) Casapalca es conocido por ser yacimiento polimetálico en vetas de tipo hidrotermal; la extracción de menas de plata–plomo–zinc se remonta a tiempos coloniales, en esa época la explotación estuvo restringida a las zonas de fácil acceso y

superficiales ; a fines del siglo XIX la Compañía Backus & Johnston, propietaria en aquel tiempo de los denuncios, inició el desarrollo y explotación sistemática de las vetas del distrito; posteriormente en 1921 la Cerro de Pasco Copper Corporation compró la mayoría de las concesiones que actualmente conforman la zona minera activa, iniciándose de esta manera la exploración, desarrollo y explotación técnica y planificada de los depósitos minerales; el 01 de enero de 1974 Centro min Perú S.A. adquiere todas las propiedades de la Cerro de Pasco Copper Corporation, y en mayo de 1997 con la privatización de la U.N. Casapalca de Centro Min Perú S.A., la Empresa Minera Yauliyacu S.A. ahora Empresa Minera Los Quenuales S.A. y Compañía Minera Casapalca S.A. han comprado y se han distribuido los derechos mineros, realizando diferentes trabajos de expansión con la finalidad de incrementar producción a corto plazo; actualmente el estimado de producción es de 150,000 T.M.S./mes en c/u de las empresas. La Cerro de Pasco Copper Corporation al desarrollar un túnel de 11,792 m. de longitud, cuya bocamina está en San Mateo a 3,225 m.s.n.m., denominado Túnel Graton inició un gran proyecto, el cual permite el drenaje, exploración y desarrollo en niveles inferiores de los depósitos mineralizados del distrito; Centro min Perú al perforar con ríase boring entre el nivel 3900 y el Túnel Graton complementó este proyecto.

A fines de la década del 70 y en la década del 80 del siglo pasado se ubicaron los primeros cuerpos mineralizados adyacentes a las vetas.

3.4. Fisiografía y clima

3.4.1. Clima

Según Muños (2019) Se aprecias 2 estaciones bien definidas:

- La temporada de lluvias comprendida entre los meses de enero a marzo caracterizada por fuerte precipitaciones con una temperatura de 10 °C y disminuyendo a 0 °C con presencia de nieve.

- El resto del año caracterizado por un clima seco casi todo el año, con lluvias aisladas, con cambio de temperatura muy fuerte de 10 °C a bajo cero, el cual se presenta temperaturas más bajas en los meses de junio a agosto.

3.4.2. Precipitaciones

Según Muños (2019) La hidrología de la región presenta lluvias y otra seca. Las precipitaciones en la unidad minera Alapayana ocurren principalmente durante 4 a 5 meses del año en forma de lluvias, granizo o nevadas y se acentúan entre febrero y marzo. Aproximadamente el 85% de la precipitación anual ocurre durante la estación lluviosa que es de noviembre a abril. Estas precipitaciones algunas veces van acompañadas por tempestades eléctricas.

3.5. Flora y Fauna

3.5.1. Flora

Según Muños (2019) La flora en la zona está constituida principalmente por ichu y las poaceas de porte bajo y alto en la mayor parte evaluada. Se tiene pequeños matorrales compuestos por huamanpinta (*chuquiragua spiosa*) y tola (*Baccharis y parastrephia*) alrededor algunas lagunas, también predominan los bofetales presentado como planta característica a *distichia muscoides* (juancacea)

3.5.2. Fauna

Según Muños (2019) La fauna más repetitiva en la zona de evaluación estuvo comprendida por las aves acuáticas y terrestre. Se observó la presencia de 12 especies de aves acuáticas distribuidas en 7 órdenes, y 7 familias. La gaviota andina y los chorlos nevados fueron las especies más frecuentes. Las especies protegidas por la legislación nacional, y que se encuentran cercanos al área de influencia del proyecto, son: El cóndor, la vicuña, alpaca y llama.

Figura 16 Historia de Casapalca



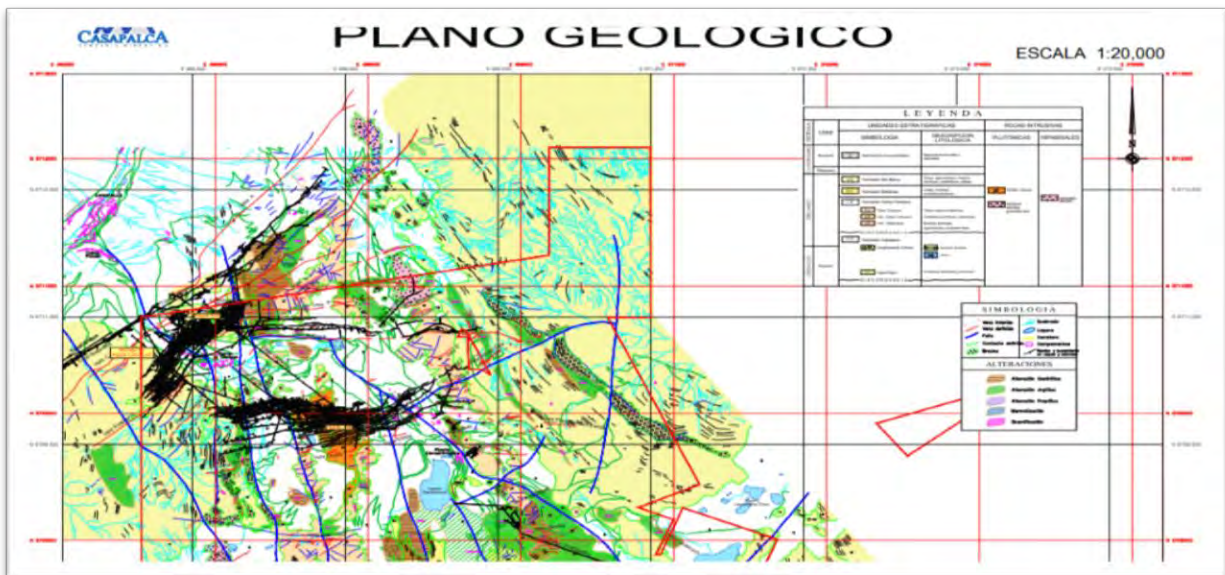
Fuente: CIA. Minera Alpayana

3.6. Geología

3.6.1. Geología regional

Según (A. Cámac Bavin) La secuencia estratigráfica del distrito minero de Casapalca está constituida por rocas sedimentarias y rocas volcánicas interestratificadas, cuyas edades fluctúan desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario. Los ejes de las estructuras del distrito se orientan paralelamente a la dirección general de los Andes. La estructura principal, el “Anticlinal y Sinclinal Casapalca” constituye un pliegue moderadamente abierto en la porción central del distrito, el cual se cierra hacia el Norte, hasta construir una falla inversa de empuje con buzamiento al Este. Cuerpos intrusivos pequeños de composición intermedia se encuentran dentro de las secuencias sedimentarias y extrusivas; mostrando ellos una composición química similar diferenciándose únicamente en su carácter textural.

Figura 17 Mapa de geología regional



Fuente: CIA. Minera Alpayana.

3.6.1.1. Estratigrafía

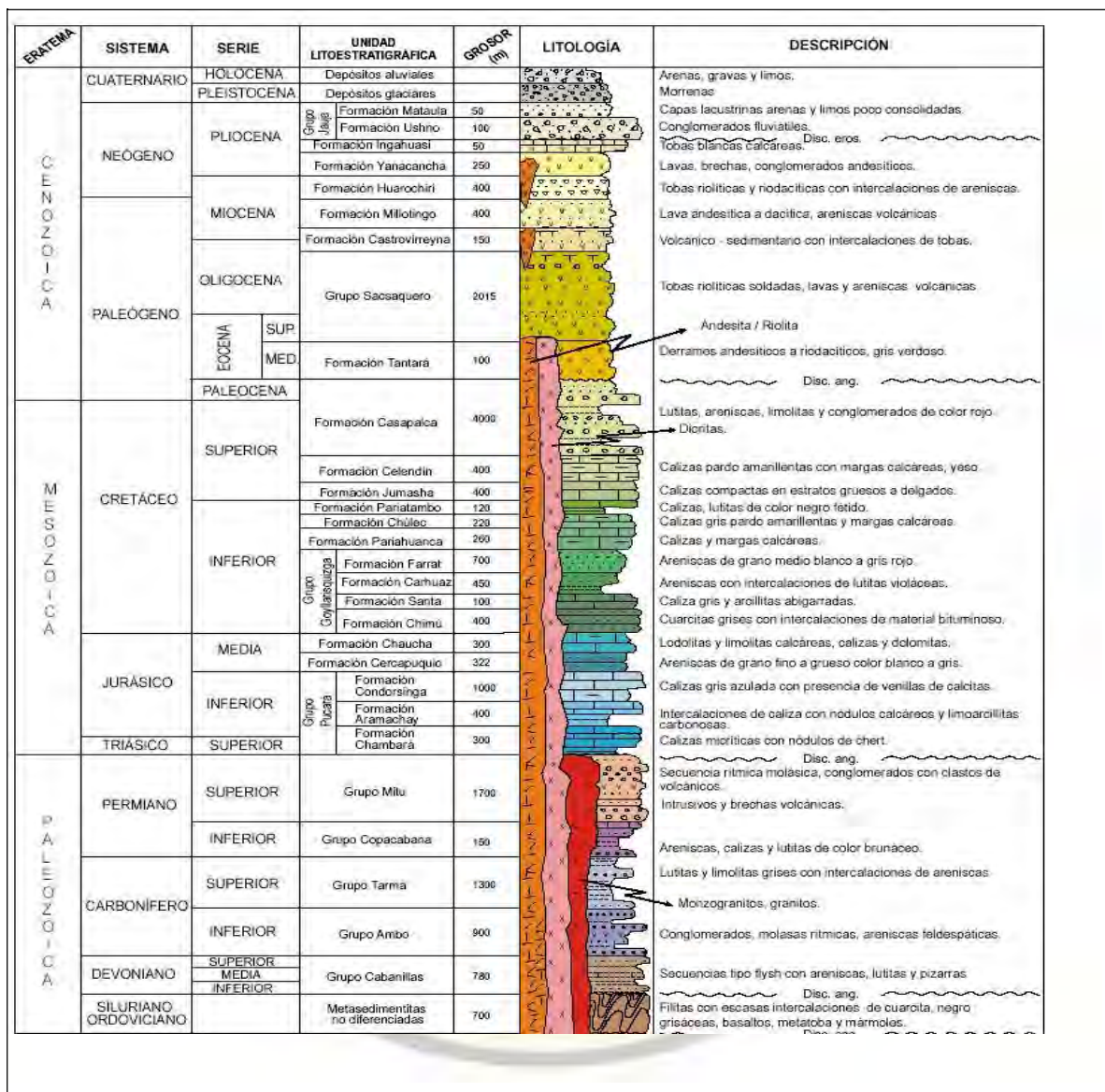
La secuencia de la columna estratigráfica del distrito está constituida en su base por rocas sedimentarias (marinas y continentales), en el intermedio por rocas volcánicas, en la parte

superior por rocas sedimentarias marinas y volcánicas, terminando en sedimentos modernos o recientes. El tiempo geológico está comprendido desde el cretáceo hasta el cuaternario.

También existen pequeños cuerpos intrusivos de composición intermedia que atraviesan la secuencia sedimentaria y volcánica.

El espesor de la columna estratigráfica conformada por calizas, areniscas, conglomerados, lutitas, brechas y flujos volcánicos, llega aproximadamente a 5,400 metros.

Figura 18 Estratigrafía



Fuente: Cía. minera Alpayana.

3.6.1.2. Tipo y formación del yacimiento

A) Formación Jumasha (450 - 600 m)

Las rocas de esta formación no afloran en superficie dentro del área de Casapalca; sin embargo, una secuencia, correlacionable con esta formación, constituida por calizas de color gris con algunas intercalaciones de lutitas ha sido interceptada en el nivel 5200 por los túneles del proyecto Graton. Secuencias representativas de las calizas de Jumasha afloran prominentemente a lo largo de las montañas que conforman la divisoria continental, presentando un característico color gris claro en contraste con los colores oscuros que presentan las calizas de la formación Pariatambo, pertenecientes al grupo Machay, (J. J. Wilson, enero 1963). Las calizas interceptadas por los túneles del proyecto Graton, están por debajo de las Capas Rojas, formando el núcleo del "Anticlinal Casapalca" y a la vez la parte más profunda del sistema de vetas Casapalca.

B) Formación Casapalca: (1,500 – 1,600 m)

Constituye la formación más antigua que aflora en el área. Forma el amplio anticlinal Casapalca, que es cortado por el río Rímac y comprende una serie de rocas sedimentarias de ambiente continental. Esta formación ha sido dividida localmente en dos miembros:

- **Capas rojas:** Este miembro se caracteriza por intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas, presentando el conjunto coloraciones rojizas debido a finas diseminaciones de hematita. Las areniscas son de grano fino a grueso y comúnmente presentan una débil estratificación cruzada. Localmente, estas capas yacen encima de las calizas Jumasha. No han sido identificados estratos de la formación Celendín, ni fósiles precisa; sin embargo, por su relación estratigráfica se les ha asignado una edad que puede estar entre fines del Cretácico y comienzos en del Terciario (T. S. Szekely 1967).
- **Conglomerado Carmen:** Sobre yaciendo a las Capas Rojas se encuentra una serie de paquetes de conglomerado y calizas intercaladas con capas de areniscas y lutitas de una

potencia que varía de 80 a 200 metros denominados miembro Carmen. Los conglomerados, que también se presentan en lentes, están compuestos de guijarros y cantos rodados de cuarcitas y calizas en una matriz areno-arcillosa y cemento calcáreo.

C) Formación Carlos Francisco: (900 – 2350 m)

Sobre las rocas sedimentarias se encuentra una potente serie de rocas volcánicas a las que se ha denominado formación Carlos Francisco. Esta formación ha sido dividida en tres miembros.

- **Volcánicos Tablachaca:** Sobre yaciendo el miembro Carmen y separada de este por lutitas de variable potencia se encuentra una sucesión de rocas volcánicas constituidas por tufos, brechas conglomerados, aglomerados y rocas porfíricas efusivas que forman el miembro Tablachaca.
- **Volcánicos Carlos Francisco:** Sobre las rocas volcánicas Tablachaca se encuentran el volcánico Carlos Francisco y consiste de flujos andesíticos y fragmentales (brecha). Las capas de brecha consisten de fragmentos porfíricos angulares, generalmente verdosos, incluidos en una matriz de roca porfírica rojiza. Intercaladas con las brechas están las andesitas porfíricas que varían de gris oscuro a verde. Los fenocristales de feldespatos son conspicuos generalmente alterados a sericita y los ferromagnesianos alterados a clorita y calcita.
- **Tufos Yauliyacu:** Los tufos Yauliyacu sobre yacen a los volcánicos Carlos Francisco concordantemente. Este miembro consiste de unos tufos rojizos de grano fino.

D) Formación Bellavista: (200 – 900 m)

Esta formación consiste de capas delgadas de calizas de color gris con algunas intercalaciones de caliza gris oscura con nódulos de sílice tufos de grano fino y lutitas rojizas. La mayor exposición de esta formación esta al SE del área, fuera del mapa, en la zona de Chicla.

E) Formación Rio Blanco: (más de 650 m)

Sobre la formación Bellavista descansa una potente serie de volcánicos bien estratificados consistentes de tufos lapilli de color rojizo con intercalaciones de brechas y riolitas. Algunas capas de calizas ocurren en la parte inferior de la formación. Dentro del área están aflorando al SE. Pero su mayor exposición se encuentra entre Chicla y Río Blanco a 12 Km al SW del Casapalca.

3.6.2. Geología estructural

3.6.2.1. Plegamiento y fracturamiento

Las unidades estratigráficas están intensamente plegadas, sus ejes tienen rumbo promedio N20°W, paralelas al rumbo general de los Andes. Las estructuras geológicas más importantes son el Anticlinal Casapalca y Sinclinal Americana, que presentan pliegues menores en sus flancos. El fracturamiento existente en la mina guarda relación con el Anticlinal Casapalca y Sinclinal Americana; el rumbo de las fracturas varía a medida que pasan de una unidad estratigráfica a otra, en general presentan rumbos N30°E a N90°E con buzamientos subverticales.

El sistema de fracturamiento posiblemente esté relacionado al emplazamiento de un intrusivo a profundidad, conclusión sustentada por los cuerpos de skarn en la formación Casapalca y por el skarn del Túnel Graton.

3.6.3. Geología local

En Casapalca las más antiguas rocas avistadas son las areniscas, lutitas y conglomerados de la formación Casapalca, la cual está formada en la base por el miembro capas rojas; constituida por una potente cadena de areniscas y lutitas de grano fino de color rojo, sobre yaciendo a estas se encuentra el miembro Carmen; constituida principalmente por una serie de areniscas, lutitas y conglomerados.

3.6.4. Geología económica

3.6.4.1. Tipos de depósitos de minerales

En la Unidad Americana de Alpayana los depósitos de minerales son polimetálicos de origen hidrotermal y se presentan en dos grupos. Los filonianos o llamados propiamente vetas y los depósitos de skarn llamados cuerpos mineralizados. En el primer grupo existe una diversidad de estructuras generalmente como resultado de la combinación de fracturas de tipo tensional y de cizallamiento, preminerales. El segundo grupo se relaciona a depósitos de skarn, cuerpos mineralizados de reemplazamiento meta somático en forma irregular en la Formación Casapalca.

A) Vetos. - Las vetas han sido formadas por proceso hidrotermal rellenando fisuras. En superficie el sistema de vetas ha reconocido estructuras en longitudes de 3 a 5 Km., en altura se han trabajado desde 4,800 m.s.n.m. reconocidas hasta 3,540 m.s.n.m.; las vetas tienen rumbo N30°E a N90°E, buzamientos variables de 55° a 88° NW; estas estructuras están emplazadas en todas las unidades lito estratigráficas del distrito.

Las vetas más importantes son: Oroya, Oroya Piso, Ximena, Ana María, Carolina, Chisay, americana, Esperanza, Mariana, Mercedes, San Antonio y Juanita; estas vetas presentan lazos cimoides y ramales como son: Ximena Piso, Cimoide Oroya, Tensional, Oroya CT, Cimoide Oroya Piso, Esperanza Piso, Esperanza Piso 2, Mariana Piso, Mariana Techo, Marianita, Escondida y Rosario.

B) Cuerpos. - Los cuerpos mineralizados de Casapalca son depósitos formados por reemplazamiento meta somático y por relleno de cavidades, en areniscas y conglomerados de la Formación Casapalca. El mayor volumen de cuerpos mineralizados irregulares se encuentra en areniscas asociadas a la epidotización y solidificación del Miembro Capas Rojas Casapalca; en los horizontes de conglomerado del Miembro Carmen los cuerpos son de menor volumen, relativamente angostos y concordantes con la estratificación.

Los cuerpos reconocidos a la fecha son: Mery, Mery'1, Emilia, Emilia Norte, Micaela, Micaela 2, Sofía, Esperanza, Esperanza Diseminado, Esperanza Piso, Esperanza Techo, Esperanza Techo 2, Esperanza Techo 3, Sorpresa, Chiara, Chiara, Mariana Techo, Negrita,

Negrita 2, Negrita 3, Vivian, Patty, Patricia, Escondida, Camucha, Carmen, Carmen 1, Carmen 2, Carmencita, Casapalca 1, Casapalca 2, Casapalca 3, Casapalca 4, M1, M2, M3, M4, Eva, Evita, Alfa, Antachara, Carla, Carolina.

3.6.4.2. Mineralogía

La mineralogía en la mina Casapalca es muy simple. Los principales minerales de mena son esfalerita(zinc), galena(plomo), tetraedrita(plata) y calcopirita, bornita (cobre). Los minerales de ganga son pirita, cuarzo y carbonatos (calcita, calcita manganífera y rodocrosita). Otros minerales raros son oropimente, rejalgar, argentita, estibina, rodonita, barita, bornita, arsenopirita, poli basita, boulangerita, James Anita, bournonita, pirargirita o rosicler y geocronita.

3.6.4.3. Alteraciones hidrotermales

La alteración hidrotermal de las rocas encajonantes sigue la secuencia normal que va de la propilitización, a cierta distancia de las vetas, a la piritización, sericitización y silicificación cerca de las vetas.

En las rocas volcánicas, las zonas de mayor alteración (cerca de la veta) presentan a la roca de color gris claro conformada por cuarzo, pirita y feldespatos alterados a sericita.

Las capas rojas y los conglomerados, en la zona central de la mina, están intensamente alterados, en esta zona la solidificación y la piritización se extiende por varias decenas de metros.

3.6.4.4. Ley Cutt-off

Para determinar si se trata de reservas probadas o probable con valores económicos se tiene que definir la ley mínima o “Ley de corte” a la que pueda trabajar el yacimiento obtenido es rentabilidad en unidad Minera Alpayana.

La dimensión de Cuerpo mineralizado Mery, Casapalca consta de la unión de dos cuerpos mencionados, logrando una recuperación mayor de 82% de mineral logrando 150 000 ton/mes en función de un programa mensual.

Con el método de Subleve Stopping se logra un VAN de \$ 586.161 con un índice de 14.5 a 34.28 \$/T.M.S. Las leyes de los resultados en la estimación de reservas el 5 de julio de 2022 es lo siguiente según geología - CIA Minera Alpayana en la Unidad Cuerpo Mery, 2022.

3.6.4.5. Reserva mineral

Según (Muñoz, 2019) En la zona de la mina de la Cía. Casapalca los recursos se pueden dimensionar en forma preliminar y puedo adelantar lo siguiente: las cuatro estructuras mayores bajarán por lo menos 2 000 m hasta los 3 500 m.s.n.m. Pues estas vetas afloran en forma discontinua con extensiones irregulares, lo que se puede resumir en una extensión total de las cuatro vetas en 13 km, considerando un ancho promedio de veta de 1,1 m, el Pe. de 2,9 m, la altura referencial de 2 000 metros, al producto T. M. le castigó con el 70 % como margen de seguridad y se tienen 25 000 000 TM de recursos. El margen de seguridad compensará una serie de irregularidades de las vetas, así como la ocurrencia o no, los Ore Shoot, partes estériles, arrastres de fallas, etc.

Adicionalmente existen otras estructuras menores que forman Splits, como por ejemplo la veta Escondida, lazos sigmoides y también se presentan cuerpos irregulares de reemplazamientos y mantos que pueden dar muchas sorpresas más adelante.

Tabla 8

Reservas de mineral de la mina.

Certeza	T.M.S.	A.V.C.	A.M.m.	Ag Oz/Tc	Pb%	Cu%	Zn%	US \$ T.M.S.
Vetas								
Probado	1052.39	1.07	1.26	5.97	1.52	0.24	2.05	53.1
Probable	668.88	1.25	1.44	5.69	1.51	0.23	2.13	52.2
Sub total	1721.27	1.14	1.33	5.86	1.52	0.23	2.08	52.75
Cuerpos								
Probado	1945.131	16.75	16.85	1.33	0.29	0.33	3.5	29.63
Probable	589.634	29.57	29.67	1.46	0.39	0.31	3.28	29.24
Sub total	2534.785	19.73	19.83	1.36	0.31	0.32	3.44	29.77

Total									
Probado	2997.521	11.25	11.38	2.96	0.72	0.3	2.99	38.06	
Probable	1258.514	14.52	14.67	3.71	0.99	0.27	2.67	41.44	
Total	4256.036	12.21	12.35	3.18	0.8	0.29	2.89	39.06	

Fuente: Muñoz, 2019.

3.7. Geomecánica

Según Rojas A. (2021) La geomecánica es la encargada de conceptualizar la vida económica junto con el beneficio económico respetando la seguridad según parámetros aceptables, lo cual repercute en la decisión del tipo de sostenimiento a emplear. El comportamiento del macizo rocoso depende de la presencia de carbonatos (material arcilloso que procede de la etapa de formación de la roca), dichas arcillas proviene de una formación secundaria es decir una alteración hidrotermal; por lo cual estas ocasionaran un desgaste o deterioro prematuro de la calidad de la roca por ende del mineral, por otro lado la constante absorción de agua subterránea contribuye en la disminución de la resistencia de la roca y el incremento de las presiones sobre las paredes..

3.7.1. Clasificación geomecánica

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas son: el RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski (1989) y el Sistema Q de Barton (1974). En nuestro medio se está utilizando también el sistema GSI (Geological Strength Index) de Hoek & Marinos (2000). Desde luego que aparte de las clasificaciones nombradas hay otros sistemas de clasificación, las cuales son menos utilizadas.

3.7.1.1. Índice de calidad de la roca (RQD)

John Deere (1963), Fue propuesto como una clasificación del macizo rocoso. Está definido como el porcentaje de testigos que se recupera en piezas enteras de 100 mm o más, del largo total del testigo. Para la determinación del RQD se recomienda un diámetro de testigo

al menos de (54,7 mm) recuperados con una perforadora de diamante de doble barril. Se calcula de la siguiente expresión:

$$RQD = \frac{\sum \text{longitudes} > 10\text{cm}}{\text{longitud total de testigo}} \times 100\%$$

Se propuso la siguiente relación entre el valor numérico del RQD y la calidad de la roca.

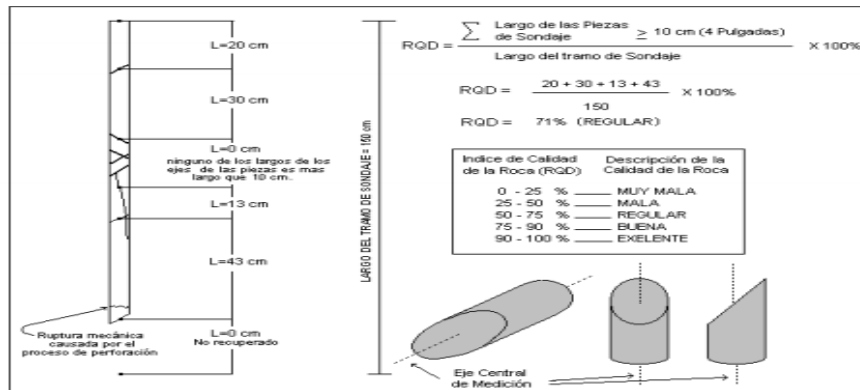
Tabla 9

Valor de RQD y calidad de roca

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Fuente: Laurente, 2017.

Figura 19 *Procedimiento y cálculo para la medición del RQD*



Fuente: Suarez, 2014.

3.7.1.2. Clasificación de Barton (NGI) – Sistema Q

Barton establece su calificación a partir de un sistema “Q”, que se obtienen de 6 parámetros procedentes de la observación del macizo rocoso, para lo que establece sus correspondientes evaluaciones. El sistema “Q” viene expresado por la siguiente expresión:

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

Donde:

RQD = Porcentaje de núcleos que se recuperan en tamaños de 10cm. o más, del largo total del barreno.

J_n = Numero de sistemas de fisuras o discontinuidades.

J_r = Es el número de rugosidad de las fracturas.

J_a = Numero de alteración de las fisuras.

J_w = Factores de reducción por agua en las fisuras.

SRF = Factor de reducción por esfuerzos.

La asociación de factores permite dar un sentido físico a cada uno de ellos:

$\frac{RQD}{J_n}$ = Tamaño de los bloques.

$\frac{J_r}{J_a}$ = La resistencia al esfuerzo cortante inter bloques.

$\frac{J_w}{SRF}$ = Los esfuerzos activos (estado tensional).

Tabla 10

Valores de los parámetros del Sistema Q

Parámetro	Número de Familias	Valores
J	“Masivo, sin o con pocas juntas”	0.5–1
	“Una familia de juntas”	2
	“Una familia y algunas juntas ocasionales”	3
	“Dos familias de juntas”	4
	“Dos familias y algunas juntas”	6
	n	“Tres familias de juntas”

	“Tres familias y algunas juntas”	12
	“Cuatro familias o más, roca muy fracturada”	15
	“Roca triturada terrosa”	20
	“Juntas discontinuas”	4
	“Junta rugosa o irregular ondulada”	3
	“suave ondulada”	2
	“Rugosa o irregulares plana”	1.5
	“Suave plana”	1
Jr	“Espejo de falla o superficie de fricción plana”.	0.5
	“Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras”.	1
	“Contacto entre las dos caras de la junta”.	
	“Junta sellada, dura, sin reblandamiento relleno impermeable”	0.75
	“Caras de la junta únicamente manchadas”.	1
	“Las caras de la junta están alteradas ligeramente”	2
	“Recubrimiento de limo o arena arcillosa”	3
Ja	“Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción”	4
	Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.	
	“Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla”.	4
	“Fuertemente sobre consolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor”.	6
	“Sobre consolidación media a baja, reblan decimiento, relleno de mineral arcilloso Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor”.	8
	“Relleno de arcillas expansivas ej. Montmo- rillonita, de espesor continuo de 5mm. El Valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla	8-12

	expansiva”.	
	- No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.	
	“Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla”.	6-8 8-12
	“Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandamiento”.	5
	“Zonas o capas gruesas de arcilla”.	10-13 13 – 20
	“Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min. Localmente”.	1
	“Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas”.	0.66
Jw	“Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas”.	0.33
	“Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con las voladuras disminuyendo con el tiempo”.	0.1 - 0.2
	“Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución”.	0.05 - 0.1
	“Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad)”.	10
	“Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.)”.	5
SRF	“Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m.)”.	2.5
	“Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad)”.	7.5
	“Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m.)”.	5

“Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m.)”.	2.5
“Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad)”.	5

Fuente: *Laurente, 2017*

3.7.1.3. Clasificación Bieniawsky – INDICE RMR

Según Rojas A. (2021) El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z. T. Bieniawski durante los años 1972 – 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de sus parámetros del terreno siguientes:

1. Resistencia a la compresión simple de la roca.
2. El RQD (Rock Quality Designation)
3. El espaciamiento de las discontinuidades.
4. Naturaleza de las diaclasas el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
 - Apertura de las caras de discontinuidad
 - Continuidad de las diaclasas o discontinuidad según su rumbo y buzamiento
 - Rugosidad
 - Dureza de las caras de la discontinuidad
 - Relleno de las juntas
5. Presencia del agua.
6. Orientación de las discontinuidades.

El RMR se obtiene como resultado de unas puntuaciones que corresponden a valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor

cuando mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clase de roca según el valor de RMR:

- CLASE I: $RMR > 80$; Sera roca muy buena
- CLASE II: $80 < RMR < 60$ Sera roca buena
- CLASE III: $60 < RMR < 40$ Sera roca media
- CLASE IV: $40 < RMR < 20$ Sera roca mala
- CLASE V: $RMR < 20$ Sera roca muy mal

Se describen 10 parámetros seleccionados para definir sus características:

1. Orientación. - posición de la discontinuidad en el espacio definida por la dirección del buzamiento y el buzamiento de la línea máxima pendiente en el plano de la discontinuidad.

2. Espaciamiento. - distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes; normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de discontinuidades.

3. Continuidad. - extensión superficial de una determinada discontinuidad en un plano inclinado que la contenga

4. Rugosidad. - conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (aspereza), que componen a superficie de las paredes de la discontinuidad.

5. Resistencia de la discontinuidad, resistencia a la compresión de la superficie de discontinuidad. Puede ser más baja que la resistencia de la roca matriz a causa de la meteorización.

6. Apertura. - distancia perpendicular entre las paredes de las discontinuidades.

7. Relleno. - material que reposa en las paredes de las discontinuidades, normalmente más débil que la roca matriz.

8. Filtraciones: flujo de agua y humedad visible en las discontinuidades de la totalidad de la roca.

9. Número de familias. - que comprende el sistema de discontinuidades del medio rocoso.

10. Tamaño del bloque. - dimensiones del bloque de roca resultante de la mutua orientación y espaciado de las familias de las discontinuidades.

Hay que hacer las siguientes consideraciones:

1. Resistencia de la roca. - Tiene una validación máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple o bien el Ensayo de Carga Puntual (Point Load).

2. Índice de calidad de la roca - RQD. - Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm. y la longitud total del sondeo. Según (Deere, 1968) que desarrollaba su trabajo profesional en el ámbito de la mecánica de rocas, postula que la cantidad estructural de un macizo rocoso puede ser estimada a partir de la información dada por la recuperación de trozos intactos de sondajes efectuados con perforación diamantina, sobre esta base propone el índice cuantitativo RQD.

$$RQD = \frac{\sum \text{longitudes} > 10\text{cm}}{\text{longitud total de testigo}} \times 100\%$$

Basándose en rangos de valores de RQD, el medio rocoso es caracterizado según su calidad de acuerdo al siguiente a la tabla 02.

3. Separación entre discontinuidades. - tiene una validación máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.

4. Estado de las discontinuidades. - es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se compone de otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de juntas.

5. Presencia de agua subterránea. -La valoración máxima es de 15 puntos, ofrece tres posibles criterios de valoración, estado general, caudal cada 10 metros de túnel, y relación entre presión del agua y la tensión principal mayor de la roca.

6. Orientación en las discontinuidades. - Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre cero y 12 puntos, en función del buzamiento de las diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel o rampa (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable, según el tipo, se aplica la puntuación especificada en la tabla, de acuerdo a la valoración.

Tabla 11

Clasificación de los parámetros y su evaluación.

Parámetro: Resistencia a la matriz Rocosa (Mpa)						
Ensayos de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (Mpa)	
Compresión Simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1
Puntuación	15	12	7	4	2	1
0						
Parámetro: RQD						
RQD	100%-90%	90%-75%	75%-50%	50%-25%	<25%	
Puntuación	20	17	13	6	3	
Parámetro: Separación entre diaclasas						
Separación diaclasas	>2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06m	
Puntuación	20	15	10	8	5	
Parámetro: estado de las discontinuidades						
Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	

Puntuación	6	4	2	1	0
Abertura	nada	<0.01mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm
Puntuación	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	rugosa	ligero rugosa	ondulada	Suave
Puntuación	6	5	3	1	0
Relleno	ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	relleno blando <5mm	relleno blando >5mm
Puntuación	6	4	2	2	0
Alteración	inalterada	Ligero alterada	Moderado alterada	Muy alterada	descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0
Parámetro: Agua subterránea o freática					
Caudal por 10m del túnel	nulo	10 lt/min	10-25 lt/min	25-125 lt/min	>125 lt/min
Relación: presión de agua / tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	seco	Ligeramente seco	húmedo	goteando	Agua fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski 1989.

Para realizar la clasificación RMR, primeramente, se zonifica al macizo rocoso en tramos que tengan características geológicas similares o uniformes. Se realiza la recolección de los datos y medidas correspondientes a la tabla de clasificación geomecánica referentes a las propiedades y caracterización del macizo rocoso (matriz rocosa y discontinuidades).

A continuación, se obtienen las puntuaciones que resultan de la aplicación de los cinco parámetros de clasificación mostrados en la tabla, obteniéndose un valor numérico que sirve para clasificar el macizo rocoso.

Tabla 12

Orientación de las discontinuidades.

Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección y Buzamiento		muy favorables	favorables	medias	desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	túneles	0	-2	-5	-10	-12
	cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski 1989

Posteriormente a la aplicación de los cinco parámetros se realizaría la corrección por orientación de discontinuidades usando la tabla, obteniéndose una clasificación real.

3.7.1.4. Índice de G.S.I. (Geological Strength Index)

Según Rojas A. (2021) El G.S.I. es un sistema de clasificación geomecánica práctico para el uso en minería, La determinación del G.S.I., es el primer paso a seguir, definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad de la masa rocosa, basándose en las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, forma de fracturas y relleno).

Las características o parámetros del GSI, más significativos en su comportamiento son las condiciones de fracturamiento, las condiciones de resistencia, tipo de labor (Temporal o permanente) y ancho de labor.

Las condiciones de fracturamiento se miden utilizando un flexómetro o una cinta métrica y se determina midiendo a lo largo de un metro, cuantas fracturas se presentan en la roca, para observarse mejor la pared rocosa de la labor debe estar limpia.

Figura 20 Tabla Geomecánica de GSI

Reg. 01-EST 018 Alpayana S.A. UNIDAD AMERICANA SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO LABORES MINERAS DE PREPARACION Y DESARROLLO (2.50 a 6.0 m. de Luz)											
(4) TIPO DE SOSTENIMIENTO A ROCA BUENA TIPO II A (RMR 71-80) SIN SOPORTE o PERNO OCASIONAL. (CONTROL DE BLOQUES INESTABLES). Perno Helicoidal a Split Set de 5 a 7 pies.		(2) CONDICION RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA o ROMPE CON 04 o MAS GOLPES DE LA PICOTA)	(M)								
B ROCA BUENA TIPO II B (RMR 61-70) PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal o Split Set) de 5 a 7 pies. A 1.50 x 1.50 m.				BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEY, ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 a 250 MPa) (SE ROMPE CON 03 GOLPES DE LA PICOTA)	(B)						
C ROCA REGULAR TIPO III A (RMR 51-60) PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal o Split Set) de 5 a 7 pies. A 1.50 x 1.50 m.						REGULAR (MODER. RESIST. LEVE A MOD. ALTER.) DISCONTINUIDADES LINAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA)	(R)				
C1 ROCA REGULAR TIPO III B (RMR 41-50) PERNO SISTEMATICO/Perno Helicoidal o Split Set de 5 a 7 pies. A 1.50 x 1.50 m. y SHOTCRETE 3" Pulg.) o PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal o Split Set) A 1.5 x 1.5 m. y MALLA.								POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA CON ESTRICHIONES, MUY ALTEJADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 a 50 MPa) - (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) o (SE IDENTIFICA SUPERFICIALMENTE) o (ESTRICHIONES)	(P)		
D ROCA POBRE TIPO IV A (RMR 31-40) PERNO SISTEMATICO/Perno Helicoidal o Split Set de 5 a 7 pies) A 1.0 x 1.0 m. con MALLA y Esp. 1.30 a 1.60 m. y Marchaventas.										MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMO, ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS (FALLA) (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA o IDENTIFICA PROFUNDAMENTE) (SE HACE HUECO)	(MP)
D1 CIMERAS METALICAS TIPO IV B (RMR 21-30) Esp. 1.00 a 1.50 m. y Marchaventas o SOSTENIMIENTO PERNO SISTEMATICO. Esp. PERNO SISTEMATICO. (Perno Helicoidal o Split Set) A 1.0 x 1.0 m. CON MALLA y SHOTCRETE 3" Pulg.											
E ROCA MUY POBRE TIPO V (RMR < 21) CIMERAS METALICAS CONCRETADO o CUADRO DE MADERA Esp. 0.75 a 0.90 m. y Marchaventas.		(E)									
(1) CONDICION ESTRUCTURAL			Abaco con relacion RMR								
(3) CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO											
LEVEMENTE FRACTURADA. ROCA NO DISTURBADA. CON TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (LF) (2 a 5 FRACTURAS POR METRO) (RQD 75% - 90%) (RQD = 115 - 3.3 Jn.)			(LF/B) (LF/R)								
MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCON- TINUIDADES ORTOGONALES. (F) (5 a 11 FRACTURAS POR METRO)			(F/M) (F/B) (F/R) (F/P)								
MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25% - 50%) (12 a 20 FRACTURAS POR METRO)			(M/F) (M/B) (M/R) (M/P) (M/MP)								
INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (IF) (MAS DE 21 FRACTURAS POR METRO)		(IF/B) (IF/R) (IF/P) (IF/MP)									
TRITURADA. ROCA DESCOMPUESTA, DISTURBADA VISIVEMENTE YA NO SE APRECIA DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALE DEFINIDAS = MATERIAL PULVERIZADO (T) (RQD < 10%)		(T/B) (T/R) (T/M) (T/MP)									

Fuente: Cía. Minera Alpayana – Área de Geomecánica.

La aplicación de la tabla permite un modo sencillo de identificar el sostenimiento óptimo por ejemplo una roca moderadamente fracturada, regular (LF/R), usando los ábacos de G.S.I. relacionamos con valores del Índice RMR o Índice Q.

3.7.2. Características de geomecánicas de la mina

El programa de investigaciones geomecánicas complementarias de campo realizado por Geomecánica Latina S.A., ha sido orientada a realizar evaluaciones geomecánicas en sectores

puntuales de la Mina Alpayana entre los Niveles “12 al 23”, específicamente en la “Zona de Cuerpos Casapalca-Esperanza y su entorno físico.

Para la caracterización de la masa rocosa se ha considerado los Cuerpo Mery, Esperanza, Chiara; Zona Esperanza (Veta Esperanza); Zona Oroya (veta Oroya), se tomaron datos de las discontinuidades presentes en la roca expuesta de los niveles: 1B, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, y 14 de la mina.

3.7.2.1. Excavaciones subterráneas.

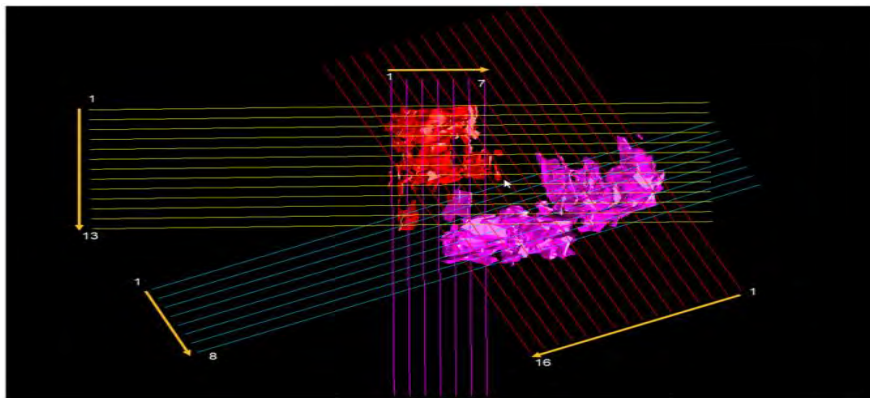
Esta evaluación ha sido realizada en labores subterráneas, con la finalidad de caracterizar la masa rocosa a través de un índice numérico cuantitativo que permita discretizar la masa rocosa en “Dominios geomecánicas”. Este mapeo geomecánica ha sido realizado usando los métodos “Ventanas”, realizándose en total 56 “Ventanas-Celdas” definidas como “EG- 01...EG-56”. Los resultados de estas evaluaciones se muestran en Anexo 1 (Registro de campo). Los parámetros de “observación y medición” definidos en el registro geomecánica fueron “obtenidos y registrados” en formatos estandarizados y diseñados por Geomecánica Latina, para propósitos de esta evaluación adecuando a los procedimientos. sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (I.S.R.M.). Entre los parámetros descritos en los registros podemos destacar “tipo de roca, tipo de estructura, orientación de discontinuidades estructurales, grado de fracturamiento, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, grado de meteorización y condición de agua subterránea”.

a) Aspectos litológicos.

En base a resultados de las investigaciones geomecánicas complementarias (Anexo 1, GLSA) e información geológica proporcionada por la empresa Minera Casapalca, se deduce que el área de interés (Cuerpos Casapalca-Esperanza y su entorno físico entre los Niveles 12 al 23) se caracteriza por la predominancia de secuencias sedimentarias de ambiente continental representados por "areniscas calcáreas y calizas arenosas" de grano grueso a fino intercaladas

con niveles finos de "margas y lutitas" afectadas por un intenso metasomatismo que nos permite definir a estas unidades litológicas como un "Skarn de Epidotas, Cuarzo, Calcita, Micas Blancas y esporádicamente granates" que estratigráficamente corresponden a la Formación Casapalca (Miembro Capas Rojas). Como estructuras de interés económico (mineralización) se tiene la presencia de "sulfuros masivos, sulfuros diseminados y vetillas" con menas "Esfalerita, Bornita, Galena, Calcopirita, Tetraedrita, Galena, Tenantita" y minerales accesorios "Cuarzo, Pirita, Calcita, Rodocrosita, Especularita y Hematita".

Figura 21 *Esquema sección transversal y longitudinales cuerpo Casapalca y Esperanza*



Fuente: Cía. minera Alpayana.

b) Rasgos estructurales mayores

La evaluación de datos estructurales en Mina Casapalca (Cuerpos Casapalca-Esperanza y su entorno físico), indican la presencia de tres sistemas de fallas principales que están asociados a la tectónica del lugar "un sistema de fallas F1 con orientación (75/194), un segundo sistema de fallas F2 con orientación (69/272) y un tercer sistema de fallas F3 con orientación (73/314). La influencia de estas fallas afecta significativamente al deterioro del comportamiento físico-mecánico en las rocas adyacentes a través del incremento de su permeabilidad inducida, la disminución de las propiedades de resistencia al esfuerzo de corte (cohesión, fricción) e incremento del grado de fracturamiento.

c) Agua subterránea

El efecto más importante del agua en la masa rocosa es la reducción de la resistencia al esfuerzo de corte, el cual ocurre a consecuencia de las presiones de agua en los poros de la roca. Terzaghi formuló el concepto del Esfuerzo Efectivo para medios porosos (suelos) el cual se puede expresar como: $\sigma' = \sigma - u$. Siendo: σ' el esfuerzo intergranular efectivo el cual influye, controla la resistencia y deformación del material. σ es el esfuerzo total aplicado a la muestra y u es la presión de poros. Evaluaciones completas realizadas por "Lade-Boer" respecto a la aplicabilidad del concepto de Esfuerzo Efectivo para suelos, concretos y rocas, concluyen que la relación propuesta por Terzaghi funciona bien para magnitudes de esfuerzo intermedio a bajo en rocas. El principio de esfuerzo efectivo debe ser aplicado para evaluar el comportamiento en "roca intacta y masas rocosas fracturadas"

d) Distribución de discontinuidades

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades estructurales tanto mayores como menores, se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el software DIPS. Los tres sistemas típicos de discontinuidades que conforman el arreglo estructural de la masa rocosa de los Cuerpos Mery son:

- Sistema 1: Rumbo N 60°E y buzamiento 87°SE.
- Sistema 2: Rumbo S16°E y buzamiento 82°SW.
- Sistema 3: Rumbo S 87°W y buzamiento 83°SE.

Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas y se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en los afloramientos.

e) Estado tensional

La roca en profundidad está sometida a una serie de esfuerzos resultantes de múltiples factores: Carga litostática sobreyacente (caso puramente geoestático). \rightarrow Esfuerzos de origen tectónico-residual, sísmológico y carga litostática sobreyacente (caso no geoestático)

Independientemente del caso (geoestático o no-geoestático) al realizar excavaciones en masas rocosas sometidas a un estado de esfuerzos pre-existentes (esfuerzos in-situ, preminado) se va generar un desequilibrio en el estado tensional, el cual resulta en un nuevo estado de esfuerzos (esfuerzos inducidos) en el entorno físico de las excavaciones, cuya “magnitud y orientación” es necesario calcular o de alguna manera inferir (evaluación del estado tensional en la masa rocosa).

3.7.3. Mapeo geomecánica del Rp 565 Nv.23

Se realiza mapeo geomecánica de acuerdo cartilla de geomecánica Alpayana

Figura 22 *Marcado del hastial de 1 metro lineal*



Fuente: Rojas Acurio 2021

- Seleccionar la tabla 1 o 2 (desarrollo de explotación).
- Evaluar la condición estructural (1): Contar el número de fractura y ubicar en la tabla geomecánica a donde corresponde.

Figura 23 *Condición Estructural*



Fuente: Elaboración propia.

- Se evalúa las condiciones de resistencia (2): Con los golpes de picota y ubicar en la tabla geomecánica a donde corresponde a figura N°24

Figura 24 *Mapeo del macizo rocoso en Rp 565 sw Nv. 23.*



Fuente: Elaboración propia.

- En el cuadro de las características del macizo rocoso (3): Realizar la intersección e identificar la calidad de roca (GSI).
- Considerando los factores influyentes (marcar en la labor)

Figura 25 Presencia de agua en el macizo rocoso y empozamiento en Rp565



Fuente: Elaboración propia.

- Identificar el tipo de sostenimiento (4) a realizar en la labor.
- En lo posible dejar marcado la calidad de roca y el tipo de sostenimiento en a labor evaluado.

3.7.4. Recomendación geomecánica en el Rp 565

Es muy importante la recomendación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento que se realizara, en la zona de profundización - cuerpos Casapalca y Esperanza, en Rp(-) 565 Sw del nivel 23 determina el análisis estenográfico de datos estructurales (fallas, diaclasas), indica un marcado control estructural de la mineralización y afecta considerablemente a la estabilidad de excavaciones subterráneas, cuando estas excavaciones se ejecutan “longitudinal y transversamente al rumbo de las estructuras” induciendo inestabilidades de la roca.

Según la evaluación de Rp 565 se obtiene los siguientes valores, se recomienda a realizar el sostenimiento con perno helicoidal de 7 pies espaciamento $E=1.50 \times 150m$. más shotcrete de acuerdo a su dosificación de 3 pulgadas.

Tabla 13*Valores obtenidos de evaluación de Rp (-)565*

1. Condición estructural	Muy fracturado (RQD) 50%	12 facturas
2. Condición resistencia	Regular Rc (50-100) MPa	2 golpes
3. Característica de macizo rocoso	MF/R (agente influente)	C1 = agua
4. Tipo de sostenimiento	Roca regular tipo III-B, RMR41-50	Perno +shotcre 3"

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Minería

3.8.1. Capacidad de producción

La producción en unidad minera Apayana se realiza la explotación de manera mecanizado, semi mecanizado y convencionalmente abasteciendo la producción de mina de zonas de cuerpo Mery y zona de vetas Oroya cuyo cumplimiento de producción programada 150 000 ton/mes como apreciamos en el cuadro.

Tabla 14*Cuadro de producción mensual.*

PRODUCCION MENSUAL MES DICIEMBRE		
ZONA	PROGRAMADO TN	EJECUTADO TN
INTERMEDIA (cuerpos)	20 000	18 000
BAJA (cuerpos)	100 000	102 000
OROYA (vetas)	30 000	27 000
TOTAL, PRODUCCION/MES	150 000	145 000
% CUMPLIMIENTO/MES	100%	98%

Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Métodos de explotación

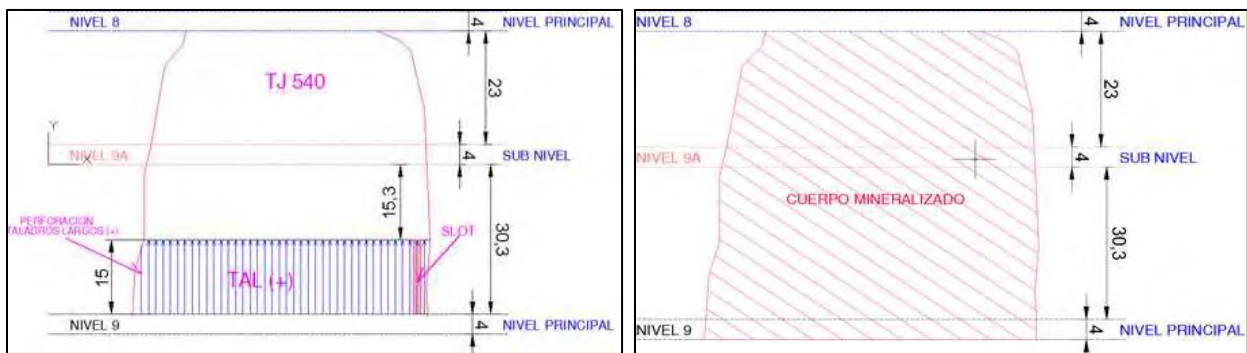
Según (Muños 2019) Sublevel Stopping se caracteriza por su producción ya que los labores son preparados sobre mineral, el método en si consiste en dividir en sectores el cuerpo mineralizado y se arranca a partir de subniveles explotados en vertical mediante tiros radiales o

paralelos quedando vacías las cámaras después de la explotación, en resumen es efectuar voladura a cielo abierto pero aplicada en el entorno subterráneo, para lo cual se establece un nivel de extracción de varios subniveles oscilando la longitud entre 80 y 100 metros.

3.8.2.1. Parámetros de diseño para subnivel stoping

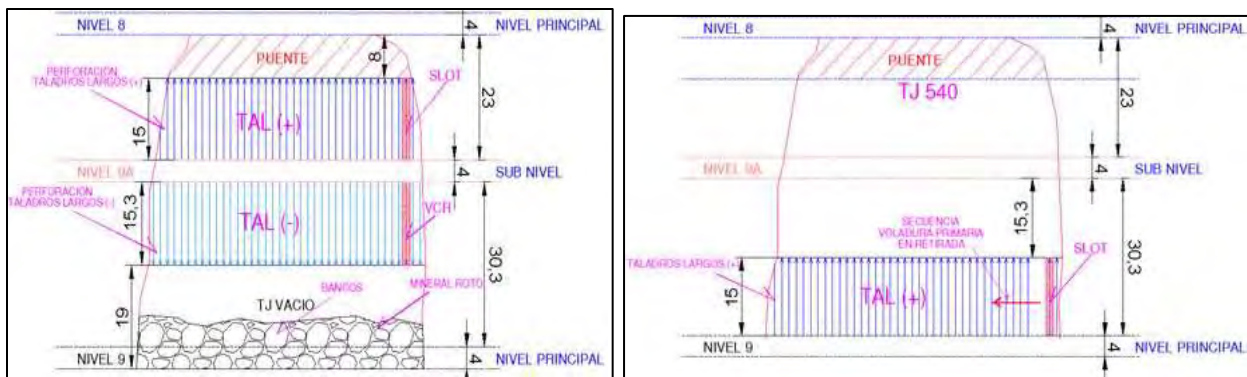
Se realizara la explotación en niveles de 50.0 metros con subniveles de 25.0 metros, con tajos de longitudes que oscilan entre los 60.0 y 120.0 m de largo y en ancho de 4.0 a 4.0 m, buzamientos de 45° - 85°; para compensar la extracción se emplea relleno detrítico, se estima una producción de hasta 150,000.0 T.M.C/mes y 5,000.0 T.M.C/día para preparaciones y desarrollo.

Figura 26 Método sub-level stoping 1.



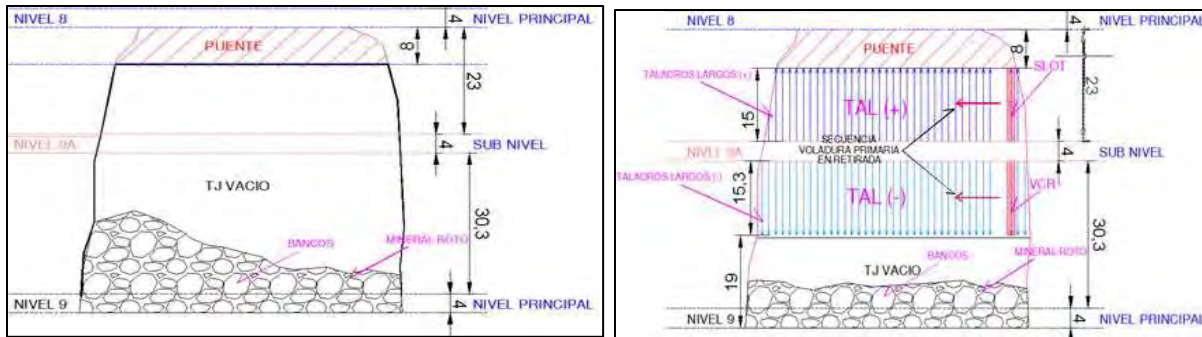
Fuente: Muñoz, 2019.

Figura 27 Método sub-level stoping 2



Fuente: Muñoz, 2019.

Figura 28 Método sub-level stoping 3.



Fuente: Muñoz, 2019.

3.8.3. Ciclo minado

3.8.3.1. Perforación

Según (Muñoz 2019) Con precisión y bastante control se deberá realizar la perforación del diseño de taladros largos para poder obtener una voladura óptima y eficiente en el minado por subniveles, ya sea en paralelo o en abanico.

Se emplean diámetros pequeños y longitudes grandes en los taladros generando desviación en los taladros, pero dentro de los parámetros aceptables.

En Alpayana usamos como máquina perforadora la SIMBA H1254, cuyas capacidades permiten realizar taladros largos en labores de sección mediana a pequeña con diámetros de 51 a 89 mm, este equipo proporciona un área de cobertura considerable y tiene la facilidad de perforar taladros ascendentes o descendientes, lo cual facilita la perforación de barrenos largos debido a un martillo en cabeza.

- La perforación alcanza longitudes de hasta 20 metros hacia abajo o arriba en forma paralela o radial.
- La perforación inicia desde el nivel inferior efectuándose taladros ascendentes (+), para niveles intermedios se realizará taladros descendientes (-).

- Según el plan de perforación mensual se estima un total de 35,000.0 metros perforados. También se efectuará la perforación de labores adicionales para poder efectuar el método de manera eficiente estas son:
- **Chimenea slot (Cara Libre):** Posterior a la perforación de los taladros positivos se deberá ejecutar la perforación de la cara libre vertical, la cual se ejecuta de manera convencional con máquina perforadora Stoper. Por otro lado, se realizan de forma mecanizado con Raise boring de un diámetro 2.5m. generalmente ejecuta una empresa contratista Master Drilling. Con un programado de avance al mes 350 m/mes. También realiza proyectos chimeneas de ventilación.

Figura 29 Chimenea 600 Nv 21.



Fuente: propia.

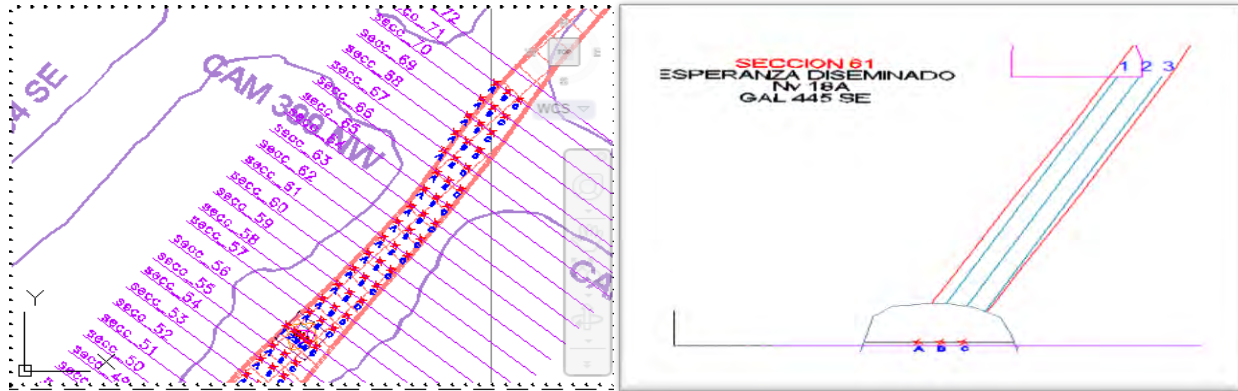
- **Chimenea VCR (vertical cráter raicé):** posterior a la perforación de taladros negativos es necesario la perforación de una chimenea para la salida de la voladura primaria más conocida como VCR, esta chimenea tiene sección de 2 x 2 m con ejecución descendente.

Actualmente la Cía. Minera Alpayana emplea equipos de perforación de dos clases, estos son:

- **Electro-hidráulicos:** Perforadoras eléctricas que perforan Radial y verticalmente, funcionan a 440V o con sistema hidráulico; contamos con simbas 1254 y jumbos de un solo brazo que tienen una desviación cerca al 2%.

- **Neumáticos:** Realizan diseños radiales, emplean energía neumática y son de avance lento, usamos la perforadora BBS-120 con una desviación de cerca del 5%.

Figura 30 Malla de perforación



Fuente: Elaboración propia.

3.8.3.2. Voladura

Según (Muñoz, 2019) Se realiza voladura de grandes dimensiones debido a los taladros largos, afectando directamente en la estabilidad del macizo rocoso y la seguridad, por lo cual se realiza la voladura de pocos taladros previamente planificados, para esta actividad empleamos explosivos como emulsión con cebo, ANFO y EXAMON y como accesorios de voladura empleamos pentacord, mechas lentas y faneles con retardos largos.

El carguío se realiza generalmente casi en la totalidad del taladro para taladros paralelos, y en caso taladros en abanico será menor para no afectar las cajas u otros taladros.

Cuando se genera material que excede la granulometría estimada se deberá emplear la voladura secundaria para poder complementar la voladura realizada previamente, cuyo objetivo será reducir el tamaño de dicho material, esta representa un 28% de la voladura primaria.

Se efectúa voladura masiva en tajos de producción, por ello resulta ser considerable el ritmo de extracción y por ende la productividad.

- **Cálculo de factor de potencia**

Realizamos el cálculo de factor potencia de labor TJ 445 - sección 61 del nivel 18A, como apreciamos en figura N°32 de malla de perforación.

Tabla 15

Datos de TJ 445 – sección 61

N° tal.	L (m)	% 2	Ang. Perf.	L. Taco (m)	L. Carga (m)	Anfo (kg)
1	15	95%	67	0.8	14.3	40.8
2	15	95%	67	0.8	14.5	41.3
3	16	95%	67	0.8	14.8	42.2

Fuente: Cía. Minera Alpayana

Sección 61

Área del cuerpo: 55.5 m²

Burden: 1.20 m

Espaciamiento: 0.8 m

Anfo: 124 kg = 5 sacos de anfo

Cálculo de toneladas

$$Volumen = 55.5 \text{ m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 66 \text{ m}^3$$

$$Tonelada \text{ de mineral} = 66 \text{ m}^3 \times \frac{3 \text{ ton}}{\text{m}^3} = 198 \text{ toneladas}$$

Cálculo de Factor de potencia

$$F.P. = \frac{124 \text{ kg}}{198 \text{ ton}} = 0.62 \text{ kg/ton}$$

Tabla 16*Parámetros de la voladura*

Longitud detonadora no eléctrico	18.0 m
Diámetro del cebo iniciador	1 ½ pulga
Factor de carga (+)	3.0 kg/m
Factor de carga (-)	2.60 kg/m
Factor de potencia (cuerpos)	0.55 kg/t
Factor de potencia (vetas)	0.85 kg/t
Densidad de columna carga	0.88 g/cm ³
Número de cebos/taladro	2.0 und.
Tipo de secuencia de salida	"V"
Tonelaje roto/día	6 000.00 T
Tonelaje roto/metro en paralelo	4.80 T
Tonelaje roto/metro en abanico	3.50 T

Fuente: Cía. minera Alpayana

- La voladura se efectuará respetando el programa de Producción planteado.
- El carguío se realizará con cargador de ANFO Jet Anol de 125 kg y que permite incrementar la densidad del ANFO de 0,85 a 0,97 g/cm³ debido al confinamiento de 100 psi.
- Según el diseño de taladros estos medirán de entre 2.0 a 20.0 metros para su carguío. Poseyendo los parámetros nombrados se procederá a la voladura de los taladros, los cuales será positivos y negativos por lo cual se procederá de la siguiente manera:
- **Voladura de taladros negativos:** Se realiza a partir del VCR previamente realizado de sección 1.80 x 1.80 m, con factor de potencia de 3.80 kg/t y cuyo avance será de 2.0 en 2.0 metros, hasta conectar con el nivel superior, luego se procede a abrir zanjas para conectar con el cuerpo mineralizado y tener una cara libre más óptima.

Figura 31 Se observa la malla de perforación cargado de VCR



Fuente: Elaborado propia

- **Voladura de taladros positivos:** para los taladros positivos se realizará a partir de la chimenea Slot de sección 1.80 x 1.80 metros, con factor de potencia de 3.50 Kg/t, posteriormente se realizará la voladura progresiva del cuerpo mineralizado en función al programa de voladura y las leyes minerales del tajeo.

Figura 32 Se observa una sección de taladro positivos cargados



Fuente: Elaborado propia.

3.8.3.3. Limpieza y Acarreo

Según Rojas A. (2021) El mineral roto será limpiado de tajos de producción y de labores de desarrollo utilizando equipos como el Scooptran R- 1600, de 6 yd³ instalado a control remoto por seguridad, para lo cual se emplearán refugios construidos durante la etapa de preparación.

A distancias no mayores a los 100 metros se instalan cámaras de acumulación de acopio para evacuar el material roto, incrementando así la producción y acelerando la limpieza de frentes de avance los tajos, para esta actividad emplearemos los Scoop R-1600 de 6 yd³, los Scoop R-1300 de 4 yd³ y equipos menores obteniéndose un total de 85 T/Hr.

a. En la zona intermedia

Cuerpo Mery tajeo de producción y frentes de avance es de Nv 7 a Nv15 que pertenecen a zona intermedia son siguientes tajos Nv7 TJ 665, Nv8 TJ541, Nv9B TJ501, Nv12A TJ350, Nv14 TJ 454. Los minerales son extraídos mediante los Dumpers MT 2010 al Rompe banco y chancadora del nivel 10 y 14 de acuerdo al nivel que corresponda, Luego por izaje (skip) del pique 650 hasta Nivel 1.

b. En la zona Baja

Cuerpo Mery tajeo de producción y frentes de avance es de Nv15 a Nv19A que pertenecen a zona intermedia son siguientes tajos Nv15 TJ390, Nv16 TJ454, Nv17 TJ370, Nv18 TJ375, TJ454. Los minerales son extraídos con los volquetes de 15m³ marca VOLVO FAMECA Y SCANEA, evacuado al rompe banco y chancadora del Nv18 y Nv14 Luego por izaje (skip) del pique 650 hasta Nivel 1 donde se encuentran tolvas hidráulicas y son cargados a los volquetes para luego ser transportado hacia la planta concentradora superficie.

c. Zona profundización

La zona profundización del Nv19 a Nv23 son labores de desarrollo y preparación de rampas, galerías, cruceros, refugios, cámaras, posas de bombeo. Los desmontes se evacuan a los tajos de relleno Nv15 TJ454, se extrae diario material de desmonte a los tajos 960 M³/día.

d. En la zona vetas Oroya

Los scooptram 151D de 2 yd³ trasladan el mineral hasta los echaderos de los diferentes niveles que se encuentran son acumulados en el pocket 550 del nivel18 luego por hizaje(skip) del pique 790 hasta el nivel 435.Y son cargados a los carros Grambys y es transportada con

locomotora hasta superficie hacia las tolvas que se tiene, para luego ser cargado transportada hacia la planta concentradora o a los botaderos según sea el caso con volquetes de marca VOLVO FAMECA.

3.8.3.4. Sostenimiento de las labores mineras

Según Rojas A. (2021) Debido a la sección 4x4m que se presenta en las labores de avance, se realizan el sostenimiento mecanizado con equipo Bolter DD421, producción y recuperación el sostenimiento cuenta con una gama de posibilidades siendo estas los pernos helicoidales de 7 pies, mallas electrosoldadas y Split de 5 o 6 pies hidrobell 6pies para las labores en explotación y para las labores permanentes el uso de cimbras, shotcrete de 2 o 3 pulgadas, mallas y pernos helicoidales.

Figura 33 *Inyección de perno helicoidal con equipo jumbo retracktril.*



Fuente: Elaborado propia.

CAPÍTULO IV:

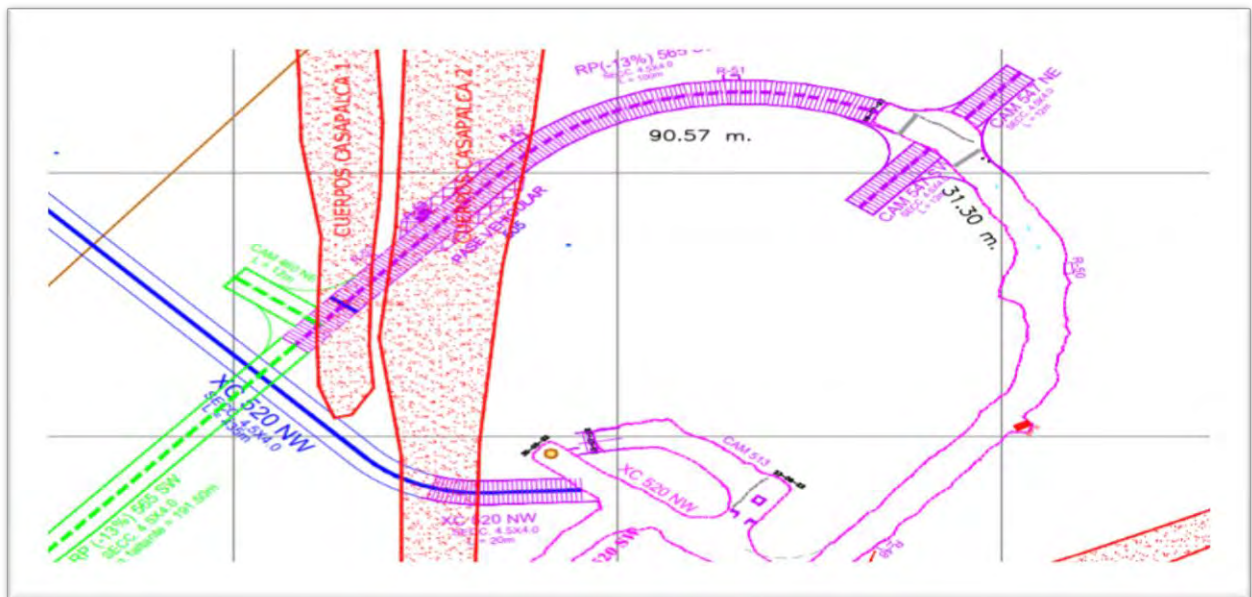
IMPLEMENTACIÓN DE LAS FIBRAS SINTÉTICAS CON SHOTCRETE

4.1. Especificación y ubicación de Rp 565

4.1.1. Ubicación de la Rampa 565

La ubicación de la rampa 565sw está ubicada en el Nv 23 es su acceso principal como apreciamos en la figura N°34.

Figura 34 Ubicación de rampa 565 en el plano



Fuente: Elaboración planeamiento de CIA. Minera Alpayana.

4.1.2 Dimensión de la rampa, sección, longitud, diferencia de cotas

La Rampa 565 es el acceso principal de unidad minera del Nv 23 de la zona profundización de los cuales se ejecutan labores de desarrollo, preparación y explotación como se muestra en la tabla 16.

Tabla 17

Dimensiones de rampa 565

Sección de Rp (-)565	4.5x4.0 m.
Pendiente (%)	-13 %
Longitud (boca mina -nv23)	8km.
Latitud sur:	11°30'
Longitud oeste	76°10'
Coordenada X (UTM)	366416.286 E
Coordenada Y (UTM)	8710566.477 N

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Ensayos físicos del agregado

4.2.1. Granulometría

Agregado Global para el Diseño de Concreto (Shotcrete) está regido bajo los parámetros de la Norma ASTM C – 33 según su Gradación N°02, Porcentaje de Malla N°200, Modulo de Finura. Para este control se tendrá en cuenta los siguientes ensayos:

- Humedad (ASTM C-566)
- Granulometría (ASTM C-136)
- Malla N° 200 (ASTM C-117)
- PE y absorción (ASTM C-128).

Este ensayo se aplica para determinar la gradación de los materiales, en la granulometría realizada a este material se observa que la curva se encuentra dentro de los límites, pero se aproxima a lado del fino, esto perjudica al proceso de preparación.

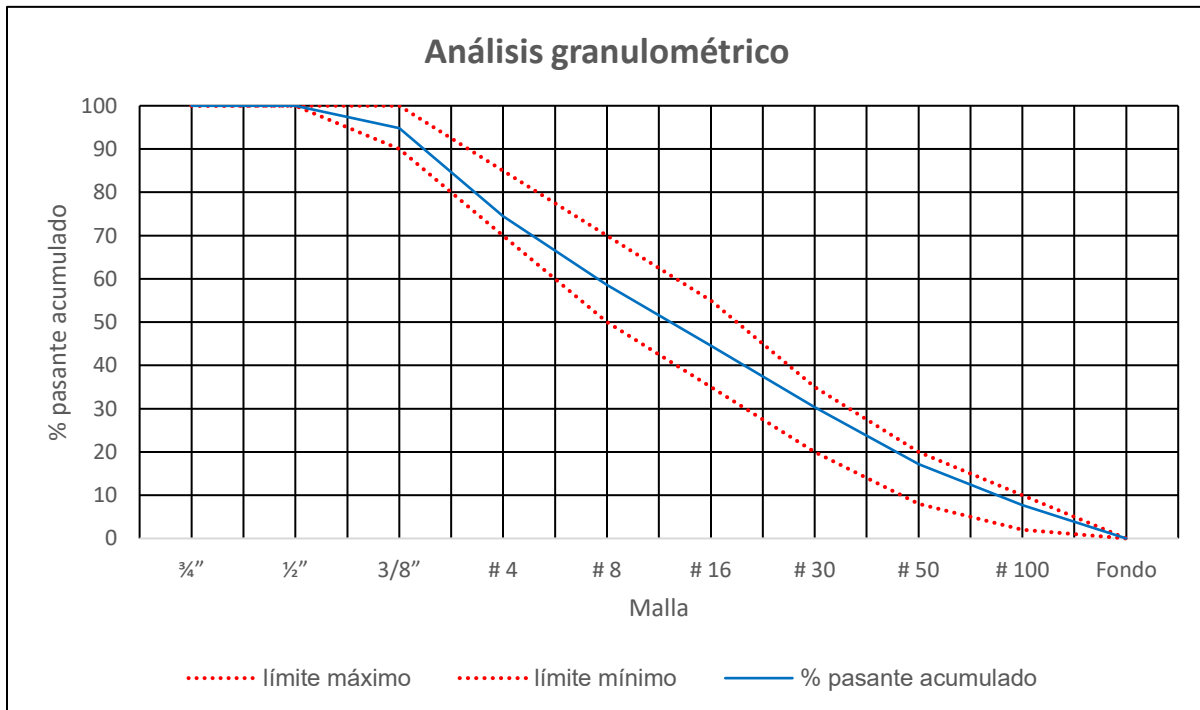
Tabla 18

Ensayo de granulometría de la M-01

Malla	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Gradación N°02
¾"	-	0,0	0,0	100	-
½"	0,0	0,0	0,0	100	100
3/8"	30,00	5,2	5,2	94,8	90 – 100
# 4	116,00	20,3	25,5	74,5	70 – 85
# 8	91,00	15,9	41,4	58,6	50 – 70
# 16	81,00	14,1	55,5	44,5	35 – 55
# 30	81,00	14,1	69,7	30,3	20 -35
# 50	75,00	13,1	82,8	17,2	8 – 20
# 100	<u>54,50</u>	<u>9,5</u>	<u>92,3</u>	<u>7,7</u>	<u>2 – 10</u>
Fondo	44,00	7,7	100,0	0	0 - 0
Total	572,50	100,00			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35 Curva granulométrica M-01.



Fuente: Elaboración propia.

- Se verifica en el gráfico 35 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 565,

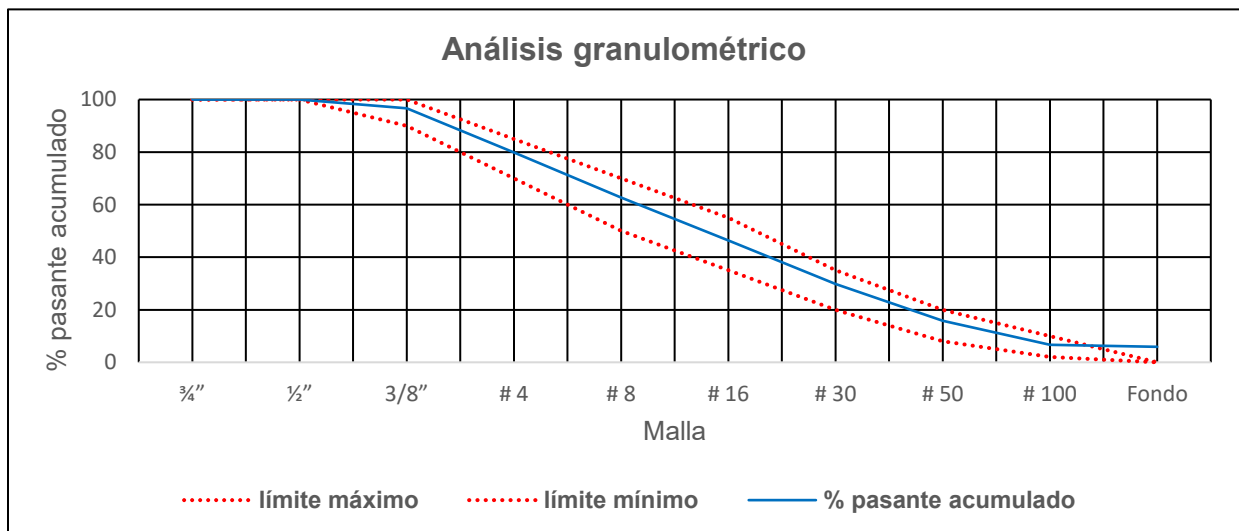
Tabla 19

Ensayo de granulometría de la M-02

Malla	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Gradación N°02
¾"	-	0,0	0,0	100	-
½"	0,0	0,0	0,0	100	100
3/8"	25,50	3,4	3,4	97,7	90 – 100
# 4	123,50	16,6	20,1	79,9	70 – 85
# 8	128,00	17,2	37,3	61,8	50 – 70
# 16	121,50	16,4	53,6	45,2	35 – 55
# 30	123,00	16,6	70,2	29,5	20 -35
# 50	104,00	14,0	84,2	16,3	8 – 20
# 100	67,50	9,1	93,3	7,7	2 – 10
Fondo	50,00	6,7	100,0	0	0 - 0
Total	655,50	100,00			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 36 Curva granulométrica M-02.



Fuente: Elaboración propia.

- Verificamos la segunda muestra de ensayo en laboratorio de control de calidad, la curva granulométrica está dentro de los límites mínimos y máximos de la gradación N°2, se cumple nuestro diseño de shotcrete vía húmeda en gráfico 36.

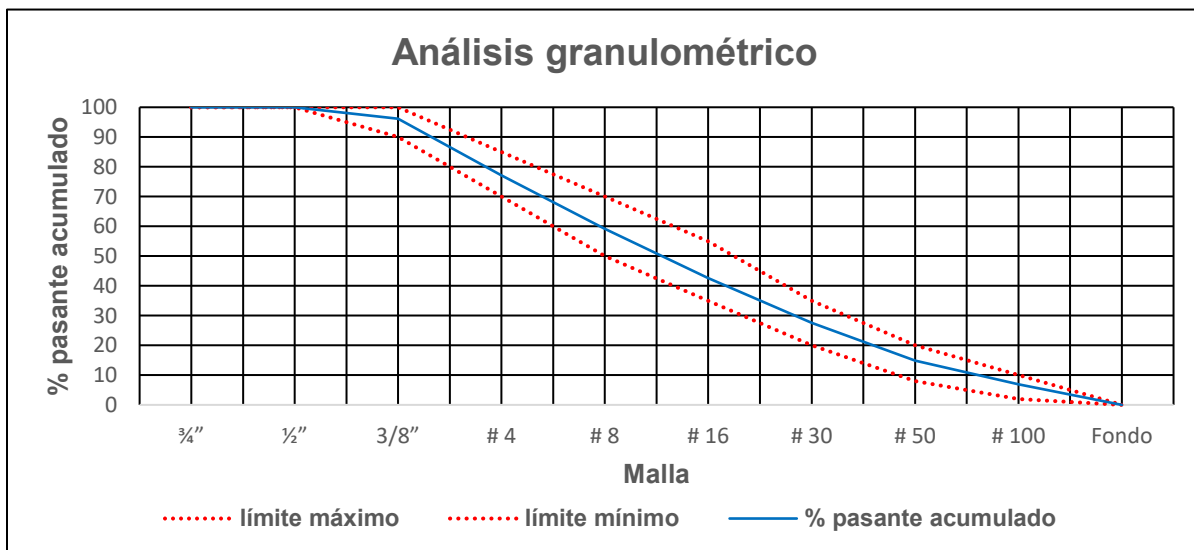
Tabla 20

Ensayo de granulometría de la M-03

Malla	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Gradación N°02
¾"	-	0,0	0,0	100	-
½"	0,0	0,0	0,0	100	100
3/8"	18,50	3,3	3,3	96,2	90 – 100
# 4	108,00	19,5	22,9	77,1	70 – 85
# 8	99,00	17,9	40,8	59,2	50 – 70
# 16	91,50	16,6	57,4	42,6	35 – 55
# 30	83,50	15,1	72,5	27,5	20 -35
# 50	69,50	12,6	85,1	14,9	8 – 20
# 100	44,50	8,1	93,1	6,9	2 – 10
Fondo	38,00	6,9	100,0	0	0 - 0
Total	552,50	100,00			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 37 Curva granulométrica M-03



Fuente: Elaboración propia.

- Del gráfico 37 podemos apreciar claramente la tercera muestra M3 de la curva granulométrica está dentro de las especificaciones mínimas y máximas de la gradación N°2, cumple nuestro diseño de shotcrete vía húmeda.

4.2.2. Módulo de fineza

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

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

Tabla 21

Módulo de fineza del agregado

Malla	M-01	M-02	M-03
	% Retenido acum.	% Retenido acum.	% Retenido acum.
3/4"	0,0	0,0	0,0
1/2"	0,0	0,0	0,0
3/8"	5,2	3,4	3,3
# 4	25,5	20,1	22,9
# 8	41,4	37,3	40,8
# 16	55,5	53,6	57,4
# 30	69,7	70,2	72,5
# 50	82,8	84,2	85,1
# 100	92,3	93,3	93,1
Módulo de fineza	3,72	3,62	3,75
		3,69 %	

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos apreciar en la tabla 21, el módulo de fineza de las 3 muestras se encuentra dentro de los límites mínimos y máximos, dando un buen control de calidad de agregado, para nuestro diseño de shotcrete vía húmeda.

Figura 38 *Ensayo de granulometría y módulo de fineza*



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Ensayo malla #200

Este método según la norma ASTM C – 117 NTP 339.185 determina por vía húmeda el contenido de polvo o material que pase el tamiz normalizado N° 200. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregado que son dispersadas por el agua, así como los materiales solubles en agua. El resultado del material ensayado se encuentra dentro de parámetros establecido que es inferior del límite máximo 5%.

Tabla 22

Ensayo malla #200

Descripción	Formula	M-01	M-02	M-03
Masa seca original de la muestra (g)	A	556,0	557,0	559,5
Masa seca de muestra luego de lavado(g)	B	532,0	534,0	538,0
Material que pasa por malla #200 (%)	$[(A - B) / A] \times 100$	4,32	4,13	3.84
Promedio (%)	4,09			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 el agregado de las 3 muestras se encuentra dentro del límite máximo de la malla N° 200, libres partículas contaminantes, para obtener una buena calidad de agregado en nuestro diseño de shotcrete, realizado pruebas de laboratorio.

Figura 39 *Ensayo de humedad.*



Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Ensayo de humedad

Este ensayo según la norma ASTM C-566 NTP 339.185 determina el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de arena mediante el método de secado.

Tabla 23

Ensayo contenido de humedad.

Descripción	Fórmula	M-01	M-02	M-03
Peso de tara (g)	T	85,0	85,0	85,0
Peso de la muestra original húmeda (g)	W	600,0	600,0	600,0
Peso de la muestra original seca (g)	D	556,0	557,0	558,0
Contenido de humedad (%)	$[(W - D) / D] \times 100$	7,91	7,72	7,53
Promedio (%)	7,72			

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede verificar en la tabla 23, Se realiza el ensayo de Humedad del agregado que se encuentra en la interior mina en la planta shotcrete de Nv 14, por tanto, con el resultado

un promedio de contenido de humedad de 7,72 %, obtenido se realizara el reajuste por humedad en el diseño de mezcla, para su pronta preparación del concreto. La humedad se encuentra en promedio 6% y 7%, se recomendó a los operadores de planta realizar el preparado con el 80% de agua y con el 20% retemplar el concreto

Figura 40 *Ensayo del ensayo de humedad.*



Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Gravedad específica y absorción del agregado

Este método según la norma ASTM C 128 determina el valor de absorción y el peso por unidad de volumen de la muestra sin considerar vacíos, tanto en condición seca como saturada superficialmente seca. ocupa la determinación de la densidad media de una cantidad de agregado fino, absorción de agregado fino y gravedad específica. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad en (kg/m³) es expresada como secada al horno (OD), saturada superficialmente seca (SSS) o densidad aparente.

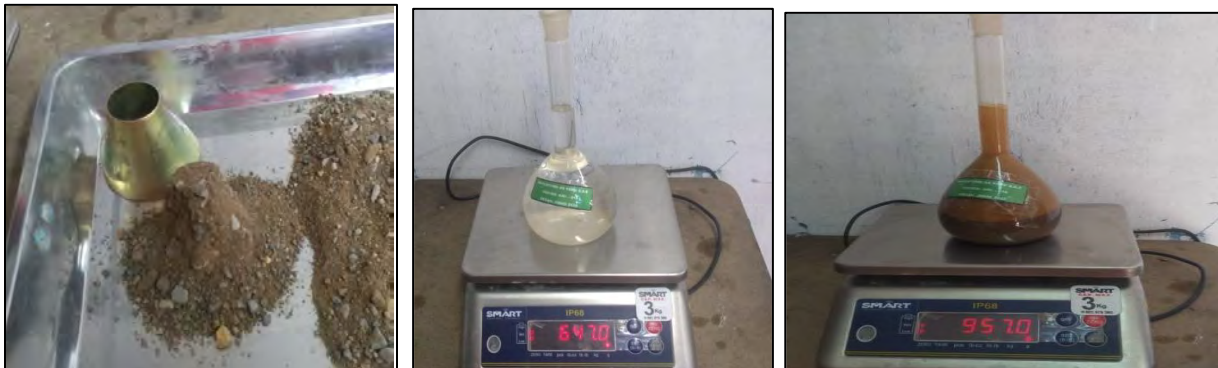
La gravedad específica se aplica mayormente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas incluido concreto con cemento portland, concreto bituminoso y otro tipo de mezclas cuyas proporciones son analizadas en base a su volumen absoluto.

Tabla 24*Gravedad específica y absorción del agregado.*

No de Prueba	Fórmula	M-01	M-02	M-03	PROM.
Peso de la fiola (gr)	A	149,0	149,0	148,5	
Peso de la fiola + Peso muestra SSS + agua (gr)	C	956.5	956,0	959	
Peso de la fiola + agua (gr)	D	647	647	647,5	
Peso muestra SSS (gr)	E	500,0	500,0	500,0	
Peso muestra seca (gr)	F	490	491.5	490,5	
Gravedad Específica (OD)	$F/(D+E-C)$	2,572	2,573	2,602	2,58
Gravedad Específica SSS	$E/(D+E-C)$	2,625	2,618	2,652	2,63
Gravedad Específica Aparente	$F/(D+F-C)$	2,715	2,693	2,740	2,71
% Absorción $((E-F) / F) * 100$		2,0	1,7	1,94	1,88
T° H2O		22,0	22,00	22,00	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la tabla 24, se realiza los ensayos correspondientes de acuerdo se determinó que el agregado tiene los datos de gravedad específica SSS es 2,63 gr/cm³ de peso específico y 1,88 % de absorción, estos datos se tomarán para el reajuste en nuestro diseño de shotcrete vía húmeda en.

Figura 41 *Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado.**Fuente:* Elaboración propia.

4.3. Diseño del shotcrete con fibras sintéticas

El diseño de mezclas para el shotcrete o concreto lanzado tomara una resistencia de diseño 300 kg/cm² con un aumento en la humedad de los materiales empleados de 6 a 8 % de humedad, como se muestra en la *tabla 25*.

Tabla 25

Diseño del shotcrete con 4.0 kg/m³ de fibra sintética

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1660,97	1660,97 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra sintética	4.0	4.0 kg

Fuente: Elaboración propio.

Figura 42 *Preparación y posicionamiento de equipo Alpha 20*



Fuente: Elaboración propio.

4.3.1. Resistencia a la compresión requerida

Para el cálculo de la resistencia a la compresión requerida optamos por nuestra resistencia de diseño de 300 kg/cm² ya que este valor está dentro de los rangos en la aplicación de shotcrete en mineras subterráneas usado en nuestro país.

4.3.2. Relación agua/cemento

Esta relación es igual a la cantidad de agua entre la cantidad de cemento por 1 m³, la resistencia del concreto dependerá de la cantidad de relación agua/cemento que se añade a la dosificación, cuanto sea menos la cantidad de agua/cemento se obtendrá mayores resistencias, pero a la vez tendrá baja trabajabilidad, por tal motivo es de suma importancia este valor, la norma ACI 506R nos recomienda valores entre 0,4 – 0,5 por lo que este trabajo de investigación se tomó la relación agua/cemento 0,45.

4.3.3. Cantidad de cemento

El cemento debe de cumplir con los requerimientos de las normas del país (NTP 334.009 – ASTM C-150), así como los estándares locales o leyes nacionales para su uso en el concreto lanzado. El fraguado y el desarrollo de resistencia del cemento depende de propiedades específicas del cemento se utiliza de **Tipo I**, tiene una correlación con la cantidad y resistencia del concreto de 400 kg de cemento relacionada a nuestra resistencia de diseño de 300 Kg/cm² a los 28 días, como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26

Relación de resistencia y contenido de cemento.

Resistencia a los 28 días (Mpa)	Contenido de cemento (kg)
21	295 - 385
28	325 - 415
35	385 - 505

Fuente: Hojas técnicas de MACCAFERRI

4.3.4. Cantidad de agua

Para determinar el contenido de agua necesitamos la relación agua/cemento es igual a 0,45 según la cantidad de cemento que es de 400 kg/cm³.

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} \rightarrow 0,45 = \frac{\text{agua}}{400} \rightarrow \text{agua} = 180 \text{ litros}$$

4.3.5. Cálculo de volúmenes absolutos

Tabla 27

Cálculo de los volúmenes absolutos de los materiales

Materiales	Densidad (kg/m3)	Peso seco (kg)	Volumen (m3)
Cemento	3150	400	0,1269
Agua	1000	180	0,1800
Aire			0,0500
Total			0,3569

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Cálculo del agregado**

$$\text{Volumen} = 1 \text{ m}^3 - 0,3569 \text{ m}^3 = 0,6431 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco} = 0,6431 \text{ m}^3 \times 2630 \text{ kg/m}^3 = 1691,353 \text{ kg}$$

Tabla 28

Pesos del diseño del shotcrete en seco.

Materiales	Peso seco (kg)
Cemento	400
Agregado	1691,353
Agua	180

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 28 se puede verificar los valores de pesos del shotcrete en seco.

➤ **Corrección por humedad del agregado**

$$\text{Peso agregado} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right) = 1691,353 \text{ kg} \times \left(\frac{7,72\%}{100} + 1 \right) = 1821,925 \text{ kg}$$

➤ **Corrección por agua efectiva**

$$\frac{(\%w - \%Abs) \times \text{Agregado seco}}{100} = \frac{(7,72 - 1,88) \times 1691,353}{100} = 98,77 \text{ litros}$$

$$\text{Agua efectiva} = 180 - 98,77 = 81,23 \text{ litros}$$

4.3.6. Aditivo hiperplastificante

Según la norma ASTM C - 494 La elección del aditivo está relacionada con el peso del cemento, tiene la función de dar trabajabilidad al concreto, reductor de agua y dar alta resistencia inicial, en nuestro trabajo de investigación se trabajó con el aditivo hiperplastificante MACFLU 110, y que tiene las características en la siguiente tabla 29.

Tabla 29

Características del aditivo hiperplastificante MACFLU 110

Estado físico	Líquido
Color	Marron oscuro
Densidad	1080 kg/m ³
Dosis de aplicación	0,8 % - 1,8 %
Especificaciones	ASTM C 494 tipos A y F

Fuente: Hoja de datos técnicos MACCAFERRI.

Para la prueba de trabajo se utilizó de dosis 1,0 % del peso del cemento. Se obtendrá resultado, aditivo hiperplastificante MACFLU 110 = 0,01 x 400 kg/m³ = 4,00 kg/m³

4.3.7. Aditivo acelerante

Tiene la finalidad de conseguir fraguado inicial rápido, buena adherencia a la superficie y resistencias iniciales elevadas, en nuestra investigación se trabajó con el aditivo acelerante HAA MACFREE PLUS, con la dosis de 7% del peso cementante.

Tabla 30*Características del aditivo acelerante MACFREE PLUS.*

Estado físico	Líquido
Color	Beige
Densidad	1430 kg/m ³
Dosis de aplicación	4,0 % - 9.0 %
Especificaciones	ASTM C 494 tipo C

Fuente: Hoja de datos técnicos MACCAFERRI.Aditivo acelerante = 0,07 x 400 kg/m³ = 28,00 kg/m³**4.3.8. Valores finales del diseño del shotcrete**

Una vez corregido la cantidad del agregado con el contenido de humedad se establecieron las cantidades finales del diseño desarrollados por el control de calidad.

Tabla 31*Diseño del shotcrete sin fibras*

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt

Fuente: Elaboración propia.

Este diseño del shotcrete es utilizado como el patrón que sirvió como referencia para los demás diseños de shotcrete.

4.3.9. Fibras macro sintéticas

En la tesis se usó macro fibras sintéticas plus 48 MYPHOR, que es de alto rendimiento y da refuerzo al shotcrete, de acuerdo a su ficha técnica se optó de diferentes dosis.

Tabla 32*Características de las macro fibras sintéticas plus 48 MYPHOR.*

Diámetro (D)	0,92 mm
Largo (L)	48 mm
Densidad	910 kg/m ³
Dosis de aplicación	4 kg/m ³
Representación de fibras	Suelta

Fuente: Hoja de datos técnicos MYPOR.**Tabla 33***Diseño del shotcrete con 2.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-2)*

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra sintética	2.0	2.0 kg
Total	2337,155	

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 34***Diseño del shotcrete con 4.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-4)*

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra sintética	4.0	4.0 kg
Total	2339,155	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

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

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	425	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra sintética	6.0	6.0 kg
Total	2341,155	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.10. Fibras metálicas

En el presente trabajo de investigación se usó fibras metálicas WIRAND FS3N, que es de alto rendimiento y da refuerzo al shotcrete, de acuerdo a su ficha técnica se optó por varias dosis de control calidad. Se muestra las características de fibra metálica (F.M) en tabla 35.

Figura 43 *Fibra metálica*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36*Características de las fibras metálicas WIRAND FS3N*

Diámetro (D)	0,75 mm
Largo (L)	33 mm
Densidad	7860 kg/m ³
Dosis de aplicación	20 kg/m ³
Representación de fibras	Suelta

Fuente: Hoja de datos técnicos MACCAFERRI.**Tabla 37** *Diseño del shotcrete con 10.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-10)*

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra metálica	10.0	10.0 kg
Total	2345,155	

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 38***Diseño del shotcrete con 20.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-20)*

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra metálica	20.0	20.0 kg
Total	2355,155	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39*Diseño del shotcrete con 30.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-30)*

Materiales	Peso húmedo (kg)	Dosificación
Cemento	400	400 kg
Agregado	1821,925	1821,925 kg
Agua	81,23	81,23 Lt
Aditivo Hiperplastificante	4,0	3,70 Lt
Aditivo acelerante	28,0	19,58 Lt
Fibra metálica	30.0	30.0 kg
Total	2365,155	

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Control de calidad

4.4.1. Prueba de slump con fibra sintética

Tabla 40*Resultados del slump con fibras sintética y fibra metálica*

TIEMPO EN (MIN)	FS-2 (pulg)	FS-4 (pulg)	FS-6 (pulg)	FM-10 (pulg)	FM-20 (pulg)	FM-30 (pulg)
0	9 ½	9 ¼	9	9 ½	9	9
30	9 ¼	9	8 ¾	8 ¼	8 ½	8 ½
60	8 ½	8 ¼	7 ¾	7 ¼	8 ¼	7 ½
90	8	7 ¼	7 ¼	7	8	7
120	7	7 ½	7	6 ½	7 ½	6 ¾

Fuente: Elaboración propia.

Se ha podido verificar claramente en la tabla 40, a medida que se añade más fibras sintéticas y metálicas el slump inicial baja, se realizó medición de tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos, donde en el diseño de fibras sintéticas y fibras metálicas FS-4 y FM-20 son óptimos ya que tiene poca pérdida de slump, donde es trabajable y puede ser bombeado por el equipo robot Alfa 20 en el labor de Rp 565 de investigación .

Figura 44 Prueba de slump con fibras sintéticas



Fuente: Fuente elaboración.

Figura 45 Prueba de slump con fibras metálicas.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Ensayo de peso unitario y rendimiento

Según la norma ASTM C - 138 NTP 339.046 Se, determina el peso unitario (densidad), rendimiento relativo del shotcrete mediante un ensayo gravimétrico que debe ajustarse entre los parámetros de 0,98 a 1,02.

Tabla 41

Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete con el diseño FS-2

Descripción	Formulas	Datos
Peso de recipiente	A	3,390 kg
Volumen de recipiente	B	0,007096 m ³

Peso de recipiente + Concreto	C	19,50 kg
Peso de concreto	$D = C - A$	16,11 kg
Peso unitario del concreto	$E = D/B$	2270,293 kg/m³
Peso de concreto en 1 m ³	F	2337,155 kg
Peso de concreto en 4 m ³	$G = 4 \times F$	9348,62 kg
Rendimiento real	$H = G/E$	4,11 m³
Rendimiento del mixer	I	4 m ³
Rendimiento relativo	$J = H/I$	1,02
Densidad de concreto teórico	K	2400 kg/m ³
Contenido de aire	$L = (K - E) / K$	6,5 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42

Resultados del peso unitario y rendimiento del shotcrete de diferentes diseños.

	FS-2	FS-4	FS-6	FM-10	FM-20	FM-30
Peso unitario	2270	2290	2280	2271	2292	2278
Rendimiento relativo	1,02	1,00	1,02	1,03	1,02	1,03

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 42, mediante el ensayo se ha obtenido el peso unitario y rendimiento relativo de cada diseño, donde en el Fibra sintética FS-4 es más óptimo ya que está dentro del rango de los límites establecidos.

Figura 46 Ensayo del peso unitario del shotcrete



Fuente: Fuente elaboración propia.

4.4.3. Ensayo de temperatura del concreto fresco

Según la Norma de ensayo: ASTM C-143 NTP 339.035 establece el procedimiento para realizar la medición del asentamiento del shotcrete en estado fresco.

La Norma de ensayo: ASTM C-1064, Brinda el procedimiento para medir la temperatura del concreto en estado plástico. Así mismo la norma ASTM C-94M – NTP 339.144 recomiendan que la temperatura debe estar en un rango de 13 °C a 32 °C.

Figura 47 Control de temperatura de shotcrete



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 47 se hizo el ensayo en todos los diseños donde están dentro de los límites a una temperatura 24 °C.

Figura 48 Fibra sintética



Fuente: Fuente elaboración propia.

4.5. Resistencia de compresión del shotcrete con fibras sintéticas

4.5.1. Equipos y materiales

Para determinar nuestro segundo objetivo específico, se trabajó con los instrumentos del penetrómetro y la pistola Hilti DX 450, para la obtención de las resistencias a compresión tempranas, los ensayos se realizaron en la Rp 565 principal del nivel 23 de zona profundización

1. Ensayo de penetrómetro digital – Método A

Según la norma EN 14488-2, es válido para medir resistencias iniciales de 0,2 a 1,2 Mpa a un tiempo hasta 3 horas y consiste en medir la fuerza (N) requerida empujando una aguja para que penetre al concreto con una profundidad de 15 mm, el penetrómetro indica la fuerza (N).

Figura 49 *Penetrómetro digital*

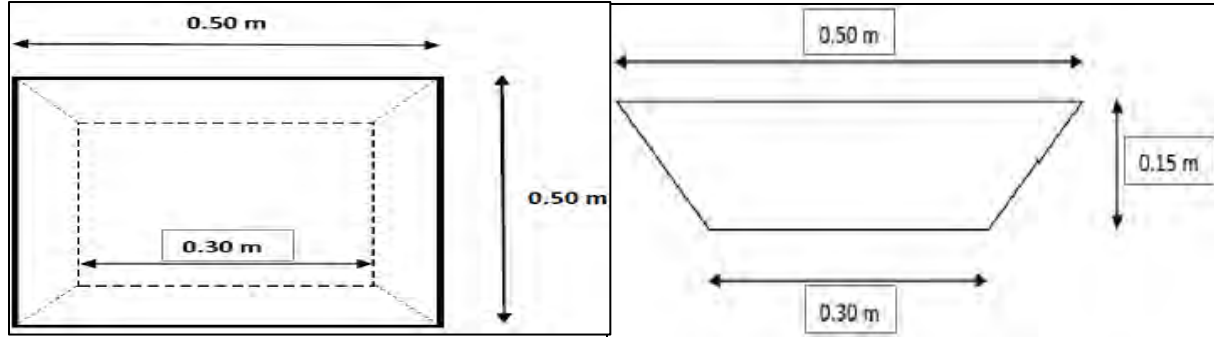


Fuente: Guía chilena del hormigón proyectado, 2016.

a. Equipos

Paneles de trapezoidales tiene las siguientes medidas de 50 cm de base superior, 30 cm de base inferior y 15 cm de profundidad y un penetrómetro con una aguja de 3 mm de diámetro.

Figura 50 Paneles trapezoidales para muestras de ensayo.



Fuente: Rojas Acurio 2021

2. Ensayo con pistola Hilti DX 450 – Método B

Según la norma EN 14488-2, este ensayo es válido para medir resistencias tempranas de 1,2 Mpa a 16 Mpa en un tiempo hasta 24 horas, luego del ensayo del penetrómetro con aguja y que consiste en disparar clavos de 103 mm al concreto y se determina la profundidad de penetración, luego se extrae el perno y se mide la fuerza de extracción, la profundidad de penetración del clavo debe ser al menos 20 mm, la relación de la fuerza extraída y la profundidad de penetración es la resistencia a compresión estimada mediante una curva de conversión que brinda el fabricante.

a. Equipo pulltest

Paneles trapezoidales de 50 cm de base superior, 30 cm de base inferior y 15 cm de profundidad, un martillo Hilti DX 450, clavos de 103 mm, un equipo Pull-test para la extracción de los clavos.

Figura 51 *Equipo de ensayo para hincado de clavo*



Fuente: Galobardes, 2011.

3. Ensayos para resistencia en estado endurecido

El ensayo determina la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto en probetas de 4x8. Muestra de paneles trapezoidal: Este método trata sobre la obtención, preparación y ensayo de núcleos perforados de muestras de shotcrete lanzado en la rampa 565 del nivel 23 en interior mina.

Figura 52 *Preparación de núcleos para ensayo de shotcrete endurecido.*



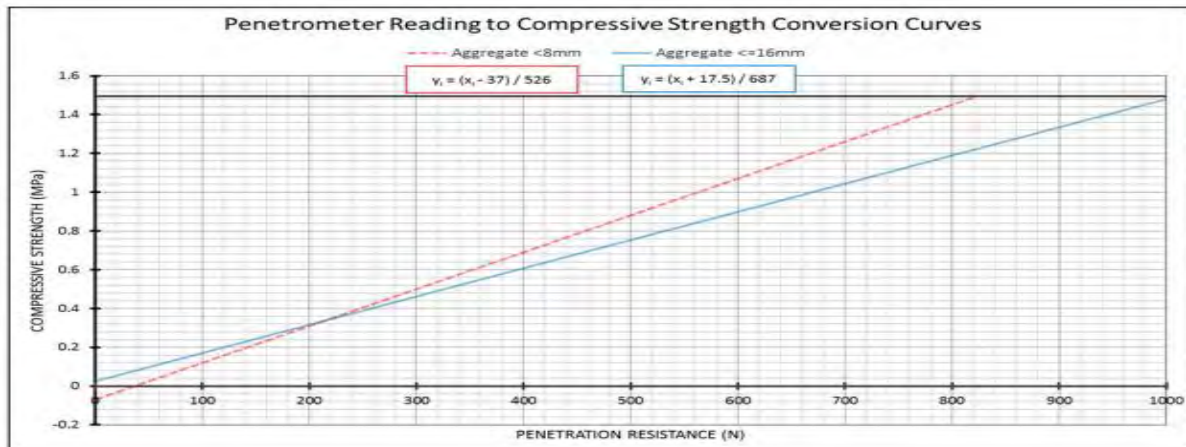
Fuente: Galobardes, 2011

4.5.2. Procedimiento para resistencia iniciales

- Obtenido el muestreo de shotcrete proyectado elaborado en el panel trapezoidal.
- Realizar una cuadrícula sobre la superficie con pintura spread y enumerar 9 cuadrantes
- Iniciar el hincado desde los 10 minutos con la aguja de forma perpendicular hasta la medida indicada de 15 mm y en el orden secuencial de los demás cuadrantes.

- Registrar el valor de la resistencia en la escala, devolver el indicador a la posición original y limpiar la aguja.
- Abortar lectura cuando la aguja hinque la fibra o alguna particular granular que hace resistencia falsa, repetir.
- Realizado el hincado en los 9 cuadrantes, realizar 1 más al azar o en el cuadrante que tenga duda para completar el mínimo de 10 lecturas por edad de ensayo (minutos y horas).
- Repetir en la frecuencia de tiempos determinados y en el orden secuencial de los cuadrantes, hasta alcanzar resistencia inicial de 1,2 Mpa.

Figura 53 Curva de calibración para penetrómetro digital.



Fuente: EFNARC, 2016.

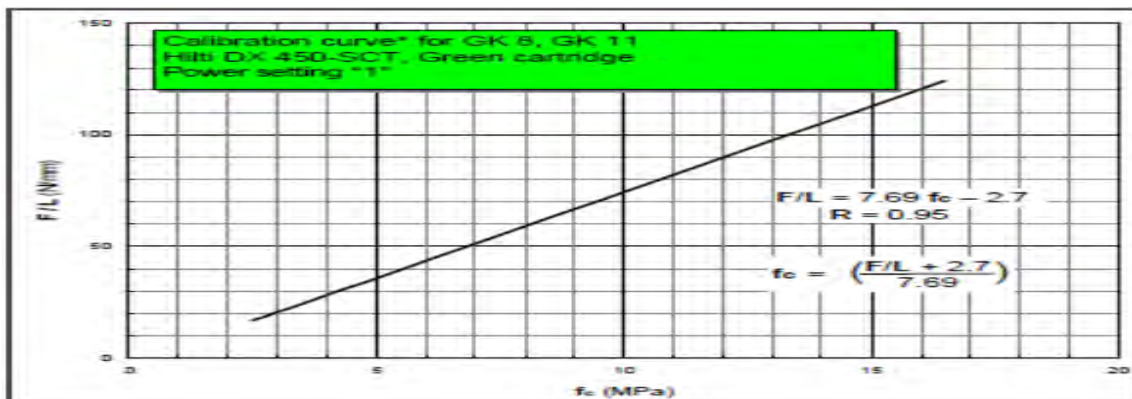
A. Procedimiento para resistencias tempranas

Según Rojas A. (2021)

- Obtenido la muestra de shotcrete proyectado elaborado en el panel trapezoidal, para luego realizar 9 cuadrantes sobre la superficie con pintura spray.
- Hincar 10 clavos de 103 mm y medir la longitud saliente de cada clavo sobre la superficie del concreto y calcular la penetración de cada clavo.

- Seguidamente colocar los pernos autoroscantes en los clavos para la extracción con el pull-test del clavo, dispositivo que jalará los clavos y registrará en el manómetro las unidades de fuerza adquirida (N).
- Luego calcular la fuerza de compresión estimada mediante la relación de la fuerza extraída y la longitud de penetración, para obtener el promedio de las 10 lecturas.
- Para expresar los resultados en resistencia a compresión en Mpa, se calcula mediante la curva de conversión que brinda el fabricante, y la relación de la fuerza media (N), para obtener la fuerza en Mpa.

Figura 54 Curva de calibración del fabricante.



Fuente: EFNARC, 2016.

4.5.3. Determinación de la resistencia del shotcrete con fibras sintéticas

Se realizará el ensayo con de resistencia iniciales de los diferentes diseños.

Figura 55 Equipo putzmeister SPM. 4210 lanzando con fibra sintética



Fuente: Fuente elaboración propia.

Tabla 43*Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro digital en Newton con el FS-2*

En Newtons (Xi)												
Penetrómetro		Resistencia a la penetración (N)										abcisa (xi)
H.	H.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
Inicia.	Acum.											(promedio)
10:10	10	97.4	126.6	144.5	135.3	153.5	146.3	97.0	92.4	95.5	124.8	121.330
10:30	30	297.4	306.6	321.5	315.3	323.6	306.8	289.0	288.4	292.5	314.6	305.570
11:00	60	661.3	655.0	596.8	642.4	630.6	599.6	642.7	648.9	590.0	654.2	632.150
11:30	90	784.6	792.4	840.1	783.4	782.4	831.3	852.4	828.6	854.5	854.7	820.440

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 44***Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro digital en Mpa con el FS-2*

En Mpa (Yi)												
Penetrómetro		Resistencia a la penetración (Mpa)										ordenada (yi)
H.	H.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
Inicia.	Acum.											(promedio)
10:10	10	0.19	0.23	0.26	0.25	0.27	0.26	0.19	0.18	0.19	0.23	0.23
10:30	30	0.48	0.50	0.52	0.51	0.52	0.50	0.47	0.47	0.47	0.51	0.49
11:00	60	1.01	1.00	0.92	0.98	0.96	0.92	0.98	0.99	0.91	1.00	0.97
11:30	90	1.19	1.20	1.27	1.19	1.18	1.26	1.29	1.25	1.29	1.29	1.24

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 45***Ensayo de resistencia inicial de los diferentes diseños del shotcrete (Mpa)*

TIEMPO EN (MIN)	FS-2	FS-4	FS-6	FM-10	FM-20	FM-30
10	0,23	0,44	0,67	0,20	0,43	0,70
30	0,49	0,71	0,99	0,55	0,85	0,98
60	0,97	1,13	1,25	0,95	1,07	1,33
90	1,24	1,47	1,55	1,33	1,50	1,66

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar claramente en la tabla 45 el fraguado rápido del shotcrete vía húmeda que alcanzó una resistencia de compresión óptima inicial en 1 hora la fibra sintética FS-4, FS-6, Fibra metálica FM-20 y FM-30.

Figura 56 Ensayo con penetrómetro digital.



Fuente: Fuente elaboración propia.

4.5.4. Ensayo con pistola Hilti DX 450 – Método B

Tabla 46

Ensayo de resistencia temprana con pistola Hilti DX 450 con el FS-2.

Hora	Tiempo	Longitud Total Ltotal	Saliente NVS	Penetración hnom = Ltotal - NVS	Lectura de la carga de tracción Nu	Carga de tracción real Nu'	Nu' /hnom	Media Σ (Nu'/hnom) /10	Resistencia del Shotcrete F'c
(h : min)	(h : min)	mm	mm	mm	kN	N	N / mm	N / mm	Mpa
12:10 pm	2,0	103	16	87	1.0	1 000	11,5	14,1	2,1
			18	85	1.2	1 200	14,1		
			17	86	1.0	1 000	11,6		
			16	87	1.2	1 200	13,8		
			21	82	1.4	1 400	17,1		
			15	88	1.0	1 000	11,4		
			17	86	1.2	1 200	14,0		
			14	89	1.0	1 000	11,2		
			23	80	1.6	1 600	20,0		
			19	84	1.4	1 400	16,7		
13:10 pm	3,0	103	33	70	2.0	2 000	28,6	24,2	3,6
			34	69	1.8	1 800	26,1		
			32	71	1.4	1 400	19,7		
			25	78	1.6	1 600	20,5		
			30	73	1.4	1 400	19,2		
			32	71	2.0	2 000	28,2		
			28	75	2.1	2 100	28,0		
			31	72	1.8	1 800	25,0		
			31	72	1.6	1 600	22,2		

31	72	1.8	1 800	25,0
----	----	-----	-------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47

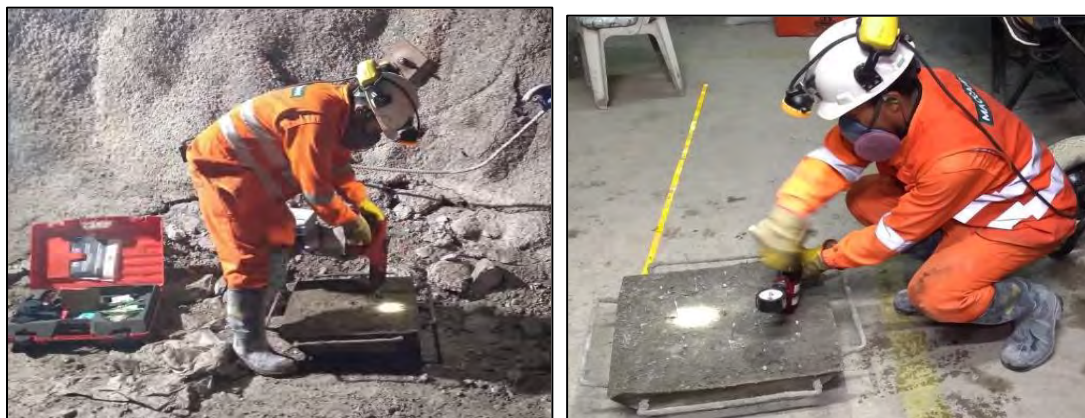
Ensayo de resistencia temprana de los diferentes diseños del shotcrete (Mpa)

TIEMPO (HORAS)	FS-2	FS-4	FS-6	FM-10	FM-20	FM-30
2	2,1	2,3	2,6	1,9	2,1	2,5
3	3,6	3,9	4	2,9	3,3	3,9

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 47 en los diferentes diseños alcanzaron una resistencia óptima en 2 horas.

Figura 57 *Ensayo de la pistola Hilti DX 450 en los paneles trapezoidales*



Fuente: Fuente elaboración propia.

Tabla 48.

Resultados de resistencia a la compresión en probetas 4x8.

Fecha de Muestra	Fecha de Rotura	Edad de rotura	Altura cm. (h)	Diámetro cm. (d)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (F'c)	F'c Promedio (kg/cm ²)
17/08/2022	18/08/2022	1 DÍAS	20,00	10,00	78,54	27216	346,52	353
			20,00	10,00	78,54	28222	359,33	
17/08/2022	24/08/2022	7 DÍAS	20,00	10,00	78,54	36946	470,41	473

2022	2022		20,00	10,00	78,54	37370	475,81	
17/08/	14/01/	28	20,00	10,00	78,54	41555	529,00	525
2022	2022	DÍAS	20,00	10,00	78,54	40922	521,03	

Fuente: Elaboración propia.

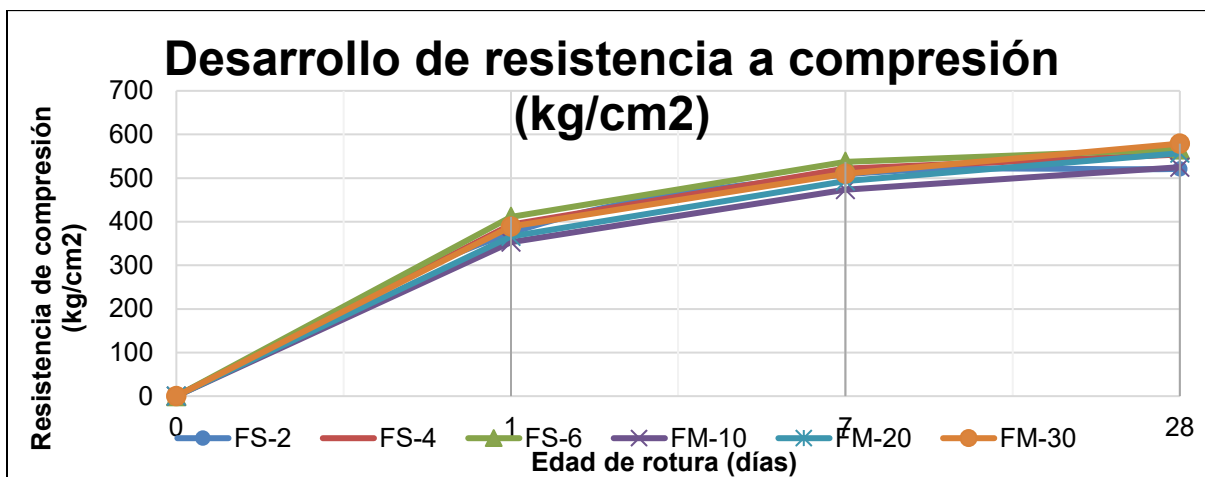
Tabla 49

Resultado de resistencia de compresión fibra sintética y metálica en kg/cm²

EDAD (DÍAS)	FS-2	FS-4	FS-6	FM-10	FM-20	FM-30
1	374	393	411	353	366	389
7	508	522	537	473	493	510
28	521	554	579	525	557	566

Fuente: Elaboración propia.

Figura 58 Curva de resistencia de compresión



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 58, se observamos el grafico de la evolución de la resistencia del concreto de 1,7 y 28 días, donde la FS-6 se obtiene un valor más alto de 579 kg/cm². Es el resultado de control de calidad de la Rp (-) 5656 Sw nivel 23 de la unidad minera Alpayana.

Tabla 50

Resultados de resistencia a la compresión con testigos diamantinas.

Fecha de Muestreo	Fecha de Rotura	Edad de rotura	Altura cm. (h)	Diámetro cm. (d)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (F'c)	F'c Promedio (kg/cm ²)
18/09/2022	19/09/2022	1 DÍAS	12,00	6,7	35,26	7372	209,1	235
			11,70	6,7	35,26	9195	260,8	
18/09/2022	25/09/2022	7 DÍAS	12,30	6,7	35,26	10503	297,9	291
			12,10	6,7	35,26	9993	283,44	
18/09/2022	16/10/2022	28 DÍAS	12,00	6,7	35,26	11605	329,16	338
			11,80	6,7	35,26	12235	347,03	

Fuente: Elaboración propia.

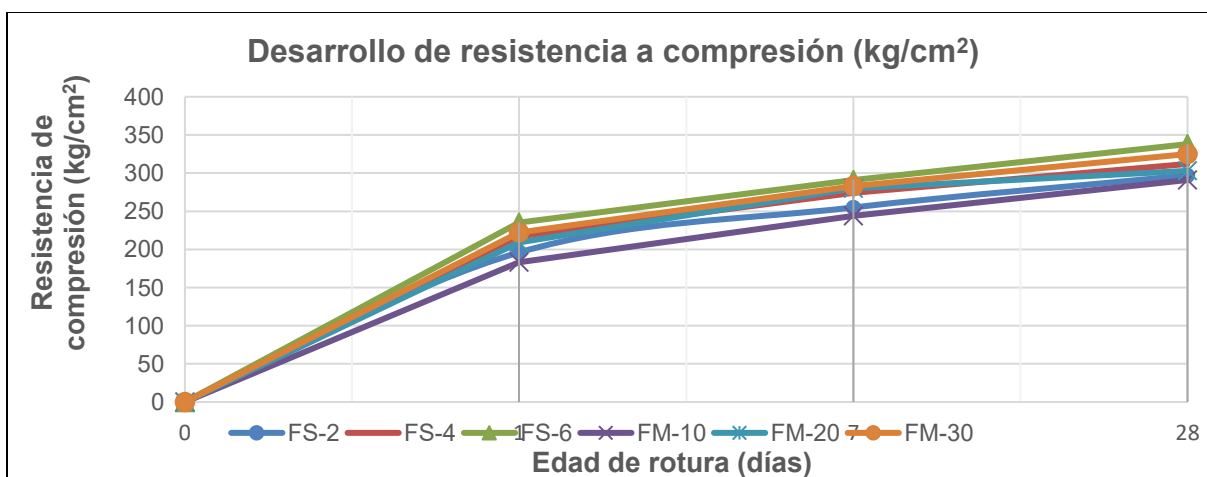
Tabla 51

Resultado de resistencia de compresión en kg/cm²

EDAD (días)	FS-2	FS-4	FS-6	FM-10	FM-20	FM-30
1	196	217	235	183	209	222
7	255	274	291	244	280	283
28	297	312	338	291	303	325

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59 *Desarrollo de resistencia de shotcrete endurecido*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 59 observamos la evolución de la resistencia del concreto en días 1, 7 y 28 días donde el DS-6 se obtiene una resistencia superior de 338 kg/cm² en 28 días.

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

Finalmente, para nuestro tercer objetivo específico, se siguió técnicas y procedimientos para la aplicación del shotcrete vía húmeda en la rampa principal del nivel 23, y para corroborar esta aplicación se realizó ensayos de pérdida de rebote, mediante la relación del peso del rechazo del shotcrete vía húmeda al sustrato y la cantidad total del shotcrete vía húmeda.

4.6.1. Técnicas para el lanzamiento de shotcrete

- El lanzamiento y colocado de shotcrete depende mucho del trabajo del operador.
- Eliminar obstrucciones en la línea de la manguera con un previo soplado.
- La presión de aire debe ser 4 bares, para una buena adherencia al sustrato.
- El flujo de agua debe ser continuo para lograr una eficiente relación de agua/cemento.
- Los niveles del tanque dosificador deben estar controlado para el consumo de lanzamiento.

4.6.2. Aplicación para el lanzamiento de shotcrete

- Preparar la superficie desatando las rocas sueltas y limpiar antes de la proyección.
- Considerar la distancia de la tobera hacia el sustrato que es de 0,80 a 1,20 m.
- Disparar el shotcrete en forma perpendicular y circular a la superficie.
- El lanzamiento debe realizarse de la parte inferior hacia la parte superior.
- El operador debe primero proyectar todas las fisuras y fallas presentes y asegurarse que estén llenas de hormigón proyectado y así evitar el rebote.
- Considera el volumen de cada bombeada impactada en la superficie.
- Realizar una primera capa con espesor de 1", esperar 10 minutos para realizar la segunda capa, de acuerdo a la recomendación.

- La limpieza debe realizarse después de la proyección, para evitar cualquier acumulación de shotcrete.
- Finalmente, colocado de calibradores para el control del espesor del shotcrete.

Figura 60 Lanzado de shotcrete en la rampa principal del nivel 23



Fuente: Rojas Acurio 2021.

a) Pruebas de rebote

Según la norma ACI 506, el rebote es el hormigón proyectado que rebota en la superficie contra el que se proyecta. El rebote depende de:

- La experiencia del lanzador del robot.
- Distancia y ángulo entre la boquilla y sustrato.
- La presión de aire debe ser ideal y constante.
- Tamaño de los agregados de acuerdo a la G-02, tamaño máximo del árido 14 mm.
- Tipo y rugosidad de la superficie. A continuación, en la tabla 63 se observa los límites mínimo y máximo del % de rebote en superficie de shotcrete vía húmeda.

Tabla 52

Porcentaje de rebote para superficies de shotcrete vía húmeda

Superficie	Mínimo	Máximo
------------	--------	--------

Solera o pisos	2 %	5 %
Paredes verticales o inclinadas	5 %	10 %
Techos bóvedas	10 %	15 %

Fuente: ACI 506R

Tabla 53

Cálculo de % de rebote del shotcrete de fibra sintética

Nr. de Valdes	PESO (Kg.)	PESO EN 1 M3 (KG)	PESO EN 4 M3 (KG)	% DE REBOT E
1	26,451			
2	28,236			
3	29,126			
4	27,920			
5	27,650			
6	27,222			
7	27,815			
8	27,710			
9	27,880			
10	28,156			
11	28,782			
12	27,870	2235,502	8942,08	6,82 %
13	28,352			
14	27,040			
15	28,365			
16	27,985			
17	28,365			
18	27,506			
19	28,410			
20	29,230			
21	28,050			
22	22,772			
TOTAL	610,893			

Fuente: Elaboración propia.

Se calculó el % del rebote entre la relación de la suma de los pesos en baldes del rebote rechazado del sustrato que es 610,893 kg y el peso del hormigón en 1 mixer (de rendimiento 4m³) que es 8942,08 kg, y nos da un resultado como indica la tabla 54, de 6,82 %, lo cual es un % de rebote aceptable de acuerdo a la norma ACI 506, esto ya depende de la experiencia del operador lanzador, del rendimiento de los equipos y de la calidad del agregado en el diseño del shotcrete vía húmeda.

Figura 61 Manta para recolectar el rebote del shotcrete.



Fuente: Rojas Acurio 2021.

En la figura 61, se extiende una manta o arpillera negra en todo el campo para la recolección del shotcrete rechazado hacia el sustrato, y se observa realizando el peso de los baldes de todo el rebote de shotcrete, para controlar el % del rebote en todo el lanzado.

4.7. Tiempo de ciclo de minado con shotcrete

Una vez obtenido la resistencia óptima del shotcrete de 1 Mpa en 1 hora, se puede continuar las operaciones en las diferentes labores con la seguridad de sostenimiento que cumple con el diseño.

4.8. Costos unitarios del shotcrete

Se determina los costos unitarios la suma de costos de todo el insumo

Tabla 54*Costo del diseño del shotcrete con 2.0 kg/m³ de fibra sintética (FS-2)*

Materiales	Peso húmedo (kg)	P.U. S/.	Parcial S/.
Cemento	400	0.40	160
Agregado	1821,925	0.05	91.09
Agua	81,23	0.02	1.62
Aditivo Hiperplastificante	4,0	9.95	39.8
Aditivo acelerante	28,0	3.27	91.56
Fibra sintética	2.0	16.40	32.8
Total			416.87

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 55***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	400	0.40	160
Agregado	1821,925	0.05	91.09
Agua	81,23	0.02	1.62
Aditivo Hiperplastificante	4,0	9.95	39.8
Aditivo acelerante	28,0	3.27	91.56
Fibra sintética	4.0	16.40	65.6
Total			449.67

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 56***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	400	0.40	160
Agregado	1821,925	0.05	91.09

Agua	81,23	0.02	1.62
Aditivo Hiperplastificante	4,0	9.95	39.8
Aditivo acelerante	28,0	3.27	91.56
Fibra sintética	6.0	16.40	98.4
Total			482.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57

Diseño del shotcrete con 10.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-10)

Materiales	Peso húmedo (kg)	P.U. S/.	Parcial S/.
Cemento	400	0.40	160
Agregado	1821,925	0.05	91.09
Agua	81,23	0.02	1.62
Aditivo Hiperplastificante	4,0	9.95	39.8
Aditivo acelerante	28,0	3.27	91.56
Fibra metálica	10.0	14.55	145.5
Total			529.57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58

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

Materiales	Peso húmedo (kg)	P.U. S/.	Parcial S/.
Cemento	400	0.40	160
Agregado	1821,925	0.05	91.09
Agua	81,23	0.02	1.62
Aditivo Hiperplastificante	4,0	9.95	39.8
Aditivo acelerante	28,0	3.27	91.56
Fibra metálica	20.0	14.55	291.0
Total			675.07

Fuente: Elaboración propia

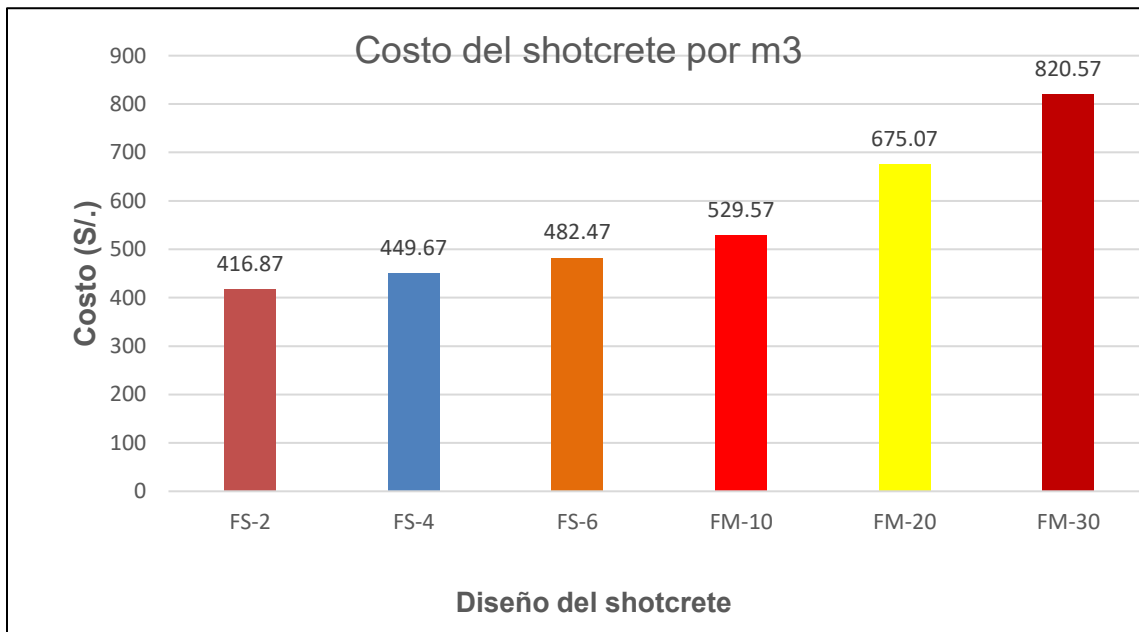
Tabla 59

Diseño del shotcrete con 30.0 kg/m³ de fibra metálica (FM-30)

Materiales	Peso húmedo (kg)	P.U. S/.	Parcial S/.
Cemento	400	0.40	160
Agregado	1821,925	0.05	91.09
Agua	81,23	0.02	1.62
Aditivo Hiperplastificante	4,0	9.95	39.8
Aditivo acelerante	28,0	3.27	91.56
Fibra metálica	30.0	14.55	436.5
Total			820.57

Fuente: Elaboración propia

Figura 62 Costo del shotcrete por m³



Fuente: Elaborada propia.

En la figura 62 Se puede observar diferentes costos/m³ de los diseños de shotcrete, observando que los diseños de las fibras metálicas tienen un elevado costo, y que el diseño óptimo FS-4 de fibra sintética, tiene menor costo de S/. 449,67/M³

CAPÍTULO V:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Análisis desde el punto de vista técnico

- Para los diseños con fibras metálicas se observa en las tablas anteriores que a mayor cantidad de fibras metálicas en el shotcrete el asentamiento disminuye llegando de 6 ¾” en 2 horas, en cambio el shotcrete con fibras sintéticas cuando su asentamiento es menor llegando a 7” en 2 horas, lo cual mantiene su trabajabilidad y consistencia el concreto.
- Con respecto a la resistencia iniciales y tempranas tanto los diseños de fibra sintética alcanzan una resistencia de 1.13Mpa en 1 hora lo cual es óptimo para la resistencia del shotcrete en edades tempranas.
- . En las resistencias de compresión de 1, 7 y 28 días en testigos diamantinas los diseños de fibra sintética y metálica alcanzaron una resistencia óptima de Fibra sintética =338Kg/m², lo cual es lo recomendable para su resistencia en las operaciones y la seguridad.
- Se ha reducido resultado de rebote 6,82 %, lo cual es un % de rebote aceptable de acuerdo a la norma ACI 506R, esto ya depende de la experiencia del operador lanzador, del rendimiento de los equipos y de la calidad del agregado en el diseño del shotcrete vía húmeda.

5.2. Análisis desde el punto de vista económico

Con respecto a los costos de las fibras metálicas tiende a S/. 675.07 / m³, con comparación del shotcrete con las fibras sintéticas son más económicas, lo cual en el diseño óptimo menor costo S/.449.67/ m³ y cumple los estándares establecidos en el shotcrete.

5.3. Análisis desde el punto de vista de seguridad

Desde el punto de vista seguridad se cumple con el ciclo minado y en las operaciones, ya que se llega a la resistencia óptima en 1 hora donde brinda la seguridad en las operaciones y en los trabajadores, a la vez brinda una seguridad a largo plazo con una resistencia dentro de los parámetros sin presentar rajaduras ni desprendimientos durante el tiempo.

También la seguridad es muy importante en el sostenimiento metro avanzado medro sostenido.

5.4. Cuadros comparativos de los resultados

5.4.1. Fibras sintéticas vs fibra metálica

Tabla 60

Cuadro de diseño de fibra metálica y sintética

Cuadro comparativo de diseño optimo (slump)		
Tiempo en (min.)	FS-6 (pulga)	FM-30 (pulga)
0	9	9
30	8 ³ / ₄	8 ¹ / ₂
60	7 ³ / ₄	7 ¹ / ₂
90	7 ¹ / ₄	7
120	7	6 ³ / ₄

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Diseño optimo con método a (penetrómetro digital)

Tabla 61

Cuadro de resistencia inicial

Cuadro de resistencia inicial de shotcrete en 1 hr (Mpa)		
Tiempo en (HR)	FS-4	FM-20
0.16 Hr	0,44Mpa	0,43Mpa
1 Hr.	1,13Mpa	1,07Mpa

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Resultados diseño con fibra sintética

Tabla 62

Cuadro de diseño de fibra metálica y sintética

Resultados resistencia a la compresión con testigo diamante (kg/cm ²)				
Edad (días)	FS-4	FS-6	FM-20	FM-30
1	217	235	209	222
7	274	291	280	283
28	312	338	303	325

Fuente: Elaboración propia.

5.4.4. Índice de rebote

Tabla 63

Cuadro de comparación de rebote

cuadro comparativo de índice de rebote		
Índice	Fibra sintética	Fibra Metálica
% de Rebote	6.82%	8.40%

Fuente: Elaboración propia

5.4.5. Costos /m³

Tabla 64

Cuadro de comparación de costos /m³

Cuadros comparativos de sostenimiento /m ³		
Costo	Fibra sintética 4Kg/m ³	Fibra metálica 20kgm ³
Costo /M3	S/. 449.67	S/. 675.07

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- 1) Se determinó que el parámetro técnico - económica de la implementación de fibras sintéticas son más económicas, se ha reducido el cosco de S/ 675.07/ m³ a S/ 449.67/m³ lo cual en el diseño óptimo FS - 4 se obtuvo menor costo y cumple los estándares establecidos en el shotcrete.
- 2) Es optimo diseño, las resistencias iniciales favorables con el método del penetrómetro digital obteniendo una resistencia de 1.13Mpa en 1 hora en los diseños (FS-4) de la fibra sintética, lo cual es óptimo en resistencias tempranas.
- 3) La resistencia de concreto endurecido en evolución es favorable alcanzando la resistencia de 338 Kg/m² en 28 días los diseño (FS-6), lo cual es óptimo en la resistencia la fibra sintética.
- 4) Se obtuvo un índice de rebote de 6,82% con fibra sintética lo cual está reduciendo dentro del rango de rebote.

RECOMENDACIONES

- 1) Es recomendable implementar un laboratorio para llevar un mejor control de calidad del diseño de shotcrete.
- 2) Se debe de trabajar con una presión de aire de 4 bares, para no perjudicar la adherencia del shotcrete hacia la corona y los hastiales y así evitar deficiencias del shotcrete.
- 3) Es recomendable lograr una resistencia de 0,8 a 1,0 Mpa en 1 hora para tener una evolución favorable.
- 4) Se recomienda mantenimiento semanal de la planta dosificadora y de los equipos, para evitar la inoperatividad durante la dosificación.
- 5) Se recomienda seguir estudiando e investigando la dosificación del shotcrete junto con adición los aditivos y fibras, con la finalidad de una buena calidad de diseño de shotcrete.
- 6) Verificación y calibración de aditivos en los equipos lanzadores
- 7) Se recomienda antes de iniciar el lanzamiento de shotcrete, en una labor se debe realizar el desate de rocas sueltas como parte de procedimiento de lanzamiento.
- 8) Con respecto del objetivo general: Diseñar el shotcrete vía húmeda para construir el sostenimiento de la Rampa principal 565 de Nv 23, se recomienda seguir investigando y ampliar diseños del shotcrete de acuerdo a la temperatura de los diferentes ambientes que se maneja, para dar un óptimo diseño del shotcrete

REFERENCIA 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](file:///C:/Users/Jhon6/Downloads/Diseño%20de%20mezclas%20por%20el%20método%20ACI.pdf).
3. ASTM international. (2015). American Society of Testing and Material.
4. Bracamonte, J. R. (2014). Concreto lanzado en la industria minera, construcción y tecnología en el concreto. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/febrero2014/portada.pdf>.
5. Beresovsky, D. A. (2018). Estudio experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas. Tesis de pregrado para optar el título profesional de ingeniero civil. Pontificia Universidad Católica del Perú.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Henríquez, E. y Zepeda, M. (2003). Preparación de un proyecto de investigación. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95532003000200003&lng=es&nrm=iso.

10. Holmberg, F. A. (2da ed.). (2015). Shotcrete guía chilena del hormigón proyectado. Santiago: Editorial Muñoz.
11. Linares, C. (2018). Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: Correlación entre método normado UNE-EN 14488-2 y método alternativo. Tesis de pregrado para optar el título de ingeniero civil. Universidad de Chile.
12. Meléndez, J. (2018). Obtención de 20 kg-f/cm² de resistencia temprana en dos horas de tiempo de fragua del concreto lanzado en la mina Marca punta norte de Sociedad Minera El Brocal. Tesis de postgrado para optar el grado académico de maestro en gestión minera. Universidad nacional del centro del Perú.
13. Muñoz Muñoz, B. h. (2019). *Propuesta de mejoramiento en el sistema de sostenimiento shotcrete via humeda en seccion cuerpos zona alta-compañia minera casapalca Huarochiri- lima* [tesis titulacion], Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4800>
<https://www.academia.edu/download/55581974/concreto-proyectado.pdf>.
14. Ortega, A. (2020). *Influencia del aditivo superplastificante y fibra sintética en el diseño de shotcrete, aplicado como elemento de sostenimiento del macizo rocoso en la mina Uchucchacua, Lima – 2019*. Tesis de pregrado para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad César Vallejo. Lima.
15. Rojas A. (2021). *“Diseño de shotcrete vía húmeda para construir el sostenimiento de rampa principal aplicando la norma ACI 506 mina Alpayana Lima 2021”*. Tesis de pregrado para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad César Vallejo. Lima

ANEXOS

ANEXO 1: ingreso de materiales de superficie a interior con equipo Dumper y volquetes al interior mina nv14.



ANEXO 2: Imagen de planta shotcrete en interior mina Nv 14 automático



ANEXO 4: Supervisando el lanzado de shotcrete con el equipo robot (ALPHA 20) en la Rp(-)565
nv23.



ANEXO 5: Realizando el seguimiento de control de calidad de medición de slump y grafico de la planta shotcrete.

