

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**DISEÑO Y APLICACIÓN DE SHOTCRETE VÍA
HÚMEDA EN LA RAMPA PRINCIPAL 565
ZONA CUERPOS DEL NIVEL 21 DE
LA COMPAÑÍA MINERA
ALPAYANA S.A.**

TESIS

Presentada por:

Bach. John Santy Rojas Acurio

Para optar el Título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

DISEÑO Y APLICACIÓN DE SHOTCRETE VÍA

HÚMEDA EN LA RAMPA PRINCIPAL 565

ZONA CUERPOS DEL NIVEL 21 DE

LA COMPAÑÍA MINERA

ALPAYANA S.A.

PRESIDENTE :
Dr. Jorge José Segura Dávila

SECRETARIO :
Dr. Carlos Huisa Ccori

VOCAL :
Dr. Edgar Faustino Taya Osorio

ASESOR :
Dr. Julio Vargas Paniagua

DEDICATORIA

Dedico a mis padres: Carmen Rosa Acurio Dávalos y Juan Elías Rojas Condori quien aun estando con vida me siguen apoyando como persona a seguir adelante a pesar de los obstáculos que se me presenten en la vida.

A mi abuelita Justina Dávalos Enríquez que me ha criado en mi niñez y adolescencia y desde el cielo me está cuidando y guiando.

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.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater y a los docentes de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, de la Facultad de Ingeniería, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que nos guiaron con éxito a nuestra formación académica que hoy se constituye en los fundamentos de nuestra vida profesional.

Nuestro agradecimiento a los ingenieros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas que constituyeron con mi formación académica universitaria y mis experiencias adquiridas en diferentes empresas mineras, que siempre los llevamos en mente; a ellos eterno agradecimiento: Ing. Silvio Paz Chino (+), Ing. Carlos Huisa Ccori, Ing. Edgar Taya Osorio, Ing, Julio Vargas Pañiagua, Ing. Julio Fernández Prado, Ing. Dante Morales Cabrera, Ing. Dante Manzanares Cáceres, Ing. Zenón Sarmiento Mejía, Ing. José Rodríguez Copare, Ing. José Valdez Aduvire, Ing. Gualberto Tejada Bedoya, Ing. Salomón Ortiz Quintanilla, Ing. Urbano Pérez Rudas (+),

A la empresa minera Alpayana S.A. por darme la oportunidad de trabajar y permitirme desarrollar el presente trabajo de investigación.

CONTENIDO	Pag.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ANEXOS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema	3
1.1.1. Problemática de la investigación	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Justificación e importancia	5

1.3.1.Justificación del estudio	5
1.3.2.Justificación académica	5
1.3.3.Justificación económica	5
1.4. Alcances y limites	6
1.4.1.Alcances	6
1.4.2.Limitaciones	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1.Objetivo general	6
1.5.2.Objetivos específicos	7
1.6. Hipótesis de la investigación	7
1.6.1.Hipótesis	7
1.6.2.Hipótesis específicas	7
1.7. Variables de estudio	8
1.7.1.Variables	8
1.7.2.Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes teóricos	9

2.2. Sostenimiento en mina subterránea	12
2.2.1.Mecánica de rocas	12
2.2.2.Geomecánica aplicada a minería subterránea	13
2.2.3.Clasificación geomecánica	13
2.2.4.Propiedades geomecánicas	24
2.2.5.Resistencia del shotcrete	26
2.3. Sostenimiento con Shotcrete	27
2.3.1.Shotcrete	27
2.3.2.Requerimientos básicos del Shotcrete	32
2.3.3.Materiales para el shotcrete vía húmeda	33
2.3.4.Dosificación de shotcrete vía húmeda	41
2.3.5.Clasificación del shotcrete	41
2.4. Equipos para mezclado de shotcrete	42
2.4.1.Robot Alpha 20	42
2.4.2.Mixer tornado	45
2.4.3.Mini cargador	47
2.4.4.Planta dosificadora de concreto	48
2.5. Método y aplicación de lanzado de shotcrete	50

2.6. Técnicas para la proyección y lanzado shotcrete	51
2.7. Causas de un shotcrete de baja calidad en minería	53
2.8. Generalidades	53
2.8.1. Ubicación y accesibilidad	53
2.8.2. Geología	55
CAPÍTULO III	59
MARCO METODOLÓGICO	59
3.1. Tipo y diseño de la investigación	59
3.1.1. Tipo de investigación	59
3.1.2. Nivel de investigación	59
3.1.3. Diseño de investigación	59
3.2. Población y muestra	60
3.2.1. Población	60
3.2.2. Muestra	60
3.3. Técnicas e instrumentos para recolección de datos	60
3.3.1. Técnicas para la recolección de datos	60
3.3.2. Instrumentos para la recolección de datos	61
3.4. Procesamiento y análisis de datos	62

3.4.1.Procedimiento	62
3.4.2.Análisis de datos	63
3.5. Flujograma de sostenimiento aplicado a la rampa principal 565	64
3.6. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso de la mina Alpayana	65
3.7. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la rampa 565	66
3.8. Evaluación geomecánica	68
3.8.1.Metodología de aplicación del índice G.S.I.	68
3.8.2.Procedimiento de mapeo geomecánico	68
3.8.3.Datos de la rampa principal 565 del nivel 21	69
3.9. Preparación de la mezcla	71
3.10. Factores operativos para el lanzado del shotcrete	74
3.10.1.Equipos proyectores de shotcrete	74
3.10.2.Personal	75
3.11. Procedimiento para el lanzado shotcrete vía húmeda	76
CAPÍTULO IV	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
4.1. Ensayos físicos de agregados para el shotcrete	78
4.1.1.Ensayo de humedad	78

4.1.2. Ensayo de malla #200	79
4.1.3. Peso específico y porcentaje de absorción	80
4.1.4. Ensayo de granulometría y módulo de fineza	81
4.1.5. Prueba de verificación de caudal (Q) del aditivo acelerante	90
4.1.6. Ensayo para el asentamiento y temperatura	91
4.2. Diseño de mezcla del concreto lanzado	96
4.2.1. Especificaciones	96
4.2.2. Resistencia promedio requerida	97
4.2.3. Contenido de cemento	98
4.2.4. Contenido de agua	98
4.2.5. Elección de los aditivos y fibras metálicas	99
4.2.6. Volúmenes absolutos	99
4.3. Ensayo para cálculos de resistencias iniciales	101
4.3.1. Método de ensayo con penetrómetro - Método A	101
4.3.2. Ensayo con pistola Hilti DX 450 – Método B	103
4.3.3. Resultados obtenidos de las resistencias iniciales	104
4.4. Ensayo del shotcrete en estado endurecido	111
4.4.1. Resultado de resistencia a la compresión de probetas 4x8	111

4.4.2.Resultado de resistencia a la compresión en diamantinas	114
4.5. Aplicación del shotcrete vía húmeda	116
CONCLUSIONES	120
RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS	Pag.
Tabla 1: Operación de variables	8
Tabla 2: Valor de RQD y calidad de roca	15
Tabla 3: Valores de los parámetros del Sistema Q	18
Tabla 4: Comparativo de shotcrete vía seca y vía húmeda	31
Tabla 5: Comparación de ciclo minado	32
Tabla 6: Cuadro de gradación de los agregados	36
Tabla 7: Clasificación de arena por módulo de finura	40
Tabla 8: Especificaciones de Robot Alpha 20	43
Tabla 9: Especificaciones de tornado	46
Tabla 10: Especificaciones de minicargador	47
Tabla 11: Ruta y Ubicación de compañía minera Alpayana S.A.	55
Tabla 12: Resistencia del material del macizo rocoso	67
Tabla 13: Material dominante de relleno	67
Tabla 14: Gravedad específica y absorción del agregado	81

Tabla 15: Ensayo del agregado del 07/12/2020	83
Tabla 16: Ensayo del agregado del 09/12/2020	84
Tabla 17: Ensayo del agregado del 14/12/2020	85
Tabla 18: Ensayo del agregado del 16/12/2020	86
Tabla 19: Ensayo del agregado del 17/12/2020	87
Tabla 20: Ensayo del agregado del 19/12/2020	88
Tabla 21: Control de aditivo	90
Tabla 22: Resultado de slump	94
Tabla 23: Resistencia promedio	97
Tabla 24: Relación entre resistencia y contenido de cemento	98
Tabla 25: Pre-Diseño de mezcla de shotcrete	100
Tabla 26: Diseño de mezcla de shotcrete corregido	101
Tabla 27: Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro	105
Tabla 28: Ensayo de resistencia temprana con pistola Hilti DX 450 SCT	105
Tabla 29: Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro	108
Tabla 30: Ensayo de resistencia temprana con pistola Hilti DX 450 SCT	109
Tabla 31: Resultado de resistencia a la compresión	112

Tabla 32: Resultados de resistencia a la compresión	114
Tabla 33: Cálculo de porcentaje de rebote del shotcrete	119

ÍNDICE DE FIGURAS	Pag.
Figura 1: Procedimiento y cálculo para la medición del RQD	16
Figura 2: Proceso de shotcrete vía seca	28
Figura 3: Proceso de shotcrete vía húmeda	30
Figura 4: Relación agua/cemento	35
Figura 5: Granulometría de agregado mínimo y máximo	36
Figura 6: Robot shotcrete alpha 20	44
Figura 7: Proyección en el frente del robot lanzador	44
Figura 8: Radio de giro máximo de robot	45
Figura 9: Equipo tornado	46
Figura 10: Equipo Minicargador	47
Figura 11: Planta dosificadora de concreto	48
Figura 12: Tolva de arena	48
Figura 13: Mezclador tipo planetario	49
Figura 14: Tolva de cemento	49

Figura 15: Banda transportadora	50
Figura 16: Lanzado de shotcrete	51
Figura 17: Distancia de la tobera a la superficie	52
Figura 18: Mapa de acceso de la compañía minera alpayana	54
Figura 19: Marcado de hastial de 1 metro lineal	68
Figura 20: Condición estructural	69
Figura 21: Cuaderno de recomendación de geomecánica	71
Figura 22: Big bag de cemento	72
Figura 23: Banda transportadora de agregado	72
Figura 24: Mezclador tipo planetario abastecido de fibras metálicas	73
Figura 25: Control de dosificación de concreto	73
Figura 26: Equipo tornado recibiendo mezcla de shotcrete	74
Figura 27: Robot alpha 20 lanzando shotcrete en labor	75
Figura 28: Humedad del agregado	79
Figura 29: Cálculo de humedad del agregado	79
Figura 29: Cálculo de gravedad específica y absorción	81
Figura 30: Malla # 200 del agregado	80

Figura 31: Cálculo de gravedad específica y absorción	81
Figura 32: Módulo de fineza del agregado	82
Figura 33: Ensayo de granulometría del agregado	82
Figura 34: Curva granulométrica del 07/12/2020	83
Figura 35: Curva granulométrica del 09/12/2020	84
Figura 36: Curva granulométrica del 14/12/2020	85
Figura 37: Curva granulométrica del 16/12/2020	86
Figura 38: Curva granulométrica del 17/12/2020	87
Figura 39: Curva granulométrica del 19/12/2020	88
Figura 40: Ensayo de granulometría	89
Figura 41: Caudal del aditivo	91
Figura 42: Diseño de cono de abrams	92
Figura 43: Ensayo de slump en planta shotcrete	95
Figura 44: Ensayo de slump en labor	95
Figura 45: Control de temperatura de shotcrete	96
Figura 46: Diseño de panel prismático	102
Figura 47: Elaboración de cuadrícula en el panel de shotcrete	103

Figura 48: Evolución de la resistencia a edades tempranas	106
Figura 49: Colocación de shotcrete a los paneles	107
Figura 50: Ensayo de resistencia a edades tempranas del shotcrete	107
Figura 51: Ensayo de resistencia a edades tempranas del shotcrete	108
Figura 52: Evolución de la resistencia a edades tempranas	110
Figura 53: Pruebas de resistencia iniciales de shotcrete	111
Figura 54: Desarrollo de resistencia de shotcrete endurecido	112
Figura 55: Ensayos de probetas para la resistencia a compresión	113
Figura 56: Probetas de shotcrete	113
Figura 57: Desarrollo de resistencia de shotcrete endurecido	115
Figura 58: Paneles prismáticos colocado de la labor a lanzar	115
Figura 59: Probetas para el ensayo de resistencia a la compresión	116
Figura 60: Colocación de mantas en labor para recepción del rebote	119

ANEXOS

Anexo 1: Hoja técnica de aditivo hiperplastificante	126
Anexo 2: Hoja técnica de aditivo acelerante	128
Anexo 3: Ficha técnica de fibra metálica	130
Anexo 4: Cuaderno de recomendación geomecánica	131
Anexo 5: Tabla Geomecánica del GSI	134
Anexo 6: Columna Estratigráfica	135
Anexo 7: Planta dosificadora de concreto interior mina nivel 14	136

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad diseñar y aplicar shotcrete vía húmeda para el sostenimiento en la rampa principal 565 de la profundización de zona cuerpos del nivel 21 en la compañía minera Alpayana. Con el propósito de optimizar la calidad del sostenimiento, seguridad y cumplir la meta de la producción.

Se hizo una evaluación de los problemas de estabilidad del terreno, que mediante estudios geomecánicos, se puede establecer el diseño del shotcrete vía húmeda como sostenimiento una herramienta muy importante para el control de desprendimiento de rocas, seguridad al trabajador y cumplir con la producción.

La dosificación de la mezcla requiere componentes de alta gama que brindan fácil aplicación, flexibilidad, durabilidad y una resistencia mayor 300 kg/cm² a 28 días.

Palabras clave: Sostenimiento, shotcrete vía húmeda, geomecánica, resistencia.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to Design and Apply Wet Shotcrete for the maintenance of the main ramp 565 of the deepening of the body zone of level 21 in the Alpayana Mining Company. In order to optimize the quality of maintenance, safety and meet the production goal.

An evaluation of the stability problems of the terrain was made, that through geomechanical studies, the design of the wet shotcrete can be established as support, a very important tool for the control of rockfall, worker safety and compliance with production.

The dosage of the mixture requires high-end components that provide easy application, flexibility, durability and a resistance greater than 300 kg / cm² at 28 days.

Keywords: Sustainability, shotcrete via wet, geomechanics, resistance.

INTRODUCCIÓN

En toda operación de una mina subterránea el trabajo de sostenimiento es muy importante con rocas fracturadas, la que constituye el conocimiento de la geomecánica, para una buena elección del tipo de sostenimiento y soporte a utilizar las propiedades de las rocas.

Por ello se trabajará con sostenimiento de shotcrete vía húmeda, basándose en la estabilidad del macizo rocoso, lo cual permitirá establecer y alcanzar una ventaja en el ciclo minado y una mayor seguridad.

El presente trabajo de investigación contiene la propuesta de sostenimiento mediante un diseño del shotcrete vía húmeda que cumpla con los parámetros de producción y seguridad al trabajador para una mejora continua.

Comprende 4 capítulos, lo cual se expone de manera detallada para su mayor comprensión:

En el Capítulo I, nos muestra el planteamiento del problema, resaltado 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, logrando especificar la hipótesis y las variables que se desarrolla.

En el Capítulo II, trata sobre el marco teórico, considerando los antecedentes de la investigación, teoría referente al shotcrete vía húmeda y material de estudio donde se realizó el trabajo de investigación.

En el Capítulo III, muestra el procesamiento y análisis de datos, como tipo, nivel y método de investigación que utilizamos en el trabajo, nos muestra las técnicas, experiencias y procesamiento de datos y el desarrollo del tema con respecto a la geomecánica y procesamiento de aplicación del shotcrete.

En el Capítulo IV, se da a conocer el análisis del resultado, en el cual explica los ensayos físicos, el diseño del shotcrete vía húmeda en interior mina, el resultado de los ensayos de resistencia a la compresión que se obtendrá según la evaluación.

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. Descripción del problema

1.1.1. Problemática de la investigación

La caída de rocas es un problema diario en interior mina, lo cual al no ser solucionado en el momento llegan a generar pérdidas humanas, materiales y medio ambientales, donde también puede afectar psicológicamente al trabajador durante su desarrollo en la vida.

El desprendimiento de rocas se presenta de acuerdo al tipo de terreno del macizo rocoso, perforación y voladura, presencia de agua, etc.

El sostenimiento en las labores mineras debe cumplirse de acuerdo a las recomendaciones de las tablas geomecánicas que lo da el ingeniero geomecánico, lo cual son elaboradas de acuerdo a una evaluación bien detallada de las características del macizo rocoso y mediante la estimación de calidad se tomara en cuenta el requerimiento de sostenimiento entre esfuerzo y soporte, para poder mantener la estabilidad de las labores y continuar con la operación diario en mina.

La aplicación del sostenimiento busca prevenir accidentes de desprendimiento de rocas, así mismo usando las técnicas correctas del proyecto de lanzado de shotcrete vía húmeda evitando el rebote y que exceda más del 10%, lo cual no da una buena adherencia ni resistencia al concreto y un buen diseño de shotcrete vía húmeda.

Por lo tanto, se optó realizar ensayos físicos de los agregados, diseño del shotcrete vía húmeda, ensayos de concreto fresco y pruebas de resistencia tempranas y a largo plazo para determinar si el shotcrete es óptimo como sostenimiento, a la vez se realizó buenas técnicas y procedimiento para una correcta aplicación de shotcrete, con la finalidad de un mínimo rebote.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el diseño y la aplicación del shotcrete vía húmeda en la rampa principal 565 zona cuerpos del nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es la mezcla óptima del shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.?

¿Cuál es la resistencia inicial del shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.?

¿Cuál es la resistencia de compresión del Shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.?

¿Cuál es la aplicación del Shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.?

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación del estudio

Construir un sostenimiento seguro de shotcrete vía húmeda en la rampa principal 565 del nivel 21 para evitar accidentes por el desprendimiento de rocas, y dar mayor confiabilidad y seguridad a los trabajadores

1.3.2. Justificación académica

Que permitirá ampliar nuestros conocimientos teóricos, para profundizar en el tema de estabilidad en tunelería mediante una buena dosificación de shotcrete, y que servirá como un antecedente de estudio de investigación para trabajos y estudios posteriores.

1.3.3. Justificación económica

El cumplimiento de trabajo donde va a generar mayor producción y generando ganancias económicas

1.4. Alcances y limites

1.4.1. Alcances

Este trabajo de investigación está enfocado más que nada en diseñar y aplicar el shotcrete por vía húmeda como elemento de sostenimiento que es aplicable en todas las labores subterráneas de interior mina, de acuerdo a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso que presentan.

1.4.2. Limitaciones

En la aplicación del diseño de shotcrete vía húmeda se requieren de varios ensayos y muestras para llegar a los objetivos, lo cual he desarrollado las pruebas de ensayo requeridas con la finalidad de culminar el trabajo de investigación siguiendo el procedimiento adecuado y respetando la normatividad.

Como todo trabajo de investigación han existido ciertas limitaciones de índole de información, pero que se han logrado superar, y que se pueden seguir investigando.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y aplicar shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos del nivel 21 en la compañía minera Alpayana S.A.

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar y determinar la mezcla óptima de sus componentes del shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

Determinar la resistencia inicial del shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

Determinar la resistencia de compresión del shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

Aplicar el shotcrete vía húmeda para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. Hipótesis

El diseño y la aplicación del Shotcrete vía húmeda es óptimo para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

1.6.2. Hipótesis específicas

La mezcla de los componentes del shotcrete vía húmeda es óptima para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

La resistencia inicial del shotcrete vía húmeda es óptimo para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

La resistencia de compresión del shotcrete vía húmeda es óptimo para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

Aplicando correctamente el shotcrete vía húmeda se logrará el sostenimiento para la rampa principal 565 zona cuerpos de nivel 21 de la compañía minera Alpayana S.A.

1.7. Variables de estudio

1.7.1. Variables

Variable independiente: Diseño y aplicación de shotcrete vía húmeda

Variable dependiente: Sostenimiento de la rampa principal 565 del nivel 21

1.7.2. Operacionalización de variables

Tabla 1
Operación de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
V 1: Variable independiente Diseño y aplicación de shotcrete vía húmeda	Proceso donde el concreto es diseñado y proyectado sobre la superficie	Distancia de lanzado	m
		Volumen	m ³
		Índice de rebote	%
V 2: Variable dependiente Sostenimiento de la rampa principal 565 del nivel 21	Pegado el concreto lanzado a la superficie	Factor geomecánico	RMR
		Área	m ²
		Resistencia a la compresión	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

En el proyecto de investigación realizada por León, L. (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.

En la siguiente investigación realizada por Torres, L. (2016). “***Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal - minera Bateas***”, sustenta que, “La continuidad de la unidad económica San Cristóbal – Mina Bateas S.A.C. depende del avance de las labores de exploración, preparación y desarrollo para la explotación de los cuerpos mineralizados presentes en la unidad minera, por lo que es de suma importancia mejorar el sostenimiento. Otra consideración que se debe tomar en cuenta es la necesidad de la aplicación de shotcrete como sostenimiento definitivo en las labores debido a la calidad de la roca, por lo que la minera Bateas, busca optimizar los métodos de sostenimiento que se utilizan en la mina. Para la optimización de la aplicación de shotcrete vía húmeda, se tomaron en cuenta las características geométricas, geomecánicas, sostenimiento, lo que dio como resultados el diseño que se aplicó en mina.”. (Tesis de pre-grado). Universidad nacional San Agustín de Arequipa.

En la tesis realizada por Camarena, F. (2016). **“Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la e.e. Robocon S.A.C. en la mina San Cristóbal - Cía minera Volcan S.A.A.”** resume que, “El desarrollo del trabajo se basa principalmente en minimizar el excesivo costo de operación que se origina en el sostenimiento subterráneo con shotcrete por vía húmeda, ya que el reflejo de este problema se da por los altos porcentajes del efecto rebote que se obtiene en cada proceso de lanzado de frente con el equipo Alpha 20 y por ende afecta en el precio por metro cúbico de shotcrete. Por ello se planteó crear un sistema de control de calidad lo cual consiste en asegurar que los procesos, técnicas, productos y servicios sean confiables y nos ayuden a optimizar el rendimiento de todo el sistema de sostenimiento con shotcrete.” (Tesis de pre-grado). Universidad nacional del Centro del Perú.

En el proyecto de investigación realizada por Tapia, J. (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 están 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 pre-grado). Universidad nacional San Agustín de Arequipa.

En la tesis realizada por Ramos, E. (2017). **“Diseño de la mezcla del concreto convencional y concreto lanzado (shotcrete) para obtener un concreto de buena calidad; en la compañía minera Volcan 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 pre-grado). Universidad nacional Daniel Alcides Carrión.

2.2. Sostenimiento en mina subterránea

2.2.1. Mecánica de rocas

Es una ciencia que estudia las propiedades mecánicas de las rocas, es una parte de la geo mecánica que estudia los esfuerzos de compresión, tensión, de corte del macizo rocoso, así como de las fuerzas que se presentan internamente y en sus alrededores, la mecánica de rocas también se dedica al estudio como muestra en los laboratorios especializados y que estas pueden variar de acuerdo a sus características estructurales, planos de diaclasas,

fallas y demás estructuras de las rocas lo cual logra seleccionar según como se presente la roca para determinar el tipo de sostenimiento ideal a emplearse.

2.2.2. Geomecánica aplicada a minería subterránea

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.

2.2.3. Clasificación geomecánica

Mediante el estudio de las condiciones geológicas subterráneas del área, podemos clasificar óptimamente para diseñar eficientemente las estructuras adecuadas y así obtener fortificaciones que garanticen su estabilidad. Cada tipo de roca presenta diferentes características geomecánicas y propiedades físicas. De acuerdo al comportamiento del macizo rocoso, en algunos casos diferentes labores requerirán el uso de fortificación adicional

con el objetivo de estabilizar los bloques o estratos y de esa manera prevenir la inestabilidad de rocas.

Previo a la construcción de labores subterráneas, se debe realizar un estudio consentido de la geología de toda la zona mineralizada mediante perforaciones diamantinas (testigos), mapeos geológicos, etc., siendo físicamente difícil de determinar en un cien por ciento las condiciones en que se encuentran los elementos de un cuerpo mineralizado.

Por lo general, el macizo rocoso presenta un conjunto de bloques irregulares, y que estas muestran discontinuidades así como entre planos de diaclasas, fallas y, por ende la geomecánica de las rocas, debiendo tener presente que se deben de considerar toda sus propiedades de la matriz siendo relativamente compleja.

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en todo el mundo 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.

A) Índice de calidad de la roca (RQD)

John Deere (1963) afirma. “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:

$$RQD = \frac{\sum \text{longitudes} > 10\text{cm}}{\text{longitud total de testigo}} \times 100\% \quad [1]$$

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico del RQD y la calidad de la roca, que se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2

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.

¿Qué es el RQD?

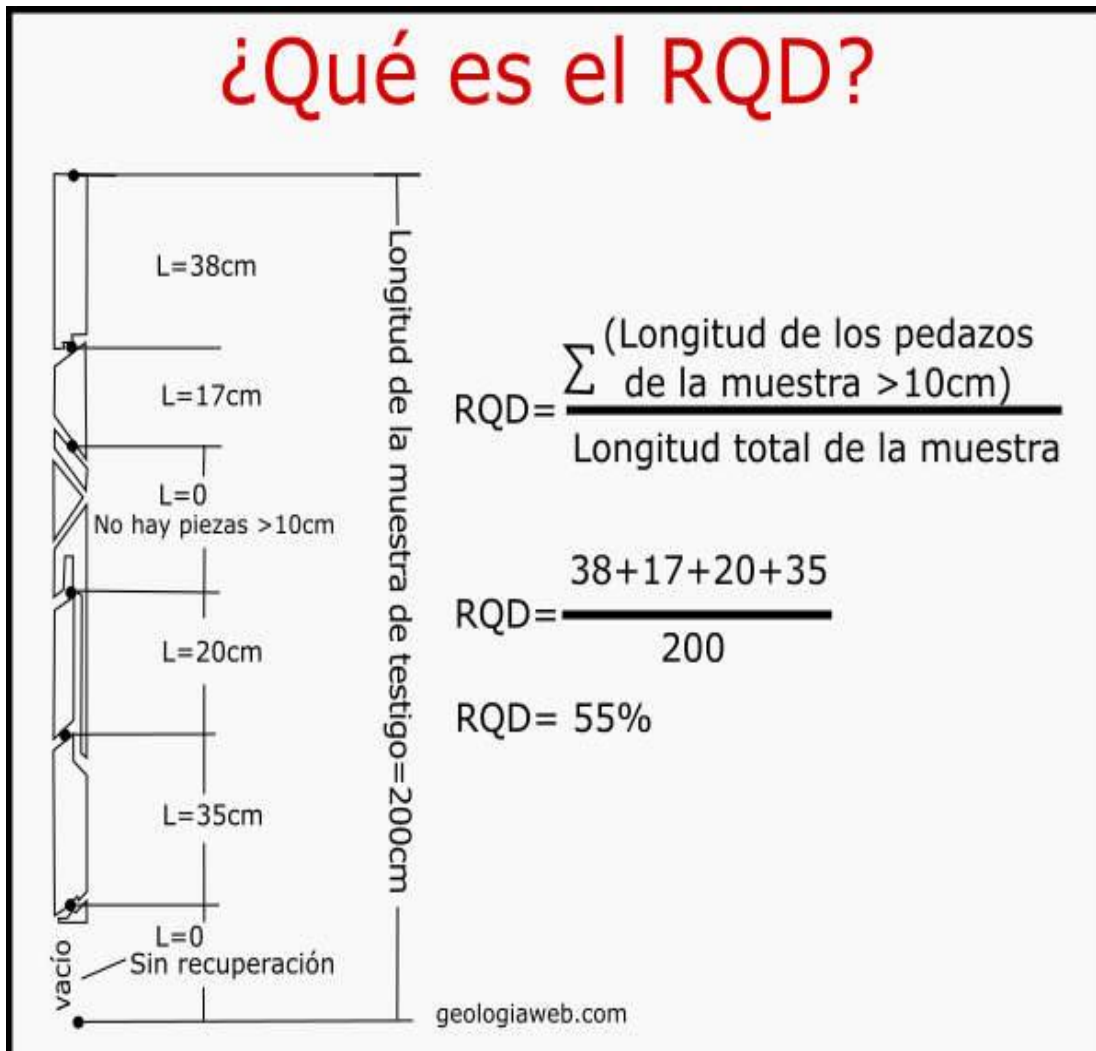


Figura 1. Procedimiento y cálculo para la medición del RQD
Fuente: León, 2018.

B) 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 detallada del macizo rocoso, como se visualiza en la tabla 3, para lo que establece sus correspondientes

evaluaciones” (Camarena 2016, p.35). El sistema “Q” viene expresado por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad [2]$$

Donde:

RQD = Porcentaje de núcleos que se recuperan en tamaños de 10 centímetros o más, de la longitud total del barreno.

J_n = Número 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, como se muestra a continuación:

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

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

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

Tabla 3
Valores de los parámetros del Sistema Q

Número de Familias	Valores
Parámetro: Jn	
“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
“Tres familias de juntas”	9
“Tres familias y algunas juntas”	12
“Cuatro familias o más, roca muy fracturada”	15
“Roca triturada terrosa”	20
Parámetro: Jr	
“Juntas discontinuas”	4
“Junta rugosa o irregular ondulada”	3
“suave ondulada”	2
“Rugosa o irregulares plana”	1,5
“Suave plana”	1
“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
Parámetro: Ja	
“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
“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, reblandecimiento, 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 expansiva”.	8-12
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
Parámetro: Jw	
“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
“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
Parámetro: SRF	
“Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor”.	10
“Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.)”.	5
“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.

El índice Q varía entre 0,001 a 1000 con la siguiente clasificación:

- Entre 0,001 y 0,01: Roca especialmente mala
- Entre 0,1: Roca extremadamente mala
- Entre 0,1 y 1: Roca muy mala
- Entre 1 y 4: Roca mala
- Entre 4 y 10: Roca media
- Entre 10 y 40: Roca buena
- Entre 40 y 100: Roca muy buena
- Entre 100 y 400: Roca extremadamente buena
- Entre 400 y 1000: Roca excepcionalmente buena

C) Clasificación Bieniawsky – índice RMR

Según Torres (2016) indica: La clasificación Rock Mass Rating, es originado por Z. Bieniawski durante el periodo 1972 – 1973, modificado en los años 1976 y 1979, con un análisis de pruebas en un número de más de 300, de túneles, taludes, así como cimentaciones. En la actualidad la edición del año 1989 se usa que es muy coincidente con lo que se corrigió en el año 1979.

En los cálculos del RMR de calidad de la roca se tiene que considerar las características que presenta el macizo rocoso y son los siguientes:

1. El RQD (Rock Quality Designation)
2. Resistencia a la compresión de la roca.

3. El espaciamiento específico de las discontinuidades.
4. Naturaleza de los planos de diaclasas, para lo cual se debe hacer un estudio de las siguientes características principales
5. Orientación de las discontinuidades.
6. Presencia del agua.

Para el resultado de la clasificación del macizo rocoso (RMR) obtenemos mediante las puntuaciones de los valores de los 6 parámetros establecidos estos valores se evalúan de 0 a 100, en cuanto mayor es la puntuación mejor es la calidad del macizo rocoso y se clasifican en 5 clases según Bieniawski:

- Clase I -> Roca de excelente calidad -> RMR (81 – 100)
- Clase II -> Roca de buena calidad -> RMR (61 – 80)
- Clase III -> Roca de calidad regular -> RMR (41 – 60)
- Clase IV -> Roca de mala calidad -> RMR (21 – 40)
- Clase V -> Roca de muy mala calidad -> RMR (0 – 20)

Se describen 10 parámetros seleccionados para definir sus características:

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

2. Espaciamiento.- distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes; comúnmente hace referencia al espaciamiento medio del conjunto de discontinuidades.
3. Continuidad.- extensión superficial de una determinada discontinuidad en un plano inclinado que la contenga.
4. Rugosidad.- familia de irregularidades de diferentes directivas de intensidad (aspereza), que conforman al área de los muros de la discontinuidad.
5. Resistencia de la discontinuidad, resistencia a la compresión del área de discontinuidad. Podría ser menor que la resistencia de la roca matriz gracias a la meteorización.
6. Apertura.- distancia perpendicular entre las paredes de las discontinuidades.
7. Relleno.- material que se encuentra en los muros de las discontinuidades, que generalmente son más vulnerable 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.- Su mayor validez es de 15 puntos que es aplicado como perspectiva del resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple.
2. Índice de calidad de la roca - RQD.- Su mayor validez del RQD es de 20 puntos.
3. Separación entre discontinuidades. - tiene una validación máxima de 20 puntos.
4. Estado de las discontinuidades. - tiene una validación máxima de 30 puntos y es el parámetro que se influye más.
5. Presencia de agua subterránea.- Su mayor validación es de 15 puntos, presenta tres criterios de validación, con un flujo cada 10 metros del túnel, estado general, relación de la presión de agua y la máxima tensión principal de la roca.
6. Orientación en las discontinuidades. – Su validación es negativa que oscila de 0 a 12 puntos para túneles, en función del buzamiento de las diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel. (p.93).

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

El G.S.I. es un sistema de clasificación geomecánica práctico para el uso en minería.

La determinación del índice de resistencia geológica (G.S.I.) es definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad de la roca, que se basa en las condiciones de su estructura (fracturamiento), así como de superficie (alteración, forma de relleno, etc.).

Las características del GSI, más importantes en el desarrollo de su comportamiento son las condiciones de resistencia, fracturamiento, tipo de labor (provisional o permanente) y sección de la labor subterránea.

2.2.4. Propiedades geomecánicas

A. Índice de resistencia manual (Martillo de Schmidt)

“Es un ensayo de campo, se efectúa con el martillo de schmidt determinando el número de rebotes. Con estos implementos se pueden determinar el rango aproximado de la resistencia a la compresión uni-axial (σ_C) de la roca la identificación de campo, descripción, así como el grado de resistencia están consignados” (Roldan, 2018, p.65).

B. Índice de resistencia de carga puntual (Is)

“Este ensayo se ejecuta mediante de la modalidad de carga diametral o ensayo de compresión de Franklin este índice es una indicación razonable de la resistencia a la compresión (σ_C)” (Roldan, 2018, p.65), podemos calcular con la ecuación:

$$R_c = \frac{P}{D^2}, R_c = I_s * 24 \quad [3]$$

Donde:

I_s = Índice de carga de punto.

P = Carga para romper la muestra.

R_c = Resistencia a la compresión.

D = Diámetro del núcleo.

C. Ensayo de compresión simple o uni-axial (σ_C)

“La fuerza por unidad de área requerida para romper una muestra que está sometida a esfuerzo uní axiales y viene expresado en unidades de fuerza sobre el área. El ensayo se realiza con probetas cilíndricas, sometidas las mismas a cargas comprensivas axiales cada vez mayor hasta producir la rotura. Para este caso debe usarse la relación $L/ 2D$ ” (Roldan, 2018, p.65).

$$\sigma_C = 4 * \frac{P}{\pi * D^2} \quad [4]$$

Donde:

σ_C = Resistencia a esfuerzos de compresión.

D = Diámetro de la probeta (cm.)

P = Carga última de ruptura (Kg.).

$\pi = 3,1416$

2.2.5. Resistencia del shotcrete

Según Camarena (2016) afirma: Analizando cómo se desarrolla la explotación del yacimiento, se puede visualizar que la resistencia necesaria del macizo rocoso, estará directamente ligado a los siguientes criterios:

- El concreto lanzado debe tener una resistencia a la compresión óptima para que se adhiera fácilmente al frente, es decir en toda el área, debiendo utilizar como máximo una altura de 5 m.
- El concreto proyectado deberá soportar el empuje de las cajas laterales en todos los niveles.
- Los agregados elementos del shotcrete probable de ser aplicados como sostenimiento que necesitan ser evaluados en sus propiedades físicas y sirven para definir su idoneidad así como la buena dosificación de ellos. (p.31).

Para la determinación del espesor del shotcrete, se tiene que tener en cuenta el índice “Q” y aplicar la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{D}{150} (65 - RSR) \quad [5]$$

Donde:

TC = espesor de shotcrete

D = diámetro de la excavación (pies)

RSR = $13,3 \text{ Log } Q + 46,5$ (relación de soporte de la excavación)

Para determinar la presión máxima de soporte del shotcrete cuando este es aplicado a sección completa y distribución uniforme; se aplica la siguiente formula:

$$P_{smax} = \frac{1}{2} ac.shot \left\{ 1 - \frac{(ri - tc)^2}{ri^2} \right\} \quad [6]$$

Donde:

P_{smax} = presión máxima del soporte (kg/cm²)

$ac.shot$ = resistencia a la compresión del shotcrete (kg/cm²)

ri = radio de excavación del túnel (cm)

tc = espesor del shotcrete (cm)

2.3. Sostenimiento con Shotcrete

2.3.1. Shotcrete

Shotcrete o concreto lanzado es la mezcla homogénea de cemento, agua, agregados, fibras y aditivos, que son aplicados neumáticamente y compactados a gran velocidad sobre la superficie rocosa.

El shotcrete o concreto lanzado se divide en dos métodos que son shotcrete por vía seca y shotcrete por vía húmeda.

A) Método por vía seca

El concreto es mezclado en seco, que se introduce en un alimentador o puede ser alimentado manualmente, mediante una lampa a la máquina gunitadora; de aquí es lanzada a la superficie de la roca mediante una manguera, como es mostrada en la figura 2.

Tapia (2017) afirma: Si la máquina gunitadora es del tipo rotor, la mezcla entra a la manguera impulsada por éste, que es una rueda distribuidora de eje vertical con huecos. La mezcla es lanzada mediante la presión del aire comprimido hasta la boquilla que va equipada de un distribuidor múltiple perforado, por donde el agua se atomiza mezclándose, la mezcla ya húmeda se proyecta desde la boquilla sobre la superficie. (p.12)

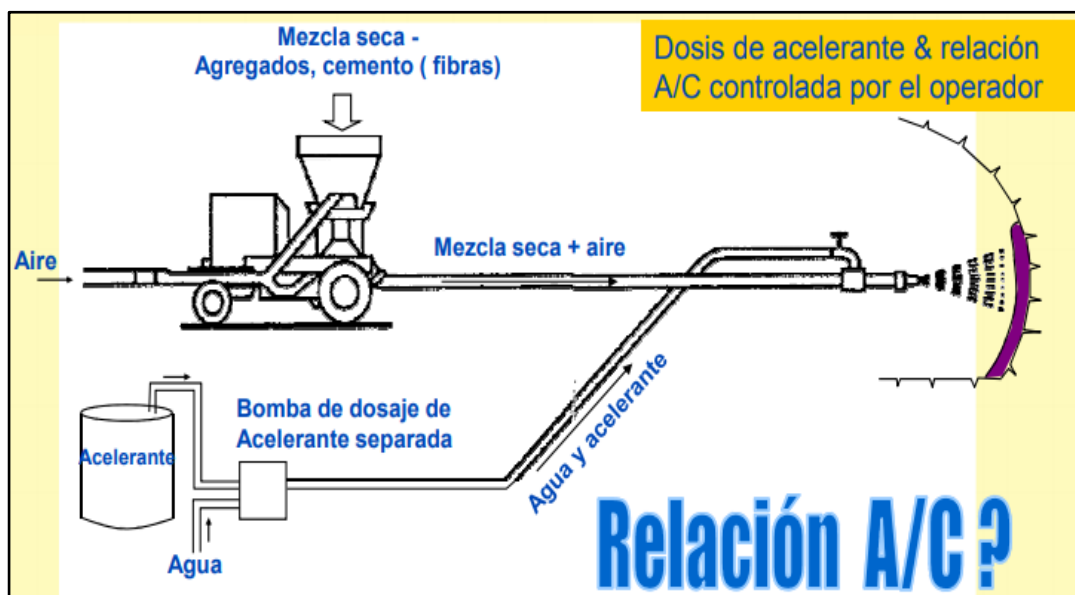


Figura 2. Proceso de shotcrete vía seca
Fuente: Díaz, 2014.

Características del método por vía seca

- Este es el método clásico y no requiere de una mecanización especializada.
- Todos los materiales, incluyendo los aditivos, son mezclados previamente al recorrido del material por la manguera, hasta la tobera.
- El agua es introducida en la boquilla para ser manualmente regulada, por lo que depende de la habilidad del operador.
- El equipo es más compacto, por lo tanto, más adaptable en túneles con espacio limitado o de sección pequeña.
- La mezcla puede contener agregados hasta 0,75 pulgadas de diámetro.
- Se produce polvo durante la operación de lanzado.
- La pérdida por rebote inevitablemente es alta.
- La producción es relativamente baja en comparación a los otros métodos.

B) Método por vía húmeda

Este método consiste en mezclar previamente el cemento, agregados y agua en una planta dosificadora, como se muestra en la figura 3

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 4 bar y 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.

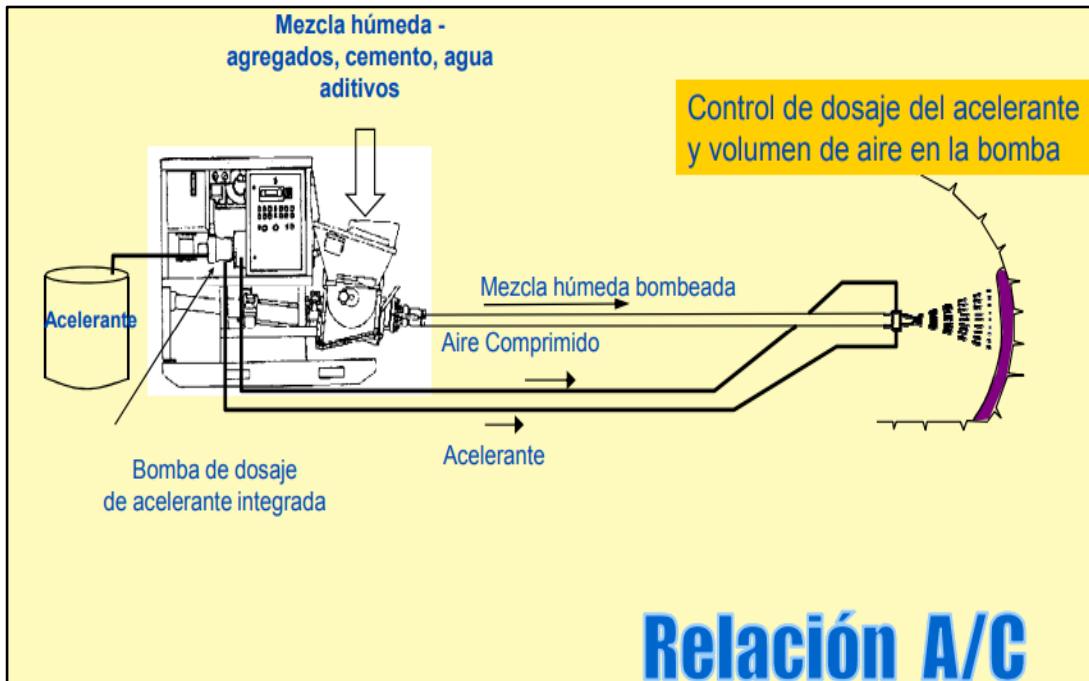


Figura 3. Proceso de shotcrete vía húmeda
Fuente: Díaz, 2 014.

Ventajas del método de vía húmeda

- Bajo rebote (5 – 10%): Dependerá mucho del uso de equipos, mano de obra calificada, y presión del lanzado del concreto, se logran obtener pérdidas en el rango normal de 5 y 10 %.
- Se obtiene mejor ambiente de trabajo, al minimizar la presencia de polvo.
- Capas gruesas debido a la efectiva mezcla de materiales.
- Control de la relación agua/cemento y calidad.

- Dosificación controlada del agua (relación a/c constante y definida).
- Mayor capacidad de producción (30 m³ en 8 horas).
- Economía mejorada en la aplicación del hormigón proyectado.
- Mayor resistencia a la compresión y mejor adherencia.
- Uso en espacios de dimensiones grandes más de 3 m. x 3 m.
- Ahorro de tiempo en las labores de preparación por su alto rendimiento.

Tabla 4

Comparativo de shotcrete vía seca y vía húmeda

Método vía seca	Método vía húmeda
Control instantáneo sobre el agua de mezclado y consistencia de la mezcla en la boquilla para cumplir con las condiciones variables del lugar	El agua de mezclado se controla en el equipo de entrega y puede ser medida con precisión
Más apropiado para mezclas que contengan agregados livianos, materiales refractarios y concreto que requiera resistencia temprana	Mejor seguridad de que el agua de mezclado es completamente mezclada con el resto de los ingredientes
Puede transportarse a largas distancias	Menos polvo y pérdida de cemento
Mejor control del inicio y parado de la colocación con menor desperdicio y mayor flexibilidad	Por lo regular, menor rebote, y con ello, menor desperdicio de material
Baja producción de 5 m ³ por guardia	Alta producción de 30 m ³ por guardia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5
Comparación del ciclo de minado

SHOTCRETE VIA SECA							
Perforación	Vol.	Limpieza	Sostenimiento	Perforación	Vol.	Limpieza	
2,50 h	0,5 h	2,00 h	5,00 h	2,50 h	0,5 h	2,00 h	
Ciclo total: 10 horas							
SHOTCRTE VIA HÚMEDA							
Perforación	Vol.	Limpieza	Sostenimiento	Perforación	Vol.	Limpieza	Sostenimiento
2,50 h	0,5 h	2,00 h	2,00 h	2,50 h	0,5 h	2,00 h	2,00 h
Ciclo total: 07 horas				Ciclo total: 07 horas			

Fuente: Díaz, 2014.

2.3.2. Requerimientos básicos del Shotcrete

Según Córdor (2017) afirma:

A) Requerimientos mecánicos:

- Tendrá que tener una resistencia a edad temprana, suficientemente para afrontar las tensiones especialmente en el último tramo excavado.
- Obtener resistencias suficientemente para compensar los esfuerzos de corte y flexo-tracción, para de ese sentido tolerar eficientemente a las sollicitaciones del “empuje de roca”.

B) Requerimientos físicos:

- Proteger contra la meteorización y deterioro del área de la roca del macizo rocoso atravesado.

- Evitar el ingreso del aire y la humedad en las grietas de la roca.
- Evitar que la alteración de temperatura a la excavación adquiera un mayor rango.

C) Requerimientos hidráulicos:

- Taponear la presencia de infiltración de agua en la labor.
- Reducir la rugosidad en los hastiales de la labor, para conservar y vigilar la pérdida de carga, cuando la excavación del túnel tiene el propósito de conducir agua.

D) Requerimientos químicos:

- Proteger la roca al encuentro de aguas agresivas, humos, gases.
- Evitar que la roca circundante a la excavación del túnel sufra alteración por efectos de las aguas ácidas. (p.82)

2.3.3. Materiales para el shotcrete vía húmeda

A) Cemento

El cemento comúnmente utilizado para el shotcrete en nuestro país es el cemento portland puzolánico o portland siderúrgico de alta resistencia. En nuestro trabajo de investigación se usó cemento portland tipo 1.

El cemento ejerce como un “aglutinante” en la mezcla de hormigón proyectado que unifica las partículas de agregado mediante la mezcla, además actúa como un principal lubricante del shotcrete, posee un fraguado hidráulico y por ello es parcialmente responsable de las propiedades mecánicas de la mezcla endurecida. No obstante, aquí hay un requerimiento fundamental que no es situación en concreto estructural.

B) Agua

El agua debería ser limpia y estar independiente de porciones dañinas como el aceite, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras proporciones que perjudiquen 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.

Relación agua/cemento

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 4 y demanda una mayor dosificación de acelerante.

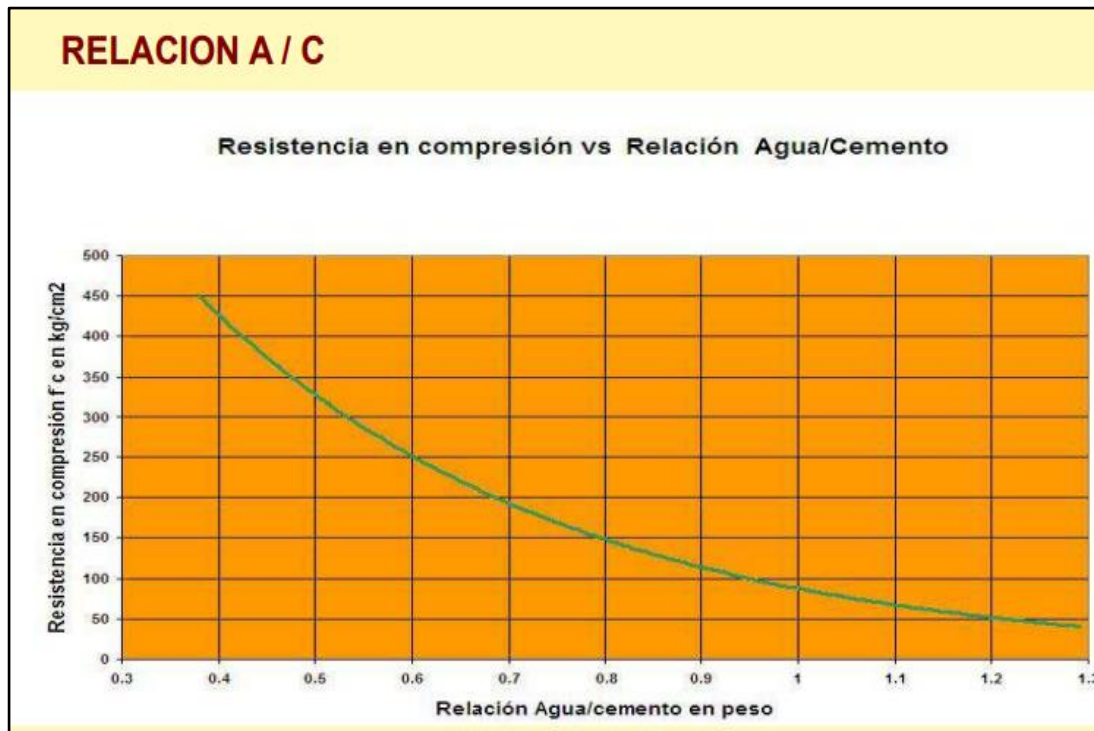


Figura 4. Relación de Agua/Cemento
Fuente: Díaz, 2014.

C) Agregados

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 6 se especifica cada gradación de los diferentes agregados, y en la figura 5 nos representa la granulometría de agregado mínimo y máximo.

Tabla 6

Cuadro de gradación de los agregados

Malla	Porcentaje que pasa en peso por malla individual		
	Graduación	Graduación	Graduación
	N°1	N°2	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 506 – Guía de Shotcrete, 2014.

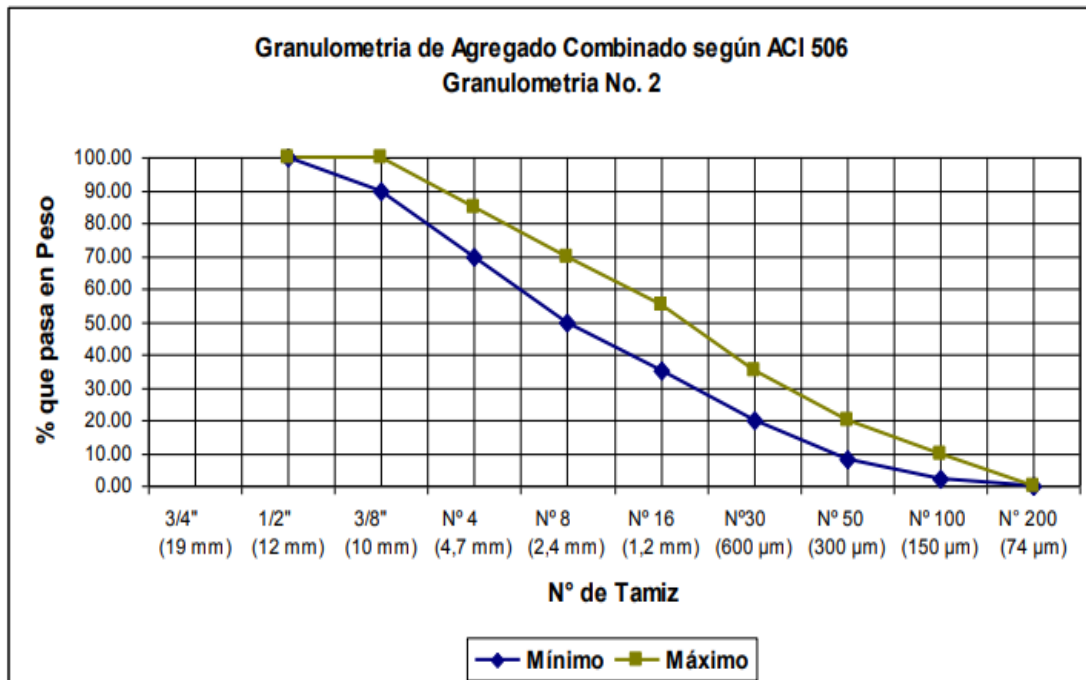


Figura 5. Granulometría de agregado mínimo y máximo

Fuente: ACI 506 – Guía de Shotcrete, 2014.

D) Aditivo hiperplastificante

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

E) Acelerante

Haa macfree plus es un acelerante de fraguado, líquido, libre de álcalis.

El propósito es obtener bajos períodos de tiempo de fraguado inicial, y una óptima adherencia al macizo rocoso a cubrir y propiedades mecánicas elevadas.

El aditivo del acelerante puede variar según la dosificación para alcanzar los tiempos de fraguado y resistencias iniciales deseadas.

Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos acelerantes de fraguado Tipo C.

Ventajas y desventajas

- Accede el incremento de una resistencia inicial continua, a la vez de lograr una resistencia óptima en largo plazo.
- Baja pérdida de resistencia final del hormigón proyectado (generalmente con los acelerantes tradicionales entre 20 y 50 %).
- Acortamiento del peligro de la reacción álcali-agregado, por medio de la eliminación del contenido de álcalis de los acelerantes comunes.
- Baja formación de polvo y por lo tanto, crea un ambiente de trabajo saludable.
- No es agresivo, reduce el impacto ambiental.

Aplicación

El rango de dosificación recomendado para el haa macfree plus, depende de la temperatura del concreto, y del ambiente de trabajo.

El consumo del aditivo haa macfree plus, normalmente fluctúa: Entre 4 – 9% con respecto al peso del material cementicio dosificado.

Una sobredosis del haa macfree plus, de > 12 % pueden resultar en una disminución de resistencia final del shotcrete.

F) Fibras de acero

Son fibras estructurales metálicas de alta calidad diseñadas para reforzamientos en lanzado de shotcrete. Son utilizadas exitosamente para remplazar la malla electrosoldada en el reforzamiento de túneles, con un excelente desempeño comprobado con ensayos de laboratorio según normas EFNARC y ASTM. Incrementan la tenacidad del concreto, resistencia al impacto y resistencia a la fatiga, con el beneficio de mayor control de las fisuras respecto a los reforzamientos alternativos.

G) Módulo de finura

El módulo de finura (MF) de una arena es calculado, acumulando % retenidos de las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100; dividiendo la sumatoria entre cien. Estos valores límites lo presento en la tabla 7, de acuerdo a la clase de arena:

Tabla 7*Clasificación de arena por módulo de finura*

Arena	Módulo de finura
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 506 – Guía del Shotcrete, 2014.

Calculo del módulo de finura

$$MF = \frac{\% \text{ acumulado retenido desde la malla N}^{\circ}04 \text{ a N}^{\circ}100}{100} \quad [7]$$

$$\% \text{ retenido acum.} = \% \text{ retenido acum. de malla anterior} + \% \text{ retenido parcial de dicha malla} \quad [8]$$

% Acumulado que pasa:

$$\text{Para malla N}^{\circ}x = 100\% - \% \text{ retenido acumulado de malla N}^{\circ}x \quad [9]$$

El procedimiento del análisis granulométrico descrito anteriormente está regido por la Norma ASTM C-136, el módulo de finura por la ASTM C-125 y los límites de graduación por el ACI 506, debido a que es para concreto lanzado. Es necesario mencionar que puntualiza la calidad y graduación de los agregados finos, así como de los agregados gruesos, que se utilizan en el concreto. Además es necesario recalcar que la granulométrica del agregado fino permite clasificarse por su módulo del grado de finura.

2.3.4. Dosificación de shotcrete vía húmeda

Cemento: 390 – 450 kg/m³

Relación a/c= 0,4 – 0,5

Dn= 1/3 diámetro boquilla

Arena: 70 –80%

% que pasa #100: 15 –30%

MF arena: 2,5 –2,9

2.3.5. Clasificación del shotcrete

La tecnología del concreto permite hoy en día clasificar el Shotcrete según los resultados obtenidos de resistencia a la compresión con los métodos de Penetrómetro y Pistola hilti DX450.

Esta especificación se encuentra en la guía austríaca para Aplicación de shotcrete (Sprayed Concrete Guideline):

- **Clase J1:** Se adecua para el uso de capas menores de una pulgada, en donde no exige especificaciones.
- **Clase J2:** Se utiliza en la aplicación de capas de mayor volumen frente a operaciones que impliquen ciertas especificaciones como soporte de carga inmediata cuando se realizan taladros para colocar pernos.
- **Clase J3:** Se recomienda utilizar en casos especiales cuando existe la

presencia de agua (filtraciones) y que el área sea crítica presentando un enorme desequilibrio de esfuerzos.

Este formato es empleado en control de calidad para el shotcrete “fresco”. La guía considera al shotcrete como “fresco” dentro de las primeras 24 horas de edad.

2.4. Equipos para mezclado de shotcrete

2.4.1. Robot Alpha 20

Los equipos lanzadores de shotcrete, son sistemas altamente mecanizados fuertes para lanzar con shotcrete vía húmeda neumáticamente a través de una manguera a alta velocidad sobre un terreno como se muestra en la figura 6, estos equipos son diseñados especialmente para aplicaciones subterráneas. La fuerza que el hormigón proyectado se compacta logra que se sostenga a sí misma, inclusivamente en aplicaciones sobre la cabeza, como se muestra en la figura 7. El propósito de esto es proteger al personal y evitar colapsos en la minería subterránea. Para utilizar el shotcrete de esta forma, tiene una verificación precisa del tamaño máximo, la relación arena/agregado grueso y su manejabilidad, mortero llega a esta, hace que la mezcla.

Para el método por vía húmeda se mezcla con aire y además con insumos que aceleran el fraguado. El concreto lanzado por vía húmeda puede ser

disparado en caudal diluido, o de forma densa en la tabla 8 podemos ver las especificaciones del robot alpha 20.

Tabla 8
Especificaciones del robot alpha 20

Especificaciones	
Modelo	Alpha 20
N° de serie	S205
Unidad de potencia	
Motor	Deutz bf4m1013110c
Potencia	110 Kw a 2 300 RPM
Bomba hidráulica brazo	Sauer
Bomba hidráulica bombeo	Comercial
Bomba de hormigón	
Marca y modelo	Semmco bs
Cilindros de hormigón	Ø 152 mm. – 760 mm. carrera
Presión hidráulica max	200 bar.
Capacidad acéite hidráulico	400 litros
Características	Sistema circuito hidráulico doble, para desplazamientos positivos del tubo “S”. Control de reserva instantánea en los cilindros principales, desde control remoto. Ajuste completamente automático de la carrera de los cilindros principales. Sin válvulas para regular. Enfriador de acéite hidráulico.
Caudal nominal	20 mts./cúb. por hora
Altura vertical	40 metros
Distancia horizontal	100 metros
Tamaños de agregado	12 mm. máximo
Brazo Robotizado	
Marca y modelo	Semmco alpha 20
Tipo	Brazo rotatorio con doble extensión
Alcance vertical	9 metros
Alcance horizontal	6 metros
Ángulo de rotación	250°
Características	Funciones completamente proporcionales, operadas desde el control remoto, con posibilidad de regular velocidad de movimientos.
Control remoto	
Tipo	Inalámbrico
Joysticks	Hetronic
Dimensiones del equipo	
Largo	5,50 metros
Ancho	2,20 metros
Altura	2,40 metros
Peso	Cargado, con combustible y acelerante 7 ton.

Fuente: Guía de equipos Normet, 2016.



Figura 6. Robot shotcrete alpha 20
Fuente: Guía de equipos Normet, 2016.

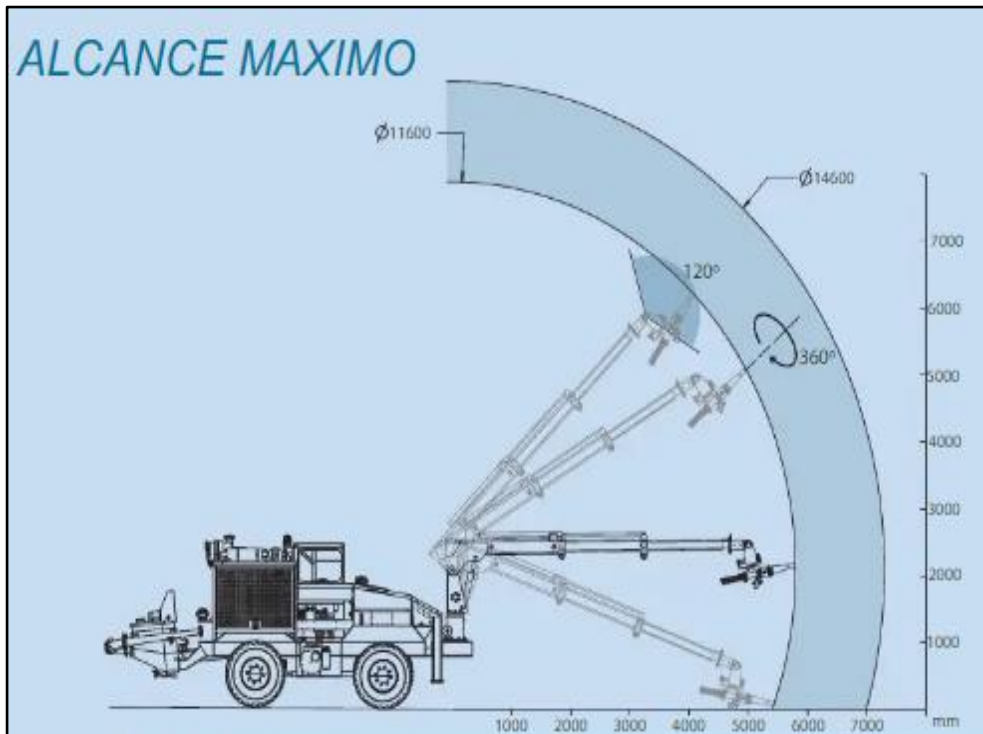


Figura 7. Proyección en el frente del robot lanzador
Fuente: Guía de equipos Normet, 2016.

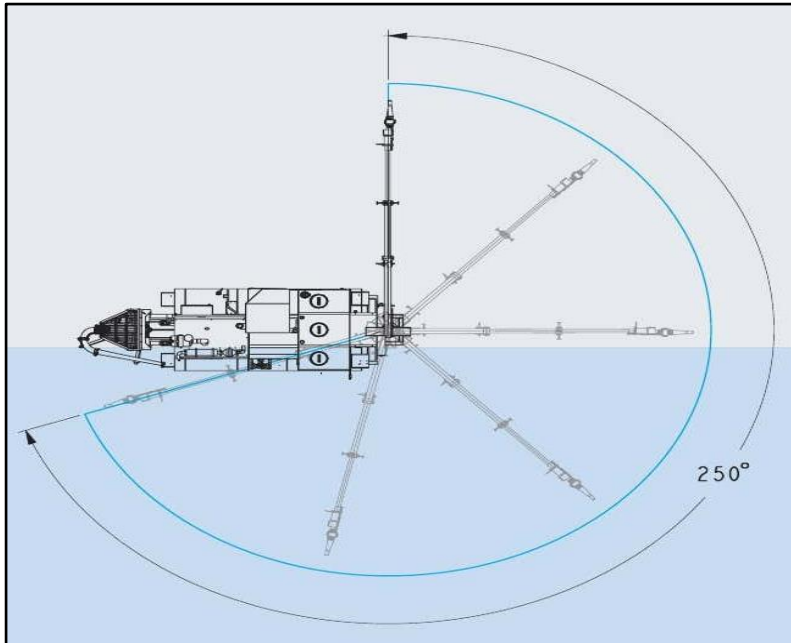


Figura 8. Radio de giro máximo de robot
Fuente: Guía de equipos Normet, 2016.

2.4.2. Mixer tornado

El equipo hormigonera se conforma por una cuba giratoria soportado por el bastidor de un equipo adecuado para poder sobrellevar el peso como se muestra en la figura 9. La cuba giratoria, presenta una forma cilíndrica estando sobre la parte posterior donde tiene la función de mezclar de los componentes. Esta cuba reposa encima del chasis, mediante soportes y rodillos. Dentro de la cuba giratoria las paletas facilitan al shotcrete una mezcla longitudinal uniforme y un vaciado óptimo. Su orientación puede variar, para proporcionar el mezclado en el fondo, en el transporte o para recolectar el hormigón en el vaciado. En la parte superior trasera de la cuba giratoria, se ubica la tolva de carga, que es de tipo abierto, con una elevada pendiente hacia adentro de la

misma. En la parte trasera baja de la cuba, está ubicada la descarga formada por una canaleta en dirección a 180° de giro y con una gradiente que se ubica con un sistema mecánico convencional, o hidráulico. En la tabla 9 nos muestra las especificaciones del mixer tornado.

Tabla 9
Especificaciones de tornado

Condición	Usado
Potencia de motor	162 HP a 2 300 RPM
Capacidad del tambor mezclador	4 m ³
Velocidad en horizontal	18 km/h
Marca	Normet
Peso	8 000 Kilogramos
Largo	7,151 mm
Ancho	2,231 mm
Alto	2,610 mm
Radio de giro interno	3,695 mm

Fuente: Guía de equipos Normet, 2016.



Figura 9. Equipo tornado
Fuente: Guía de equipos Normet, 2016.

2.4.3. Mini cargador

Mini cargador, para el abastecimiento único de arena a la tolva para la dosificación de mezcla shotcrete, en la figura 10 nos muestra el equipo mini cargador.

Tabla 10

Especificaciones de mini cargador

Peso	3,37 tn.
Capacidad de carga nominal	975 kg
Neumáticos estándar	12x16,5
Ancho cuchara	1,68 m.
Longitud de transporte	3,71 m.
Anchura transporte	1,68 m.
Altura transporte	2,11 m.
Fabricación del motor	Caterpillar
Modelo del motor	C3.3B DIT
Rendimiento de motor	54,9 kw
Cilindrada	3,3 L.
Revoluciones	1 500 rpm

Fuente: Guía de Caterpillar, 2014.



Figura 10. Equipo mini cargador

Fuente: Guía de Caterpillar, 2014.

2.4.4. Planta dosificadora de concreto

La planta dosificadora de concreto está ubicada en interior mina nivel 14 como se observa en la figura 11, lo cual comprende una tolva de arena (capacidad 30 m³) como se muestra en la figura 12, tolva de cemento (capacidad 30 m³), banda transportadora de arena y cemento, y mezclador tipo planetario (capacidad 1 m³) como se muestra en la figura 13.



Figura 11. Planta dosificadora de concreto
Fuente: Elaboración propia – Interior mina nivel 14.



Figura 12. Tolva de arena

Fuente: Elaboración propia – Interior mina nivel 14.



Figura 13. Mezclador tipo planetario

Fuente: Elaboración propia – Interior mina nivel 14.



Figura 14. Tolva de cemento

Fuente: Elaboración propia – Interior mina nivel 14.



Figura 15. Banda transportadora
Fuente: Elaboración propia – Interior mina nivel 14.

2.5. Método y aplicación de lanzado de shotcrete

La técnica del shotcrete se rige por principios específicos, donde se refieren al manejo de la boquilla por el operador y a la colocación del material sobre la superficie. Es imprescindible que el operador cuente con el conocimiento, capacitación y la experiencia adecuados en dichos principios para lograr un trabajo de buena calidad.

Aquí se tiene algunas técnicas de operación en el lanzado por vía húmeda:

- Los resultados dependen de la experiencia del operario calificado.
- El caudal del concreto debe ser continuo.
- El flujo de agua debe ser continuo logrando eficiencia en la relación agua cemento.

- El tanque dosificador deberá tener niveles para poder controlar el consumo de lanzado.
- El lanzado de una labor minera debe de iniciarse desde el nivel del piso y continuar subiendo, como nos representa la figura 16.

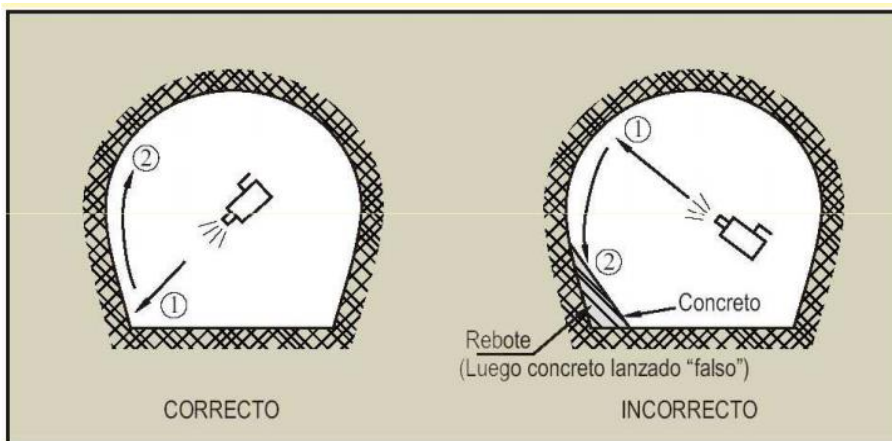


Figura 16. Lanzado de Shotcrete
Fuente: Torres, 2016.

- Cuando se lanza por capas se retira el rebote y se lava la superficie shotcreteada.
- El flujo del aire debe de ser continuo.

2.6. Técnicas para la proyección y lanzado shotcrete

- 1) Monitorear el caudal y la presión del aire.
- 2) Controlar la distancia y así como la ubicación de la tobera en dirección de la superficie que puede variar entre 80 cm. a 120 cm)

3) Determinar el diámetro de giro del orbitador.

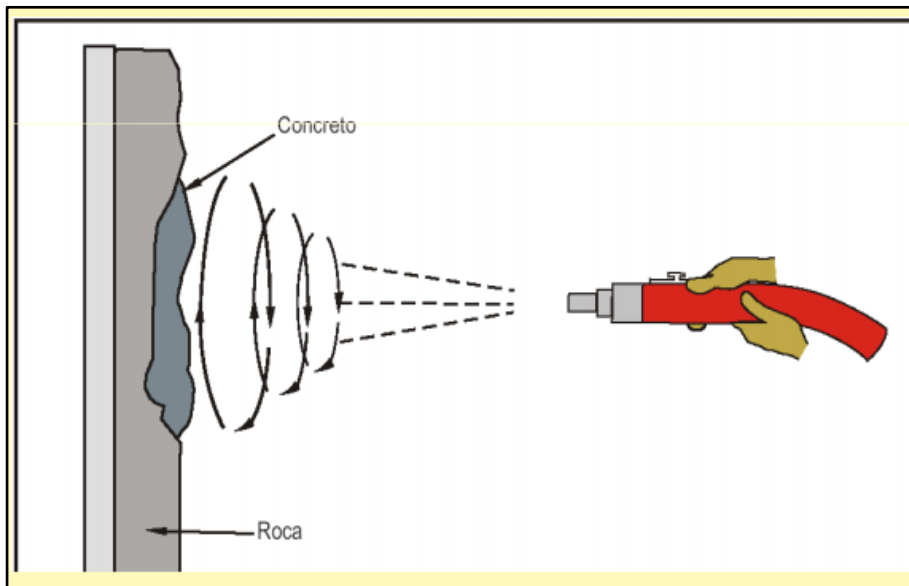


Figura 17. Distancia de la tobera a la superficie
Fuente: Torres, 2016.

- 4) La dosificación del concreto, así como su cantidad es fundamental.
- 5) Controlar la distancia en giro circular de la tobera.
- 6) Avanzar la proyección considerando la distancia del diámetro del orbitador (que varía en el rango de 20 a 30 cm por cada bombeada).
- 7) Considera el volumen de cada bombeada impactada en la superficie
- 8) Considerar las 2 medidas en volumen del diámetro del orbitador (varía en el rango de 1,27 cm. y 0,635 cm; se obtiene estas medidas considerando la capacidad de bombeo).

2.7. Causas de un shotcrete de baja calidad en minería

- Resistencia al cambio.
- Incorrectas técnicas de aplicación.
- Mano de obra no calificada.
- Resistencia al cambio.
- Deficiente logística de suministros.
- Resistencia al cambio.
- Servicios auxiliares e insumos deficientes.
- Uso de equipos e infraestructura de proyección no apropiados.
- Control de calidad deficiente.

2.8. Generalidades

2.8.1. Ubicación y accesibilidad

Ubicación

La compañía minera Alpayana S.A. se encuentra ubicada en el distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, y se muestra en la figura 18.

Está ubicada en la zona central, flanco Oeste de la cordillera Occidental de los Andes, con una altitud promedio de 4 400 m.n.s.m., y se ubica a la altura del km 115 de la carretera central.

Sus coordenadas geográficas:

- Latitud Sur: 11° 30'
- Longitud Oeste: 76° 10'

Encontrándose el campamento Alpayana a los 4 350 m.s.n.m. en las coordenadas UTM, Datum Psad – 56, Zona 18.

- Norte: 8'710,455.60
- Este: 366,761.70

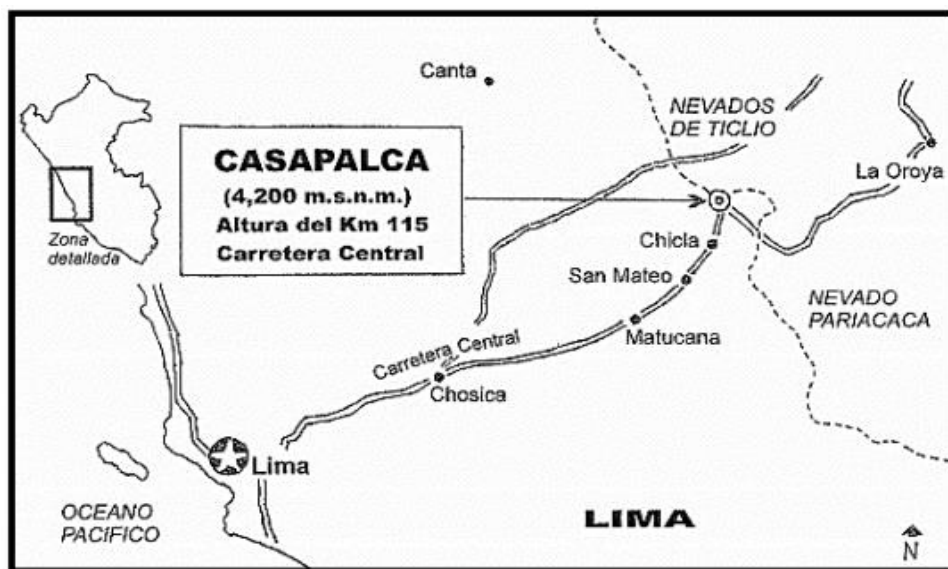


Figura 18. Mapa de acceso de la compañía minera Alpayana
Fuente: Cóndor, 2018.

Accesibilidad

El acceso se realiza desde la ciudad de Lima mediante la carretera central, pasando las localidades de: Lima – Chosica – Matucana – San Mateo – Chicla

– Casapalca 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 El Carmen hacia el Sureste, y que conduce 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 11

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.

2.8.2. Geología

A. Geología regional

Muñoz (2019) afirma: La compañía minera Alpayana S.A. está ubicado geológicamente sobre depósitos cuaternarios, estos están suprayaciendo a rocas sedimentarias e intrusivas del cretáceo superior y terciario Inferior. La mayor estructura prominente es el anticlinal de Alpayana que está ubicada en el centro de la mina, demostrando un pliegue con 80 grados de inclinación del eje axial, que muestra menores plegamientos en sus flancos Noreste y Suroeste. Se ha inspeccionado fallas pre-minerales en subsuelo que moviliza a las vetas, como la “Gran falla” que posee rumbo N55°W.

Los plegamientos, estratigráficamente las unidades del distrito están sometidas, poseyendo los ejes con rumbo de N20°W, lo que demuestra que sean paralelos al lineamiento general de la Cordillera de los Andes.

El anticlinorium Casapalca que es la estructura de máxima importancia presenta plegamientos menores en sus flancos, el sinclinal americano posee estructuras volcánicas terciarias expuestas, su núcleo son las calizas Bellavista, se ubica bordeando el flanco noreste del anticlinorium Casapalca.
(p.12)

Estratigrafía

“La Columna estratigráfica (ver anexo 06) de la región está conformada principalmente por areniscas, lutitas calcáreas, calizas, brechas, rocas volcánicas, tufos y lavas, las cuales alcanzan un espesor aproximado de 5,4 m” (Córdor, 2017, p.28).

Se dividen en las siguientes deformaciones: formación jumasha, formación casapalca, formación Carlos Francisco, formación bella vista y formación río blanco.

B. 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, sobreyaciendo a estas se encuentra el miembro Carmen; constituida principalmente por una serie de areniscas, lutitas y conglomerados.

C. Geología estructural

Según Córdor (2017) afirma: En la mina Alpayana el aspecto estructural es uno de los factores más indispensables, los diferentes movimientos en el tiempo de la tectónica andina han ocasionado la formación del marco estructural presente en el campo, aprovechando de estos campos débiles anticipadamente formadas, la actividad magmática del mioceno Tardío ha accedido el emplazamiento de intrusivos ácidos que son los responsables de la mineralización.

Los sistemas de esfuerzos ocasionados en las etapas de la tectónica andina, en el terciario y pleistoceno en la zona central del Perú sobretodo en la región de Alpayana, han conformado un conjunto de estructuras extensas con fallas, pliegues y fracturas. Es indispensable nombrar que este conjunto estructuras controlan el emplazamiento de los intrusivos y la mineralización de las vetas mineralizadas. (p.31)

D. Geología económica

Cóndor (2017) afirma: Casapalca presenta yacimiento polimetálico cordillerano principalmente con minerales de plata, cobre, zinc y plomo, que determina una mineralización demarcada vertical y horizontalmente según el zoneamiento, principalmente será vertical debido al carácter mesotermal de las vetas que llegan hasta la cota 3 900 m.s.n.m.

En roca sedimentaria se desplazaron cuerpos irregulares durante la mineralización producto de la sustitución de calcitas por una solución hidrotermal.

En la zona de concesión se localizan una serie de afloramientos con presencia de fracturas simples con carbonatos y vetas anchas rellenas de sulfuros y cuarzo, con contenido de carbonatos, estas fracturas presentan paralelismo entre sí. (p.35)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, puesto que se realiza el diseño de shotcrete donde se podrá ajustar su diseño en cada una de la labor con presencia de diferentes tipos de roca, de esa forma lograr el sostenimiento respectivo.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel del trabajo de investigación es descriptivo y explicativo, a fin de aproximar al problema y saber cómo se demostraron, en sus propiedades más resaltantes, que permite contraponer la hipótesis con la verdad hasta ser confirmada después del estudio de análisis y resultados.

3.1.3. Diseño de investigación

Se utilizará el método no experimental, ya que los datos reales se tomarán en un momento en el campo, sin la necesidad de cambiar nuestras variables.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio es en zona de cuerpos de la unidad minera Alpayana como labores de preparación, explotación y de desarrollo, de los diferentes niveles.

3.2.2. Muestra

La muestra representa una parte integrante de la población donde se va a realizar el trabajo de investigación que viene a ser la rampa 565 del nivel 21, en la unidad minera Alpayana.

3.3. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.3.1. Técnicas para la recolección de datos

- Observación del procedimiento del trabajo en el campo, en la dosificación de la planta dosificadora de concreto y en el lanzado del concreto mediante un procedimiento correcto con el equipo robot.
- Entrevista al jefe del área de geomecánica respecto a los comportamientos del macizo rocoso en interior mina, jefe de guardia, operadores y ayudantes, sobre el procedimiento de trabajo del concreto lanzado (shotcrete), todo esto para la recolección de información.

- Evaluación del macizo rocoso mediante una tabla geomecánica G.S.I. (Índice de resistencia geológica), donde se considera el grado de fracturamiento del macizo rocoso y las condiciones del mismo (resistencia, apertura, alteración y rugosidad) con el fin de aplicar el tipo de sostenimiento.
- Para realizar ensayos físicos de agregados, resistencia del concreto (paneles prismáticos, trapezoidal y probetas), asentamiento del concreto (cono de abrams), prueba del rebote se adecuaron a las normas A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) y A.C.I. 506 (American concrete institute).

3.3.2. Instrumentos para la 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 abrams (0,20 m. x 0,10 m. x 0,30 m).

3.4. Procesamiento y análisis de datos

3.4.1. Procedimiento

Para realizar el siguiente trabajo de investigación se ha realizado el siguiente procedimiento:

- Visita al campo, para la verificación de las condiciones del macizo rocoso y el ambiente que se encuentra.
- Luego se evaluó el comportamiento del macizo rocoso mediante con una tabla G.S.I. (Índice de resistencia geológica), en el área donde se va a realizar el trabajo de investigación, considerando todas las condiciones que se presentan.
- Se realizó los ensayos físicos del agregado al laboratorio según las normas A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials), para realizar el diseño del shotcrete.
- Una vez ya obtenido los resultados de las características físicas del agregado, se procede a efectuar el diseño del shotcrete mediante el método A.C.I. 506 (American concrete institute).
- Después de obtener el diseño corregido del shotcrete se realiza control de calidad en estado fresco para medir la consistencia del shotcrete con el ensayo del cono de abrams.

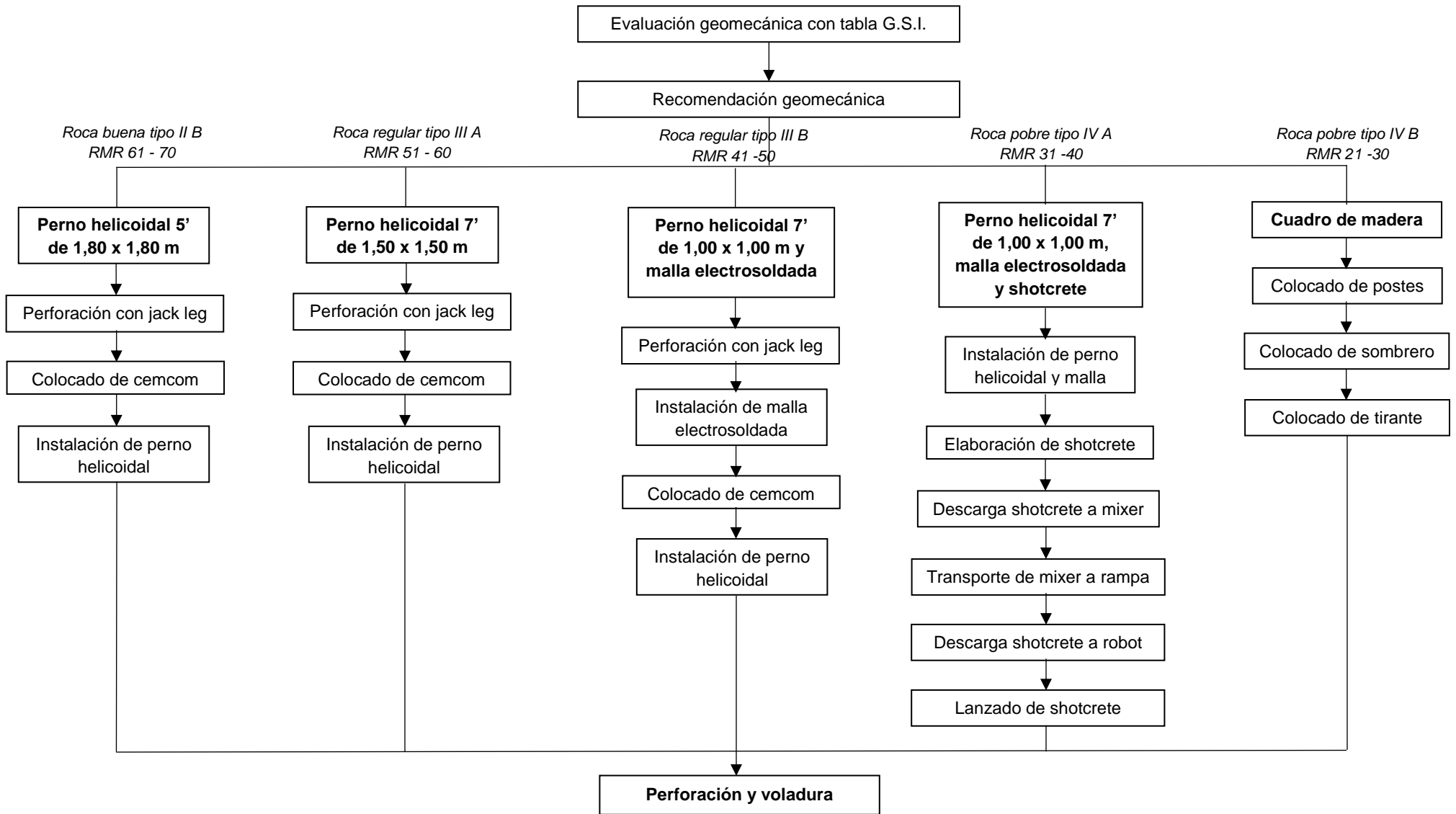
- Luego se elaboró muestras en paneles trapezoidales para determinar la resistencias tempranas del shotcrete con el penetrómetro con aguja y la pistola hilti DX 450 mediante la norma EFNARC.
- También muestras en probetas cilíndricas para determinar la resistencia de compresión del shotcrete a 7, 14 y 28 días mediante la norma ASTM.
- Finalmente se aplicó mediante las técnicas y procedimientos establecidos para el lanzado correcto del shotcrete vía húmeda a la rampa 565 del nivel 21 para obtener una buena adherencia y arrojar un mínimo rebote.

3.4.2. Análisis 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) y A.C.I. 506 (American concrete institute).

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.

3.5. Flujograma de sostenimiento aplicado a la rampa principal 565



3.6. Condiciones geomecánicas del macizo rocoso de la mina Alpayana

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

- **Roca tipo I:**

Rocas generalmente duras y moderadamente fracturadas. Las fracturas son discontinuas e irregulares y con superficie cerradas e inalteradas. El RQD mayor de 90% valores de RMR encima de 60 y Q mayores de 6. La roca con calidad Q igual o mayor a 6, para un diámetro de 6,40m. se auto soporta y no requiere soporte sistemático, requiriendo ocasionalmente pernos puntuales para estabilizar eventuales cuñas.

- **Roca tipo II:**

El macizo rocoso está sano ha ligeramente meteorizado, es de resistencia dura a media, afectando por discontinuidades con desplazamiento amplios o moderados (0,2 – 2m) y con trazas continuas. Pequeñas zonas de cortes y

fallas pequeñas a medianas. Las diaclasas tienen superficies inalteradas a ligeramente meteorizadas y/o con signos de deslizamiento. Las fracturas (juntas) son frecuentes planas y continuas. Los valores del RQD están en el rango de 25 – 90 %, el RMR entre 41 – 60 y Q entre 0,4 – 6.

- **Roca tipo III:**

El macizo rocoso está fracturado o cizallado y moderado completamente meteorizado, de resistencia media a baja. Las fracturas están abiertas y rellenas con material arcilloso. Las zonas de fallas tienen rellenos de: material arcilloso, milonita, o roca muy fracturada o triturada. Los valores de “Q” están entre 0,001 – 0,4 y el RMR con valores inferiores a 40.

3.7. Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la rampa 565

La geomecánica del macizo rocoso en la rampa 565 se puede determinar que la zona de cuerpos; se encuentra formada por relleno de fracturas, las venillas que se encuentran con rumbo de vetas madres, y el cuerpo mineralizado de galena, tetraedrita y carbonatos; y según remplazamiento la que se presenta siguiendo el rumbo de los estratos/horizontales de areniscas calcáreas y/o remplazando los clastos y/o matriz calcárea en el conglomerado, presenta así minerales de esfalerita, galena.

Tabla 12*Resistencia del material del macizo rocoso*

Grado	Descripción	Identificación	Resistencia a la compresión uni-axial (Mpa)
R0	Roca extremadamente débil	Roca endentado por uña del dedo pulgar	0,25 – 1,0
R1	Roca muy débil	Se desmorona bajo golpes con martillo de geológico	1,0 – 5,0
R2	Roca débil	Descarrillado por un cuchillo de bolsillo con dificultad,	5,0 – 25,0
R3	Roca de resistencia media	Fracturado con simple golpe firme del martillo geólogo	25 - 50
R4	Roca resistente	Requiere más de un golpe del martillo geológico para fracturarlo	50 - 100
R5	Roca muy resistente	Requiere muchos golpes del martillo geológico para fracturarlo	100 – 250
R6	Roca extremadamente resistente	Puede ser solamente descascarado con martillo geológico	> 250

Fuente: León, 2018.

Tabla 13*Material dominante de relleno*

Material dominante del relleno	Comportamiento del relleno
Arcilla expansiva	Expansiva libre, se hace lado presiones expansivas y empuje sobre el escudo
Arcilla inerte	Se afloja y se hace lado por compresión muy fuerte bajo condiciones extremas
Clorita, talco, grafito o sepetina	Se deshace
Roca triturada, fragmento de comportamiento arenoso	Se deshace o escurre, el tiempo de sostén puede ser muy breve
Calcita porosa o en hojuelas yeso	Condiciones favorables

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Evaluación geomecánica

3.8.1. Metodología de aplicación del índice G.S.I.

Para la aplicación de esta tabla geomecánica G.S.I. (índice de resistencia geológica), que consiste en la evaluación del grado de fracturamiento del macizo rocoso y las condiciones del mismo (ver anexo 5) se tiene que tener lavadas los hastiales y el techo de la labor, se requiere los instrumentos de una picota, pintura y flexómetro.

3.8.2. Procedimiento de mapeo geomecánico

- Seleccionar la tabla 1 o 2 (desarrollo o explotación).
- Evaluar la condición estructural (1): Contar el número de fractura en 1 metro lineal como muestra la figura 19 y ubicar en la tabla geomecánica a donde corresponde.



Figura 19. Marcado del hastial de 1 metro lineal
Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Condición Estructural
Fuente: Área de geomecánica – Cía Alpayana

- Evaluar la condición de resistencia (2): Con los golpes de picota y ubicar en la tabla geomecánica a donde corresponde.
- 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).
- 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 la labor evaluado.

3.8.3. Datos de la rampa principal 565 del nivel 21

Análisis de campo por el método de G.S.I.

Hastial derecho

Número de fracturas por metro es de 14, se rompe con dos golpes de picota, labor con sección mayor de 4,5 x 4 metros, presencia de agua, labor de avance con perforación/voladura y caracterización MF/R.

Hastial izquierdo

Número de fracturas por metro es de 18, se rompe con dos golpes de picota, labor con sección mayor de 4,5 x 4 metros, presencia de agua, labor de avance con perforación/voladura y caracterización MF/R.

Techo

Número de fracturas por metro es de 21, se rompe con dos golpes de picota, labor con sección mayor de 4,5 x 4 metros, presencia de agua, labor de avance con perforación/voladura y caracterización IF/R.

Según los resultados en el campo, se realizará el sostenimiento con shotcrete de 50,8 mm (2") por vía húmeda en la rampa 565 del nivel 21.

Hay un cuaderno de recomendación geomecánica, donde se anota todas las observaciones y que tipo de sostenimiento se debe de aplicar en los diferentes labores, recomendado por el Ingeniero geomecánico, como se muestra en la figura 21.

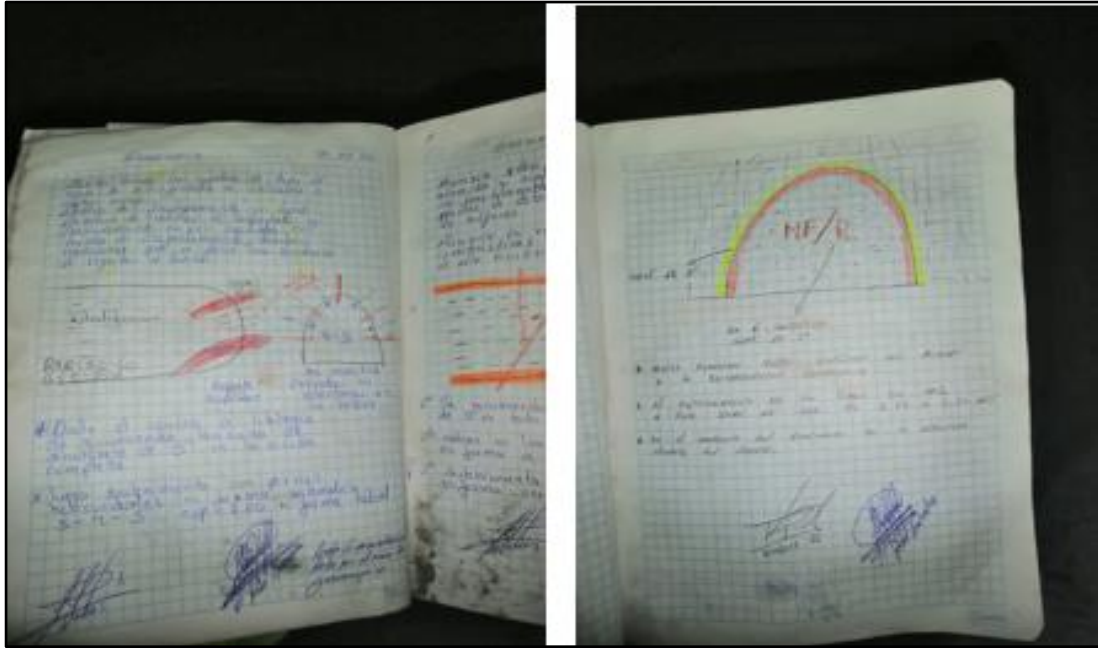


Figura 21. Cuaderno de recomendación de geomecánica
Fuente: Elaboración propia.

3.9. Preparación de la mezcla

Para la mezcla por vía húmeda se realizará directamente en una planta dosificadora de concreto:

Se le abastece arena ya clasificada de gradación – 02 con el equipo Bobcat hacia la tolva de arena de la planta dosificadora en cada cierto tiempo.

A. Con la ayuda del teclc (capacidad de 2 toneladas) se traslada cemento Big Bag (peso 1,5 toneladas), hacia la tolva de cemento, en la siguiente figura 22 nos muestra el traslado del big bag de cemento.



Figura 22. Bib bag de cemento
Fuente Elaboración propia.

B. Tanto la arena como el cemento son trasladados mediante una faja transportadora como en la figura 23 hacia el mezclador tipo planetario.



Figura 23. Banda transportadora de agregado
Fuente: Elaboración propia.

C. Luego el mezclador tipo planetario a parte de recibir la cantidad (kg) de arena y cemento, se le adiciona fibra metálica, agua y aditivo plastificante para tener una mejor trabajabilidad.



Figura 24. Mezclador tipo planetario abastecido de fibras metálicas
Fuente: Elaboración propia.

D. El diseño de mezcla se realiza y controla mediante una cabina, ya con la dosificación hecha, como nos muestra la figura 25.



Figura 25. Control de dosificación de concreto
Fuente: Elaboración propia.

E. La mezcla se realiza cada 1 m³ y se despacha al tornado con capacidad 4 m³, para luego se trasladado al lugar del lanzado de shotcrete.



Figura 26. Equipo tornado recibiendo mezcla de shotcrete
Fuente: Elaboración propia.

F. Los materiales a utilizar están bien almacenados en planta shotcrete con la seguridad y bajos las normas, para evitar toda falla en la hora de operación.

3.10. Factores operativos para el lanzado del shotcrete

3.10.1. Equipos proyectores de shotcrete

Para el lanzado de la mezcla se empleará al equipo robotizado para shotcrete Alpha 20 – Normet, estos equipos son específicamente diseñados para al lanzado shotcrete, como nos muestra la figura 27, por una mayor velocidad de producción, cubriendo secciones de mayor magnitud de

extensión y altura, mayor seguridad al operador, control de calidad del hormigón proyectado, como el ángulo, distancia y dosificación del acelerante.



Figura: 27. Robot alpha 20 lanzando shotcrete en labor
Fuente: Elaboración propia.

3.10.2. Personal

El personal de trabajo es distribuido por cargos y áreas: en la planta dosificadora de concreto se cuenta con 1 operador de planta y 1 ayudante de planta encargados de la dosificación del concreto (ambos con 2 años de experiencia en el cargo), en el lanzamiento del shotcrete se cuenta con 1 operador del robot (experiencia 2 años en el cargo y con certificación del lanzamiento) y 1 ayudante del robot (experiencia 2 años en el cargo), para el traslado del concreto en los diferentes labores se solicita 1 operador mixer (experiencia 2 años en el cargo), para el traslado de los materiales (cemento, agregado,

aditivos) se requiere de 1 operador bobcat (experiencia 2 años en el cargo), 1 chofer para traslado de personal y materiales (experiencia 1 año en el cargo) y 1 supervisor encargado en el trabajo (experiencia 2 años en el cargo).

La experiencia de todo el personal es imprescindible, ya que esta área es parte del ciclo minado, lo cual requiere de mucha presión y un trabajo de alta calidad.

3.11. Procedimiento para el lanzado shotcrete vía húmeda

Para realizar el lanzado de concreto mediante vía húmeda en forma óptima se debe de tomar en cuenta los siguientes pasos:

- Supervisar la limpieza de toda el área de trabajo.
- Estar seguro de la orden del supervisor y a la vez revisar el check list de los equipos.
- Supervisar el área de trabajo, desarrollar el IPERC y llenar el check list.
- Delimitar la zona de trabajo.
- Ventilar en todo momento la labor.
- Verificar el buen estado mecánico-eléctrico del Robot Lanzador del concreto, accesorio.

- Toda conexión de agua o aire que se tome de la red principal deberá estar asegurada con su respectiva cadena.
- Lanzar el shotcrete de forma perpendicular a la pared y a la vez de forma circular.
- El disparo del concreto debe ser a una distancia en el rango de un metro a un metro y medio evitando el rebote.
- El lanzado se comienza desde la parte inferior para llegar a la parte superior del frente.
- Cuando se atore el concreto en la manguera, se procederá a desatorar de forma manual y no usar aire comprimido.
- Al finalizar el laboreo se debe lavar la boquilla y demás accesorios.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ensayos físicos de agregados para el shotcrete

4.1.1. Ensayo de humedad

Norma de ensayo: ASTM C-566, NTP 339.185 determina el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de arena mediante el método de secado.

La humedad evaporable corresponde al encontrado superficialmente y en los poros permeables del agregado.

La Humedad es variable por constante cambio del clima, los primeros días de la semana hubo demasiado precipitación pluviales y el fin de semana el clima era soleado, es la razón que la humedad es variable entre 6%, 7% y 8%.

En la figura 28 se observa en la imagen la curva de humedad es muy variable, porque se encuentra a la intemperie, por lo cual es necesario techar el área de almacenamiento de agregado.

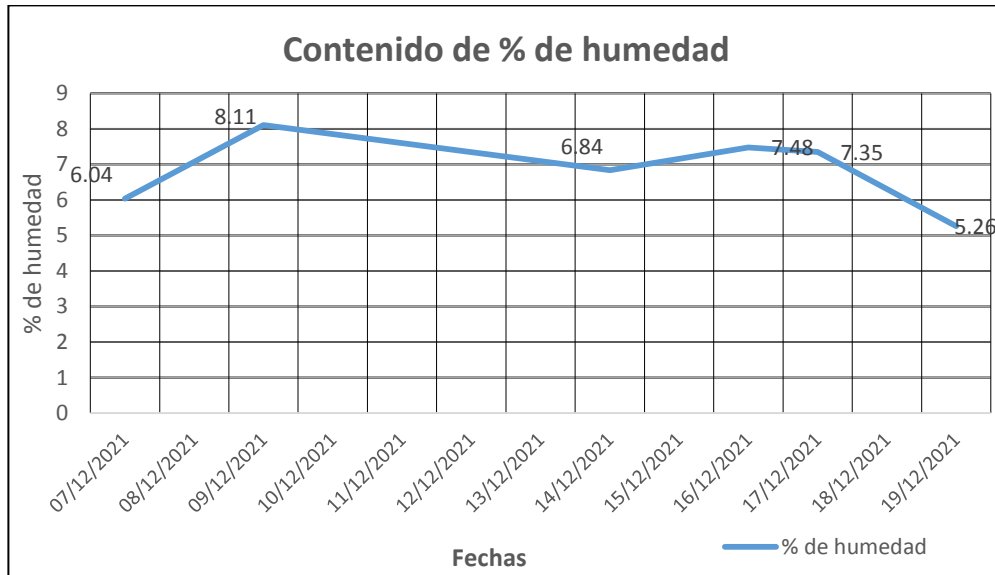


Figura 28. Humedad del agregado.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 29. Cálculo de humedad del agregado
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Ensayo de malla #200

Norma de ensayo: 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 demás del agregado que son dispersadas por el agua, así como también los materiales solubles en agua, deberán ser removidos de la arena durante el proceso del ensayo.

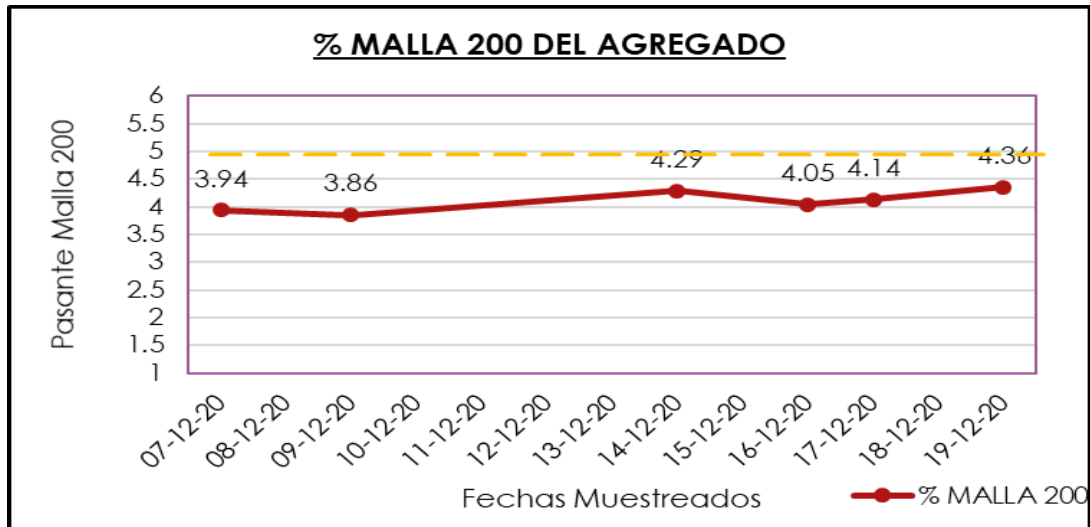


Figura 30. Malla #200 del agregado

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 30, el material se encuentra dentro del límite máximo de la malla No 200, es decir, se mejoró la calidad del agregado.

4.1.3. Peso específico y porcentaje de absorción

Norma de ensayo: 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.

Tabla 14
Gravedad específica y absorción del agregado

No de Prueba	Fórmula	1	2	PROM.
Peso de la fiola (gr)	A	148,5	148,5	
Peso de la fiola + Peso muestra SSS + agua (gr)	C	958	958,5	
Peso de la fiola + agua (gr)	D	647	646,5	
Peso muestra SSS (gr)	E	500,0	500,0	
Peso muestra seca (gr)	F	490	490,5	
Gravedad Específica (OD)	$F/(D+E-C)$	2,593	2,609	2,60
Gravedad Específica Sat. Sup. Seca	$E/(D+E-C)$	2,646	2,660	2,65
Gravedad Específica Aparente	$F/(D+F-C)$	2,737	2,748	2,74
% Absorción	$((E-F)/F) * 100$	2,0	1,900	2,0
T° K H2O		295,15	295,15	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa la tabla 14 el agregado tiene 2,65 gr/cm³ de peso específico y 2% de absorción, estos datos serán reajustados en el diseño de mezcla.

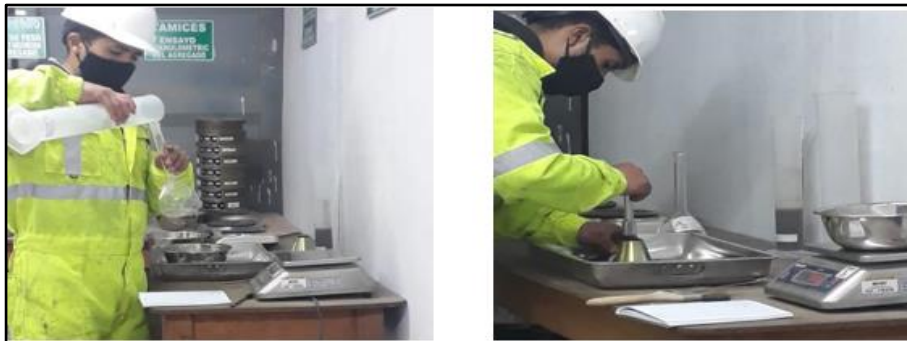


Figura 31. Cálculo de gravedad específica y absorción

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Ensayo de granulometría y módulo de fineza

Según la norma ACI-506 (G2), este análisis de laboratorio se realiza para conocer la distribución granulométrica de los agregados. En el agregado fino se investiga el módulo de fineza debiendo estar en 2,3 a 3,1. El valor obtenido

no tiene unidades y nos sirve para saber si el agregado fino o grueso está dentro de los parámetros. Para concreto lanzado (shotcrete) se considera un módulo de fineza de hasta 4,0.

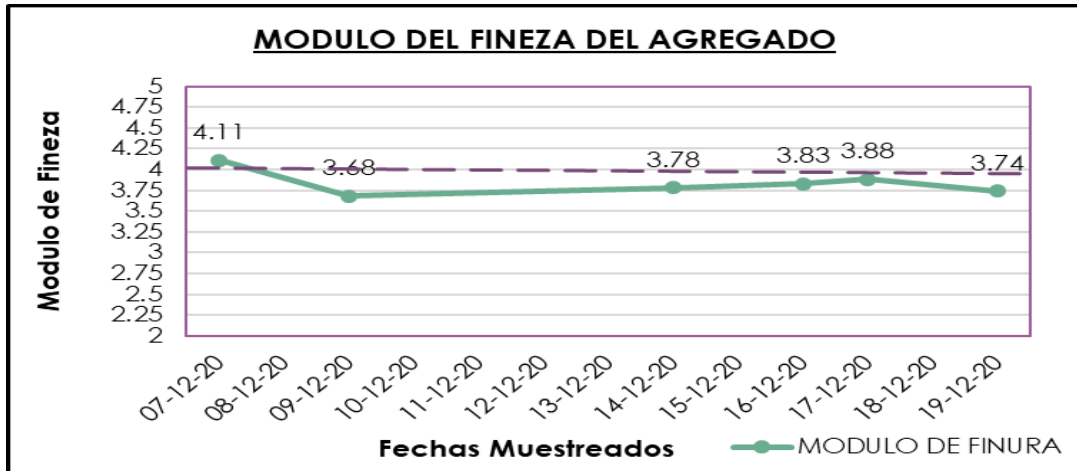


Figura 32. Módulo de fineza del agregado.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 32 que el material agregado se encuentre fuera de limite el ensayo realizado del día 7/12, se encuentra muy grueso, del día 9/12 para adelante se mejoró considerablemente.



Figura 33. Ensayo de granulometría del agregado
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15
Ensayo del agregado del 07/12/2020

Granulometría					Características físicas		
Malla	Peso retenido en (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificación gradación N°02	Módulo de fineza	4,11
76 mm						Tamaño máximo	10 mm
64 mm	-	0,0	0,0	100,0		% de humedad	
51 mm	-	0,0	0,0	100,0		(A) Peso de tara (g)	85,0
38 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de muestra original húmeda (g)	1000,0
25 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) peso de muestra original seca (g)	943,0
19 mm	-	0,0	0,0	100,0	100	Contenido de humedad (%): (B-C)*100/C	6,04
12 mm	0,00	0,0	0,0	100,0	100	% de malla #200	
10 mm	77,00	8,2	8,2	91,8	90 – 100	(D) peso de tara (g)	85,0
# 4	186,50	19,8	27,9	72,1	70 – 85	(E) peso de muestra seca (g)	824,0
# 8	169,50	18,0	45,9	54,1	50 – 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g)	791,5
# 16	158,50	16,8	62,7	37,3	35 – 55	% pasante de #200: (E-F)*100/E	3,94
# 30	146,00	15,5	78,2	21,8	20 -35	Observaciones	
# 50	125,00	13,3	91,5	8,5	8 – 20	El agregado cumple con la G-02	
# 100	49,50	5,2	96,7	3,3	2 – 10	% de humedad : 6,04	
Fondo	31,00	3,3	100,0	0,0	0 - 0	% de malla # 200 : 3,94	
Total	943,00	100,00	Módulo de fineza	4,11			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (76 mm+ 38 mm+ 19 mm + 10 mm + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para agregados Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Fuente: Elaboración propia.

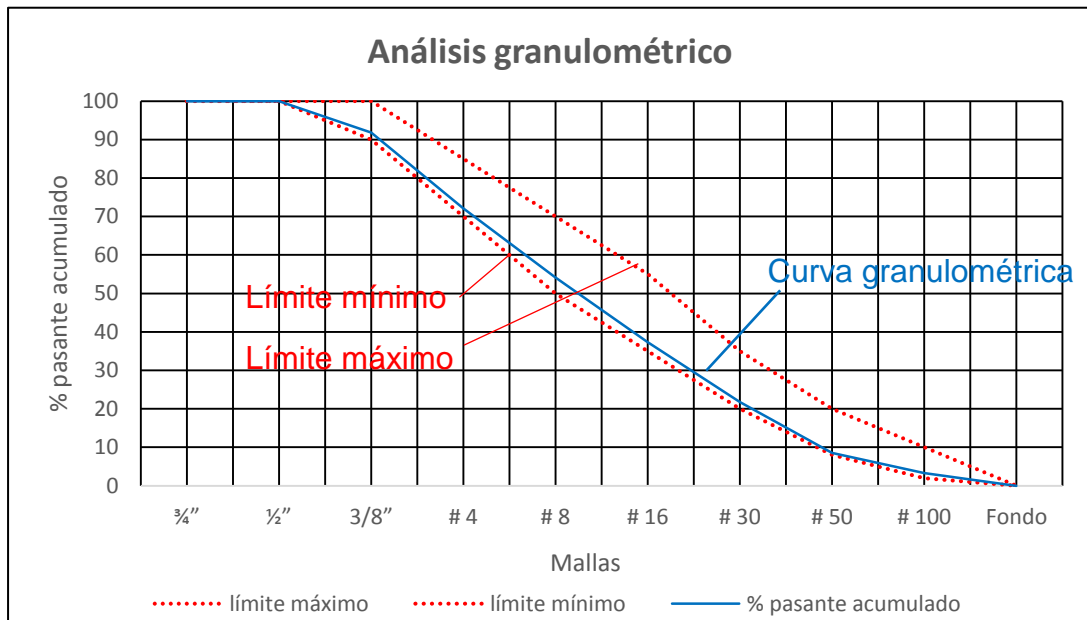


Figura 34. Curva granulométrica del 07/12/2020.
 Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 34 el agregado realizado el 07/12/2020 cumple con la gradación N°2 según la norma ACI 506, pero contiene arto material grueso.

Tabla 16
Ensayo del agregado del 09/12/2020

Granulometría					Características físicas		
Malla	Peso retenido en (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificación gradación N°02	Módulo de fineza	3,68
76 mm						Tamaño máximo	10 mm
64 mm	-	0,0	0,0	100,0		% de humedad	
51 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de tara (g)	85,0
38 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de muestra original húmeda (g)	1000,0
25 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) peso de muestra original seca (g)	925,0
19 mm	-	0,0	0,0	100,0	100	Contenido de humedad (%):(B-C)*100/C	8,11
12 mm	11,50	1,2	1,2	98,8	100	% de malla #200	
10 mm	41,00	4,4	5,6	94,4	90 – 100	(D) peso de tara (g)	85,0
# 4	147,00	15,7	21,3	78,7	70 – 85	(E) peso de muestra seca (g)	712,0
# 8	156,50	16,7	38,0	62,0	50 – 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g)	684,5
# 16	155,50	16,6	54,6	45,4	35 – 55	% pasante de #200: (E-F)*100/E	3,86
# 30	147,00	15,7	70,4	29,6	20 -35	Observaciones	
# 50	136,50	14,6	84,9	15,1	8 – 20	El agregado cumple con la G-02	
# 100	78,00	8,3	93,3	6,7	2 – 10	% de humedad : 8,11	
Fondo	63,00	6,7	100,0	0,0	0 - 0	% de malla # 200 : 3,86	
Total	936,00	100,00	Módulo de fineza	3,68			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (76 mm+ 38 mm+ 19 mm + 10 mm + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para agregados Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Fuente: Elaboración propia.

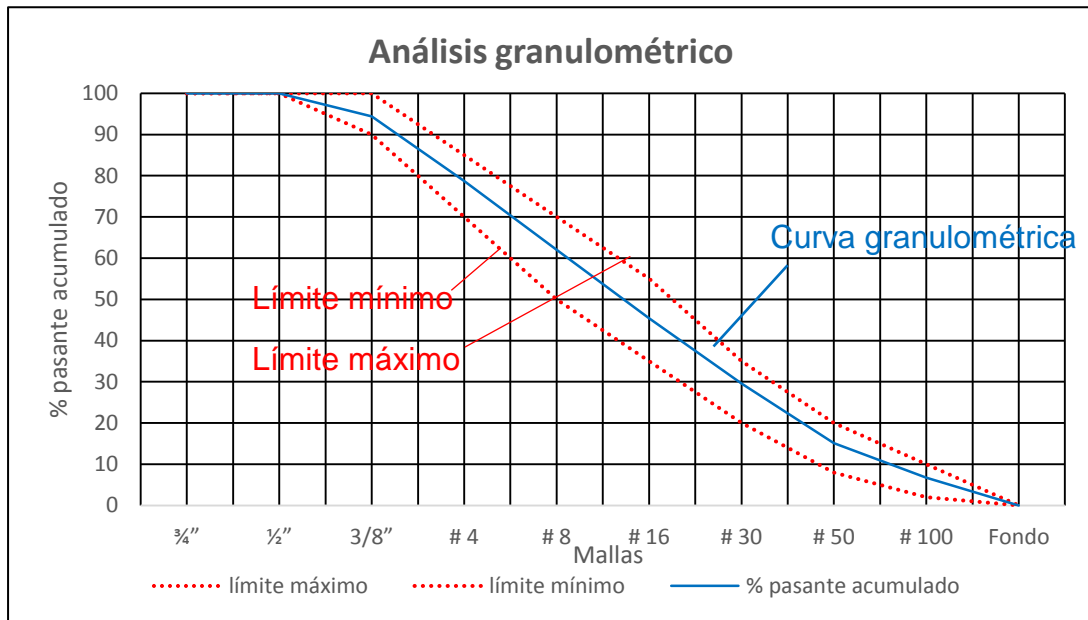


Figura 35. Curva granulométrica del 09/12/2020.
 Fuente: Elaboración propia.

En la figura 35 el agregado se encuentra dentro de la gradación N°2 según la norma ACI 506, se mejoró en coordinación con el área de geomecánica.

Tabla 17
Ensayo del agregado del 14/12/2020

Granulometría					Características físicas		
Malla	Peso retenido en (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificación gradación N°02	Módulo de fineza	3,78
76 mm						Tamaño máximo	10 mm
64 mm	-	0,0	0,0	100,0		% de humedad	
51 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) Peso de tara (g)	85,0
38 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de muestra original húmeda (g)	1000,0
25 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) peso de muestra original seca (g)	936,0
19 mm	-	0,0	0,0	100,0	100	Contenido de humedad (%):(B-C)*100/C	6,84
12 mm	0,0	0,0	0,0	100,0	100	% de malla #200	
10 mm	57,00	6,1	6,1	93,9	90 – 100	(D) peso de tara (g)	85,0
# 4	168,00	18,0	24,1	75,9	70 – 85	(E) peso de muestra seca (g)	735,0
# 8	161,00	17,3	41,4	58,6	50 – 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g)	703,5
# 16	145,50	15,6	57,0	43,0	35 – 55	% pasante de #200: (E-F)*100/E	4,29
# 30	132,50	14,2	71,2	28,8	20 -35	Observaciones	
# 50	126,00	13,5	84,7	15,3	8 – 20	El agregado cumple con la G-02	
# 100	85,00	9,1	93,8	6,2	2 – 10	% de humedad : 6,84	
Fondo	58,00	6,2	100,0	0,0	0 - 0	% de malla # 200 : 4,29	
Total	933,00	100,00	Módulo de fineza	3,78			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (76 mm+ 38 mm+ 19 mm + 10 mm + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para agregados Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Fuente: Elaboración propia.

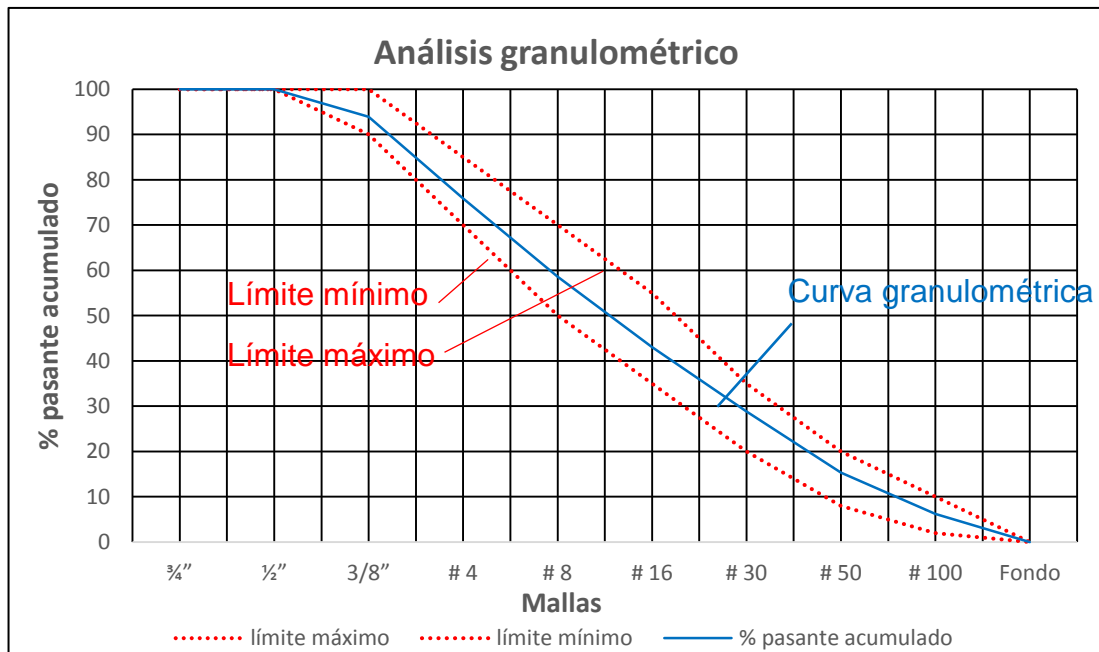


Figura 36. Curva granulométrica del 14/12/2020.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 36 el agregado realizado el 14/12/2020 se encuentra dentro de la gradación N°2 según norma ACI 506.

Tabla 18
Ensayo del agregado del 16/12/2020

Granulometría					Características físicas		
Malla	Peso retenido en (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificación gradación N°02	Módulo de fineza	3,83
76 mm						Tamaño máximo	10 mm
64 mm	-	0,0	0,0	100,0		% de humedad	
51 mm	-	0,0	0,0	100,0		(D) Peso de tara (g)	85,0
38 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de muestra original húmeda (g)	855,0
25 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) peso de muestra original seca (g)	795,5
19 mm	-	0,0	0,0	100,0	100	Contenido de humedad (%):(B-C)*100/C	7,48
12 mm	0,0	0,0	0,0	100,0	100	% de malla #200	
10 mm	37,00	5,7	5,7	94,3	90 – 100	(D) peso de tara (g)	85,0
# 4	125,50	19,3	25,0	75,0	70 – 85	(E) peso de muestra seca (g)	840,5
# 8	109,50	16,8	41,8	58,2	50 – 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g)	806,5
# 16	105,50	16,2	58,1	41,9	35 – 55	% pasante de #200: (E-F)*100/E	4,05
# 30	95,00	14,6	72,2	27,3	20 -35	Observaciones	
# 50	87,00	13,4	86,1	13,9	8 – 20	El agregado cumple con la G-02	
# 100	52,00	8,0	94,1	5,9	2 – 10	% de humedad : 7,48	
Fondo	38,50	5,9	100,0	0,0	0 - 0	% de malla # 200 : 4,05	
Total	650,0	100,00	Módulo de fineza	3,83			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (76 mm+ 38 mm+ 19 mm + 10 mm + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para agregados Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Fuente: Elaboración propia.

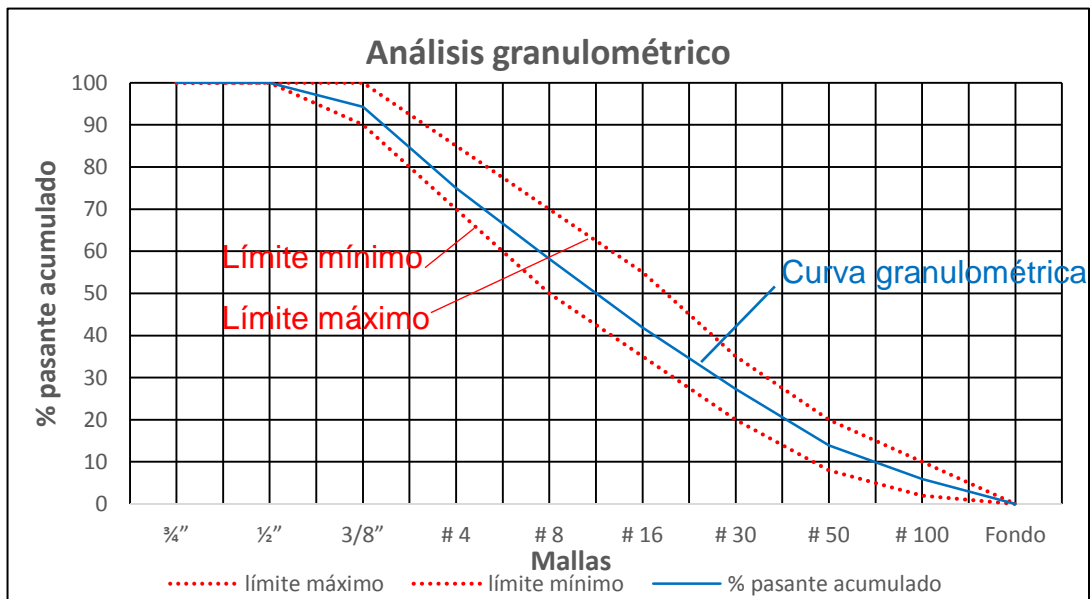


Figura 37. Curva granulométrica del 16/12/2020.
 Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 37 el agregado realizado el 16/12/2020 se encuentra dentro de la gradación N°2 según la norma ACI 506.

Tabla 19

Ensayo del agregado del 17/12/2020

Granulometría					Características físicas		
Malla	Peso retenido en (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificación gradación N°02	Módulo de fineza	3,88
76 mm						Tamaño máximo	10 mm
64 mm	-	0,0	0,0	100,0		% de humedad	
51 mm	-	0,0	0,0	100,0		(E) Peso de tara (g)	85,0
38 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de muestra original húmeda (g)	920,0
25 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) peso de muestra original seca (g)	857,0
19 mm	-	0,0	0,0	100,0	100	Contenido de humedad (%):(B-C)*100/C	7,35
12 mm	0,0	0,0	0,0	100,0	100	% de malla #200	
10 mm	49,50	6,0	6,0	94,0	90 – 100	(D) peso de tara (g)	85,0
# 4	165,00	19,9	25,8	74,2	70 – 85	(E) peso de muestra seca (g)	857,0
# 8	146,00	17,6	43,4	56,6	50 – 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g)	821,5
# 16	130,50	15,7	59,1	40,9	35 – 55	% pasante de #200: (E-F)*100/E	4,14
# 30	119,00	14,3	73,4	26,6	20 -35	Observaciones	
# 50	105,50	12,7	86,1	13,9	8 – 20	El agregado cumple con la G-02	
# 100	68,00	8,2	94,3	5,7	2 – 10	% de humedad : 7,35	
Fondo	47,50	5,7	100,0	0,0	0 - 0	% de malla # 200 : 4,14	
Total	831,0	100,00	Módulo de fineza	3,88			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (76 mm+ 38 mm+ 19 mm + 10 mm + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para agregados Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Fuente: Elaboración propia.

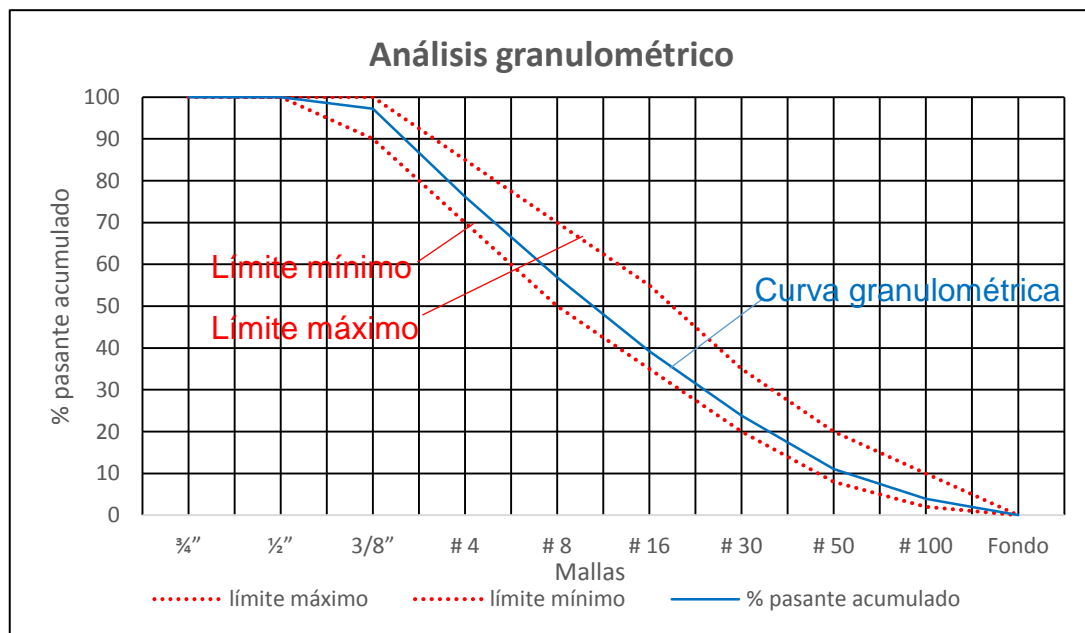


Figura 38. Curva granulométrica del 17/12/2020.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 38 el agregado realizado el 17/12/2020 se encuentra dentro de la gradación N°2 según la norma ACI 506.

Tabla 20
Ensayo del agregado del 19/12/2020

Granulometría					Características físicas		
Malla	Peso retenido en (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	Especificación gradación N°02	Módulo de fineza	3,74
76 mm						Tamaño máximo	10 mm
64 mm	-	0,0	0,0	100,0		% de humedad	
51 mm	-	0,0	0,0	100,0		(F) Peso de tara (g)	85,0
38 mm	-	0,0	0,0	100,0		(B) peso de muestra original húmeda (g)	1000,0
25 mm	-	0,0	0,0	100,0		(C) peso de muestra original seca (g)	950,0
19 mm	-	0,0	0,0	100,0	100	Contenido de humedad (%):(B-C)*100/C	5,26
12 mm	0,0	0,0	0,0	100,0	100	% de malla #200	
10 mm	60,00	5,0	5,0	95,0	90 – 100	(D) peso de tara (g)	85,0
# 4	252,00	21,1	26,2	73,8	70 – 85	(E) peso de muestra seca (g)	1193,0
# 8	188,50	15,8	42,0	58,0	50 – 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g)	1141,0
# 16	171,50	14,4	56,4	43,6	35 – 55	% pasante de #200: (E-F)*100/E	4,36
# 30	158,00	13,3	69,6	30,4	20 -35	Observaciones	
# 50	155,50	13,0	82,7	17,3	8 – 20	el agregado cumple con la g-02	
# 100	113,50	9,5	92,2	7,8	2 – 10	% de humedad : 8,97	
Fondo	93,00	7,8	100,0	0,0	0 - 0	% de malla # 200 : 4,36	
Total	1192,0	100,00	Módulo de fineza	3,74			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (76 mm+ 38 mm+ 19 mm + 10 mm + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para agregados Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

Fuente: Elaboración propia.

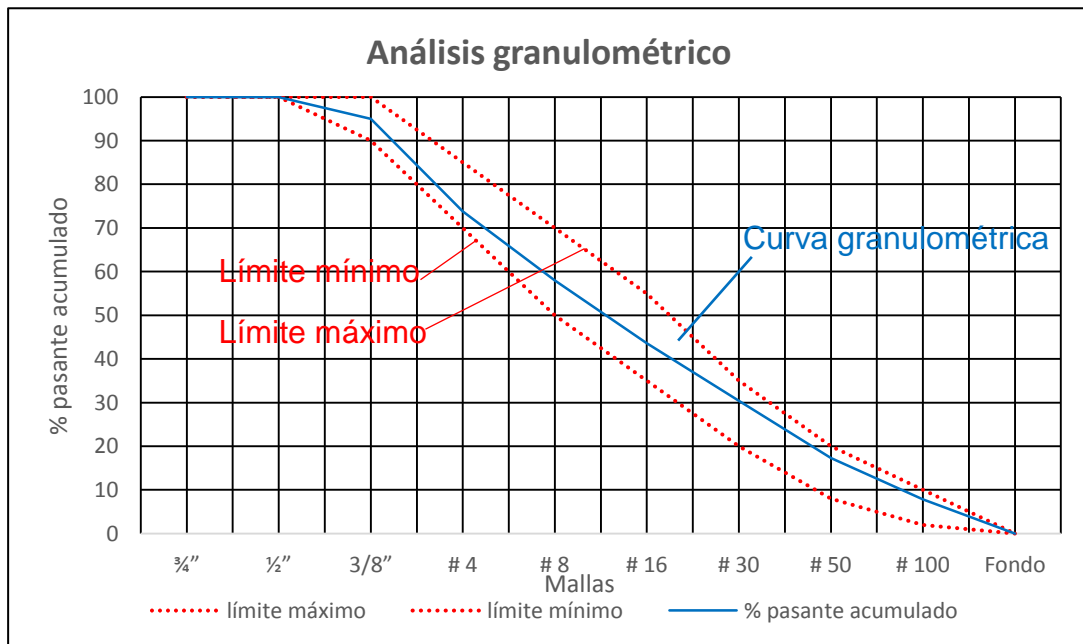


Figura 39. Curva granulométrica del 19/12/2020.
 Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la figura 39 el agregado realizado el 19/12/2020 se encuentra dentro de la gradación N°2 según la norma ACI 506.

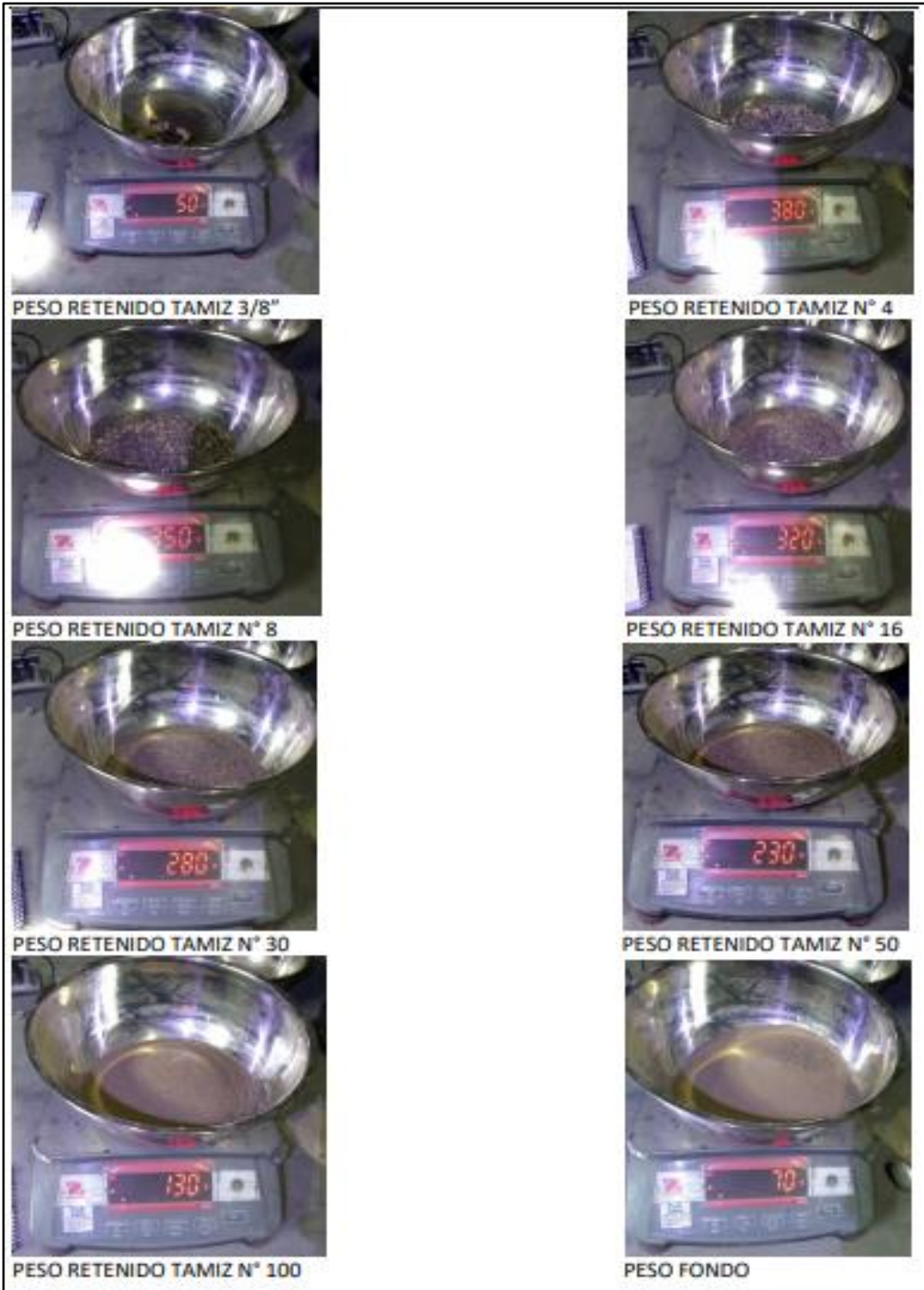


Figura 40: Ensayo de granulometría
Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Prueba de verificación de caudal (Q) del aditivo acelerante

- Con este procedimiento que no está normalizado se puede conocer, de forma rápida y técnicamente, la cantidad de aditivo que el robot Alpha20 se dosifica por metro cubico (m³) de Shotcrete lanzado.
- Mediante técnicas gravimétricas, se realizó la verificación del caudal del aditivo al equipo robot Alpha 20 en interior mina.
- Se ha podido identificar, mediante el seguimiento al shotcrete, los operadores realizan el lanzado durante el tiempo de 16 minutos por mixer de 4 m³, eso quiere decir que están lanzando 4 minutos por 1 m³ de concreto.
- La siguiente tabla 21 podemos verificar la cantidad de aditivo dosificado según los niveles del caudalímetro del equipo.

Tabla 21
Control de aditivo Robot Alpha 20

Control de aditivo robot alpha 20 - interior mina									
Fecha Ensayo	Ensayo	Nivel de Caudalímetro	Peso Aditivo (kg)	Tiempo (min)	Densidad Aditivo (kg/l)	Factor		Tiempo Lanzado x m3	l/m ³
						L/min.	Corrección x Restricción (80%)		
01/12/2020	UNO	2,00	4,50	1,00	1,43	3,15	2,52	4,00	10,07
01/12/2020	UNO	3,00	8,18	1,00	1,43	5,72	4,58	4,00	18,30
01/12/2020	UNO	4,00	9,92	1,00	1,43	6,94	5,55	4,00	22,20
01/12/2020	UNO	5,00	11,07	1,00	1,43	7,74	6,19	4,00	24,77
01/12/2020	UNO	6,00	11,87	1,00	1,43	8,30	6,64	4,00	26,56
01/12/2020	UNO	7,00	13,25	1,00	1,43	9,27	7,41	4,00	29,65

Fuente: Elaboración propia.

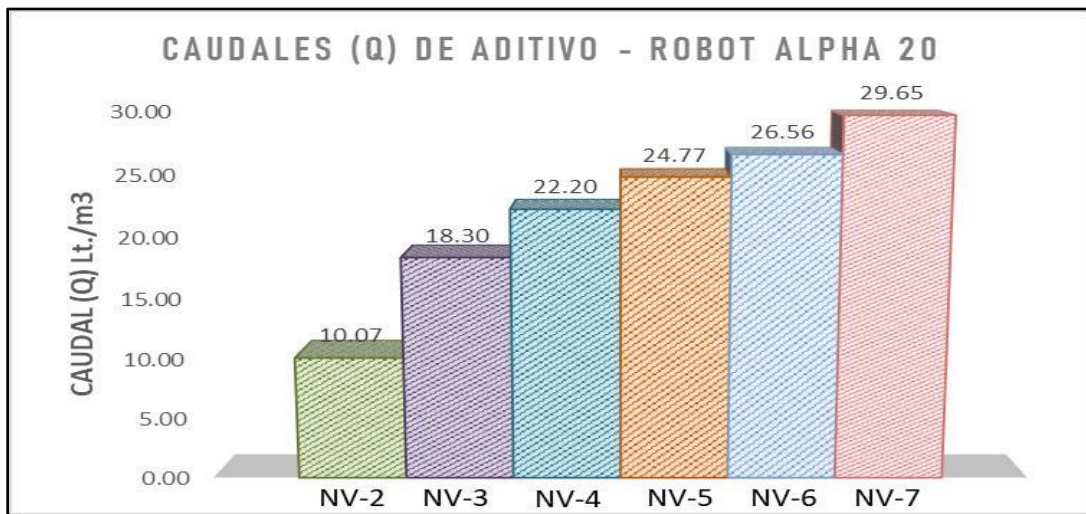


Figura 41. Caudal de aditivo.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 41 nos muestra los caudales de aditivo del robot y se indicó al operador del alpha, lanzar el shotcrete en el nivel del caudal 4 y 5, las pruebas a edades tempranas se realizaron en el nivel de caudal 5.

4.1.6. Ensayo para el asentamiento y temperatura

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

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 recomienda que la temperatura debe estar en un rango de 289,15 °K a 305,15 °K.

4.1.6.1. Equipos

Se utiliza un molde con una superficie lateral de un tronco de cono con un espesor mínimo de 1,5 mm, con un diámetro de 200 mm en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm y una altura de 300 mm, con una tolerancia de +/- 3 mm en las dimensiones establecidas.

Además del cono de abrams se utiliza una varilla de acero con punta redondeada y una regla metálica. En la figura 42 nos muestra el diseño del cono de abrams

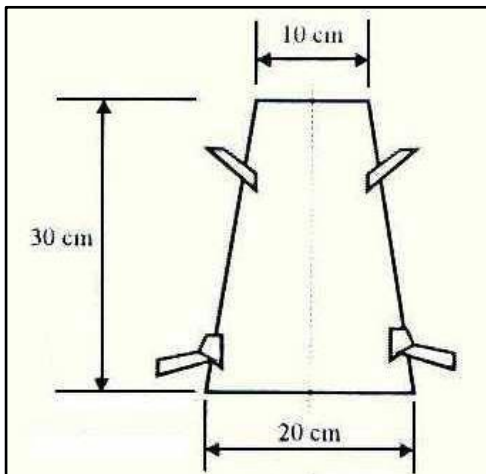


Figura 42. Diseño del cono de Abrams
Fuente: Elaboración propia.

4.1.6.2. Procedimiento

El cono de abrams es un instrumento de metal que consiste en un molde como se muestra en la figura 43, una plancha metálica, una varilla - pisón de

longitud de 60 cm y diámetro 16 mm, y un flexómetro, que tiene la función de medir la consistencia del hormigón y su procedimiento es el siguiente:

- 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, listo para evitar algún movimiento del molde durante la colocación del concreto.
- Se comienza a llenar el concreto en el molde en 3 capas, la capa inferior se llena aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen total del molde (aproximadamente 7 cm de altura), para luego ser compactado 25 golpes con la varilla - pisón, los primeros golpes inclinado alrededor del perímetro, continuando hasta el centro del molde de forma espiral.
- Luego la siguiente capa hasta los $\frac{2}{3}$ (aproximadamente 15 cm de altura), nuevamente compactado con 25 golpes distribuido 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 con la varilla – pisón, penetrando algunos centímetros hacia la capa media.
- Terminando de compactar la capa superior, se procede a enrasar la superficie con la varilla – pisón, luego se limpia el hormigón derramado sin dejar de pisar las pisaderas.

- Luego 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.
- Se mide el asentamiento con un flexómetro entre el centro de la varilla hacia el centro de la cara superior del hormigón.

Tabla 22
Resultados de slump

Reporte de slump en planta shotcrete					
Código	Guardia	Hora de medición	Slump (centímetro)	T C (°K)	T A (°K)
E-01	Día	10:00:00	25,4	297,15	295,95
E-02	Día	10:20:00	24,4	297,25	295,15
E-03	Día	10:40:00	23,5	297,15	295,65
E-04	Día	11:00:00	22,5	297,95	295,35
Reporte de slump en rampa 565 del nivel 21					
Código	Guardia	Hora de medición	Slump (centímetro)	T C (°C)	T A (°C)
E-05	Día	11:20:00	21	299,15	298,85
E-06	Día	11:40:00	20,6	299,25	298,65
E-07	Día	12:00:00	20,3	299,15	299,15
E-08	Día	12:20:00	19	299,15	298,75

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 nos representa los ensayos de asentamiento, la temperatura del concreto y la temperatura del ambiente realizado el 20/12/20, los ensayos E-01, E-02, E-03 y E-04 se ensayaron en la planta shotcrete con un slump aproximado de 23 cm – 25 cm, y los ensayos E-05, E-06, E-07 y E-08 se ensayaron en la rampa 565 nivel 21 con un slump de 20 cm – 18 cm,

donde pierde de 2,5 cm – 5 cm de slump en un tiempo de 40 minutos, por lo tanto el concreto mantiene su consistencia adecuada.



Figura 43. Ensayo de slump en planta Shotcrete
Fuente: Elaboración propia.



Figura 44. Ensayo de slump en labor
Fuente: Elaboración propia.



Figura 45. Control de temperatura de shotcrete
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 44 la mezcla mantiene su trabajabilidad, bombeabilidad, y en la figura 45 mantiene su temperatura dentro del rango.

4.2. Diseño de mezcla del concreto lanzado

El diseño de mezclas para el shotcrete o concreto lanzado se realizó siguiendo las recomendaciones del ACI 506 y ACI 211,11 "Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete".

De acuerdo a esta norma nos puede ayudar a realizar el diseño con unos ajustes de acuerdo a las experiencias y antecedentes del diseño,

4.2.1. Especificaciones

- Cemento tipo I

- $F'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico = $3\,150 \text{ kg/m}^3$ (cemento)
- Peso específico = $1\,000 \text{ kg/m}^3$ (agua)
- Slump = 25,4 centímetros
- Peso específico = $2\,650 \text{ kg/m}^3$ (agregado)
- Módulo de fineza = 3,78
- TMN = 10 mm
- % Absorción = 2
- % Humedad = 6,84
- Peso específico = $1\,080 \text{ kg/m}^3$ (aditivo hiperplastificante)
- Peso específico = $7\,860 \text{ kg/m}^3$ (Fibra metálica)
- Peso específico = $1\,430 \text{ kg/m}^3$ (aditivo acelerante)

4.2.2. Resistencia promedio requerida

Tabla 23

Resistencia promedio

$F'c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$F'cp$
Menos de 210	$F'c + 70$
210 – 350	$F'c + 84$
350 a mas	$F'c + 98$

Fuente: Vizconde, 2017.

Resistencia promedio requerida = $300 + 84 = 384 \text{ kg/cm}^2$

Contenido de agua = 5%

Relación agua/cemento = 0,45 (según ACI 506).

4.2.3. Contenido de cemento

Tabla 24

Relación entre 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: ACI 506.

Para la presente investigación, se eligió un contenido preliminar de cemento de 450 Kg/m³, al realizar pruebas preliminares, los resultados mostraron que las resistencias obtenidas sobrepasaban la resistencia de diseño por lo que se disminuyó el contenido de cemento a 425 Kg/m³ valor que se encuentra dentro del rango de valores de la tabla 24.

4.2.4. Contenido de agua

Para hallar el contenido de agua necesitamos la relación a/c que es igual a 0,45 según ACI 506 y la cantidad de cemento que es de 425 kg/cm³

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}} \rightarrow 0,45 = \frac{\text{agua}}{425}$$

$$\text{Agua} = 191,25 = 190 \text{ litros}$$

4.2.5. Elección de los aditivos y fibras metálicas

El aditivo hiperplastificante y acelerante se elige en función al peso del cemento, según la ficha técnica se utilizó un valor de 0,94% del aditivo hiperplastificante y 8% del aditivo aceletante

$$\text{Aditivo hiperplastificante} = 0,0094 \times 425 \text{ kg} = 4,0 \text{ kg}$$

$$\text{Aditivo acelerante} = 0,08 \times 425 \text{ kg/m}^3 = 34 \text{ kg}$$

La dosificación de la fibra metálica según ficha técnica es de 20 kg/cm³.

4.2.6. Volúmenes absolutos

$$\text{Cemento} = \frac{425 \text{ kg}}{3\,150 \text{ kg/m}^3} = 0,135 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{190 \text{ kg}}{1\,000 \text{ kg/m}^3} = 0,190 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{5\%}{100} = 0,05 \text{ m}^3$$

$$\text{Aditivo hiperplastificante} = \frac{4 \text{ kg}}{1\,080 \text{ kg/m}^3} = 0,0037 \text{ m}^3$$

$$\text{Fibra metálica} = \frac{20 \text{ kg}}{7\,860 \text{ kg/m}^3} = 0,0025 \text{ m}^3$$

$$\text{Aditivo acelerante} = \frac{34 \text{ kg}}{1\,430 \text{ kg/m}^3} = 0,0237 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen del agreg.} = 1 - (0,135 + 0,190 + 0,05 + 0,037 + 0,0025 + 0,0237)$$

$$\text{Volúmen del agreg.} = 0,5951 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado} = 0,5951 \text{ m}^3 \times 2\,650 \text{ kg/m}^3 = 1\,577,015 \text{ kg}$$

Los Valores de pre-diseño se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

Pre-diseño de mezcla de shotcrete

Materiales	Valor	Unidad
Cemento	425	Kg
Agregado	1 577,015	Kg
Agua	190	L
Aditivo hiperplastificante	4	Kg
Fibra metálica	20	Kg
Aditivo acelerante	34	Kg

Fuente: Elaboración propia.

La corrección de agregado por contenido de humedad

$$\text{Peso agregado} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right) = 1\,577,015 \text{ kg} \times \left(\frac{6,84\%}{100} + 1 \right) = 1\,684,88 \text{ kg}$$

El Aporte de agua a la mezcla

$$\frac{(\%w - \%Abs) \times \text{Agregado seco}}{100} = \frac{(6,84 - 2) \times 1\,577,015}{100} = 76,32 \text{ litros}$$

El agua efectiva es:

$$\text{Agua} = 190 - 76,32 = 113,68 \text{ litros}$$

Tabla 26*Diseño de mezcla de shotcrete corregido*

Materiales	Valor	Unidad
Cemento	425	Kg
Agregado	1684,88	Kg
Agua	113,68	L
Aditivo Hipeplastificante	3,7	L
Fibra metálica	20	Kg
Aditivo Acelerante	23,7	L

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Ensayo para cálculos de resistencias iniciales

4.3.1. Método de ensayo con penetrómetro - Método A

Se empleó el dispositivo para medir las resistencias iniciales de la mezcla fresca recién proyectado, muestreados en paneles prismáticos, como se observa en la figura 46, en el orden de tiempo desde los 10 minutos, 30, 60, hasta los 180 min (3 horas), como indica la norma EN 14488-2 cuyo procedimiento es el siguiente:

1. Obtenido el muestreo de shotcrete proyectado elaborado en el panel prismático, proteger la superficie de acabado.
2. Realizar una cuadrícula sobre la superficie con pintura sprayed
3. Enumerar los cuadrantes de la cuadrícula, arrojar 9 cuadrantes, como se observa en la figura 47.
4. Iniciar el hincado desde los 10 minutos o según la resistencia que ofrezca lecturas, como se muestra en la figura 50.

5. Hincar la aguja de forma perpendicular hasta la medida indicada de 15mm y en el orden secuencial de los cuadrantes.
6. Abortar lectura cuando la aguja hinque la fibra o alguna particular granular que hace resistencia falsa, repetir.
7. 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).
8. Repetir en la frecuencia de tiempos determinados y en el orden secuencial de los cuadrantes, hasta alcanzar resistencia inicial de 1,5 Mpa.

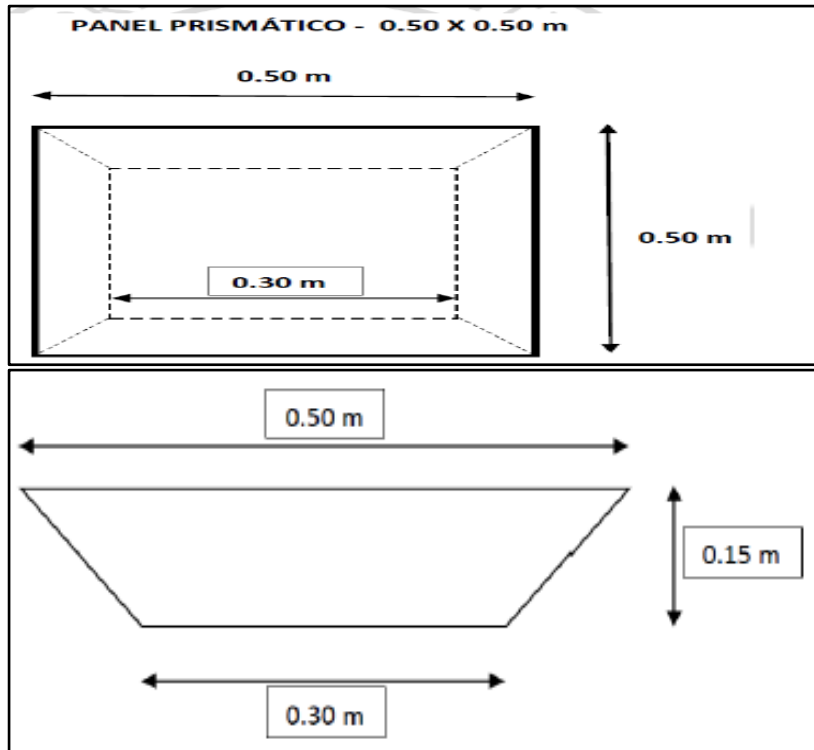


Figura 46. Diseño de panel prismático
Fuente: Elaboración propia.

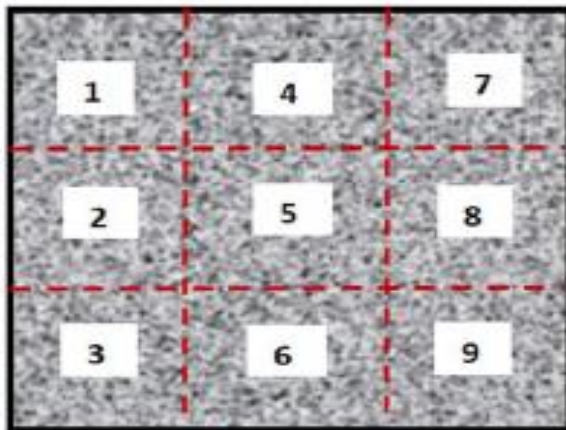


Figura 47. Elaboración de cuadrícula en el panel de shotcrete
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Ensayo con pistola Hilti DX 450 – Método B

Se empleó para medir las resistencias temprana de la mezcla fresca shotcrete, disparando los clavos de 103 mm en el molde panel cuadrado con shotcrete proyectado en el frente de labor.

La norma EN 14488-2 recomienda disparar 10 clavos, pero por criterio de trabajo el ensayo de 10 clavos distorsiona los resultados por la unidad del tiempo, haciendo una variabilidad de más de 30 minutos en culminar el ensayo de 10 clavos, estos serían resultados a diferente edad de ensayo. El procedimiento es el siguiente:

1. Obtenido la muestra de shotcrete proyectado elaborado en el panel cuadrado, como muestra la figura 49, proteger la superficie de acabado.
2. Realizar una cuadrícula sobre la superficie con pintura sprayed

3. Enumerar los cuadrantes de la cuadrícula, arrojar 6 cuadrantes.
4. Alcanzado los 1,5 Mpa con el penetrometro digital, realizar un primer disparo sobre un cuadrante al azar con el clavo de 103 mm y fulminante verde, como se observa en la figura 50.
5. Seguidamente si el clavo no se insertó en su totalidad, colocar el perno autoroscante en el clavo para aplicar el pull test del clavo, dispositivo que jalará el clavo y registrará en el manómetro las unidades de fuerza adquirida.(N)
6. En razón de una buena práctica ejecutar como máximo 6 disparos y no menor de 3 en la unidad de tiempo. Tratar de conseguir los datos del ensayo en rangos de minutos breves.
7. Habilitar y usar varios pernos autoroscantes

4.3.3. Resultados obtenidos de las resistencias iniciales

Se realizó el ensayo en interior mina en la rampa 565 del nivel 21 y en dos fechas programadas, en los días 5 y 6 del mes de noviembre del 2020.

A. Resultado del primer ensayo

El ensayo se realizó en el rampa 565 del nivel 21, en la fecha 05/11/2020, se tomó una muestra representativa en el panel tipo trapezoidal, el muestreo fue 11:45 am, a partir de esa hora se consideró el tiempo inicial.

Tabla 27

Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro

Hora de lanzado :		11 : 45 Hrs		Fecha de prueba :		5 de Noviembre de 2020			
Curva de calibración usada :			II (Agregado de ϕ 0 a 16 mm)			Método de ensayo : A			
Hora de lectura (hh:mm)	Hora acumulada (hh:mm)	Temperatura ambiente ($^{\circ}$ K)	Fuerza a la penetración (Kp)				Promedio (Kp)	Resistencia a compresión	
			N/mm ²		Kg/cm ²				
11:55	0:10	299,05	17 , 17 , 22 , 17 , 22 , 17 , 17 , 17 , 22 , 17	18,5	0,33	3,4			
12:15	0:30	298,45	32 , 27 , 27 , 32 , 32 , 27 , 32 , 32 , 37 , 32 , 37	31,5	0,56	5,8			
12:45	1:00	296,85	52 , 52 , 47 , 42 , 47 , 47 , 52 , 52 , 52 , 52 , 52	49,5	0,89	9,0			
13:15	1:30	296,95	62 , 62 , 57 , 57 , 62 , 67 , 67 , 67 , 62 , 67 , 67	63,0	1,13	11,5			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 27 se observa los resultados de la resistencia inicial con el instrumento del penetrómetro, lo cual nos indica la conclusión del tiempo de 1 hora y 30 minutos nos da 1,13 Mpa, que está dentro del rango.

Tabla 28

Ensayo de resistencia inicial con pistola hilti DX 450 SCT

J	K	L	m	n	O	P	q	r	s
Hora	Tiempo tras completar se en gunitado	Tipo de perno / Longitud Total L_{tot}	Saliente NVS	Penetración $h_{nom} = L_{tot} - NVS$	Lectura de la carga de tracción N_u	Carga de tracción real N_u'	N_u' / h_{nom} p/n	Media N_u' / h_{nom} $\Sigma N_u' / h_{nom} / 10$	Resistencia del Shotcrete $F'c$ (MPa)
(h : min)	(h : min)	mm.	mm.	mm.	Kn	N	N / mm.	N / mm.	
$t_0 =$	0								
Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos									
13:45 pm	2,0	103	15	88	1.2	1 200	13,6	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	22	81	1.4	1 400	17,3	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	18	85	1.0	1 000	11,8	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	16	87	1.2	1 200	13,8	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	24	79	1.6	1 600	20,3	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	15	88	1.0	1 000	11,4	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	18	85	1.8	1 800	21,2	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	24	79	1.6	1 600	20,3	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	18	85	1.2	1 200	14,1	16,4	2,5
13:45 pm	2,0	103	26	77	1.6	1 600	20,8	16,4	2,5
							$\Sigma =$	164,4	
J	K	L	m	n	O	P	q	r	s

Hora	Tiempo tras completars e en gunitado $\bar{j} - t_0$ (h : min)	Tipo de perno / Longitud Total L_{tot} mm.	Saliente NVS mm.	Penetración h_{nom} $= L_{tot} - NVS$ mm.	Lectura de la carga de tracción N_u kN	Carga de tracción real N_u' N	N_u' / h_{nom} p/n N / mm.	Media N_u' / h_{nom} $\Sigma N_u' / h_{nom} / 10$ N / mm.	Resistencia del Shotcrete F_c (MPa)
Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos									
14:15 pm	2,5	103	31	72	2.0	2 000	27,8	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	35	68	1.8	1 800	26,5	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	30	73	1.4	1 400	19,2	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	33	70	2.1	2 100	30,0	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	30	73	1.4	1 400	19,2	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	32	71	2.0	2 000	28,2	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	35	68	2.1	2 100	30,9	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	31	72	1.8	1 800	25,0	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	32	71	1.6	1 600	22,5	25,4	3,8
14:15 pm	2,5	103	31	72	1.8	1 800	25,0	25,4	3,8
							$\Sigma =$	254,2	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 28 se observa los resultados de la resistencia inicial con el instrumento de la pistola hilti DX 450, lo cual nos indica la conclusión del tiempo de 2 horas nos da 2,5 Mpa, y de 2 horas y 30 minutos nos da 3,8 Mpa, lo cual está dentro del rango.

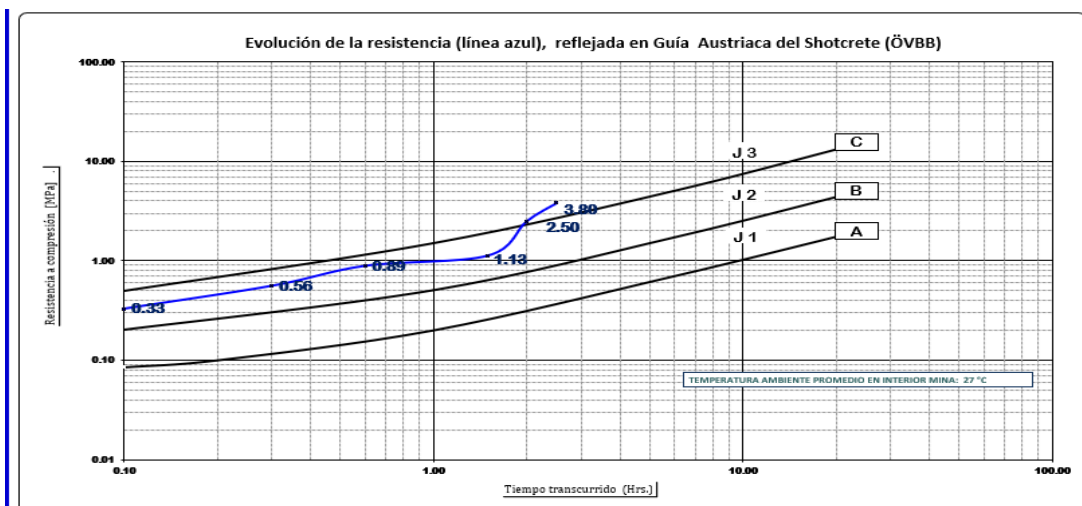


Figura 48. Evolución de la resistencia a edades tempranas.

Fuente: Elaboración propia.

Según resultados obtenidos en la figura 48 nuestro diseño de shotcrete según clasificación de la guía Austriaca está en Clase J3: solo es especificado en circunstancias especiales como ante una fuerte filtración de agua en el terreno a sostener y/o terreno altamente inestable.



Figura 49. Colocación de shotcrete a los paneles
Fuente: Elaboración propia.



Figura 50. Ensayo de resistencias a edades tempranas del shotcrete
Fuente: Elaboración propia.



Figura 51. Ensayo de resistencias a edades tempranas del shotcrete
Fuente: Elaboración propia.

B. Resultado del segundo ensayo

El ensayo se realizó en la rampa 565 - nivel 21, en la fecha 06/11/2020, se tomó una muestra representativa en el panel tipo trapezoidal, el muestreo fue 11:40 am, a partir de esa hora se consideró el tiempo inicial, los resultados se muestran en la tabla 29 y 30.

Tabla 29

Ensayo de resistencia inicial con penetrómetro

Hora de lanzado		:	11 : 40 Hrs		FECHA DE PRUEBA :		6 de Noviembre de 2020			
Curva de calibración usada :			II (Agregado de ϕ 0 a 16 mm)			Método de ensayo : A				
Hora de lectura (hh:mm)	Hora acumulada (hh:mm)	Temperatura ambiente ($^{\circ}$ K)	Fuerza a la penetración (Kp)					Promedio (Kp)	Resistencia a la compresión	
								N/mm ²	Kg/cm ²	
11:50	0:10	301,15	17	27	22	22	22	23,0	0,41	4,2
			22	27	22	22	27			
12:10	0:30	300,65	32	32	32	37	37	35,0	0,63	6,4
			32	37	37	37	37			
12:40	1:00	300,65	47	52	52	47	47	51,0	0,91	9,3
			52	57	52	52	52			
13:10	1:30	300,65	62	62	67	67	67	65,5	1,17	12,0
			67	62	67	67	67			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 29 se observa los resultados de la resistencia inicial, lo cual nos indica del tiempo de 1 hora y media es 1,17 Mpa, que está dentro del rango.

Tabla 30

Ensayo de resistencia a edades tempranas con pistola hilti DX 450 SCT

J	K	L	m	n	O	p	q	R	s
Hora	Tiempo tras completarse en gunitado	Tipo de perno / Longitud Total	Saliente NVS	Penetración $h_{nom} = L_{tot} - NVS$	Lectura de la carga de tracción N_u	Carga de tracción real N_u'	N_u' / h_{nom} p/n	Media N_u' / h_{nom} $\Sigma N_u' / h_{nom} / 10$	Resistencia del Shotcrete F_c (MPa)
(h : min)	(h : min)	mm.	mm.	mm.	kN	N	N / mm.	N / mm.	
$t_0 =$	0				Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos				
13:40 pm	2,0	103	35	68	1.8	1 800	26,5	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	44	59	1.8	1 800	30,5	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	44	59	1.6	1 600	27,1	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	36	67	1.4	1 400	20,9	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	47	56	1.4	1 400	25,0	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	42	61	1.2	1 200	19,7	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	39	64	1.6	1 600	25,0	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	40	63	1.6	1 600	25,4	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	42	61	1.2	1 200	19,7	24,3	3,6
13:40 pm	2,0	103	44	59	1.4	1 400	23,7	24,3	3,6
							$\Sigma =$ 243,5		
J	K	L	m	n	O	p	q	R	S
Hora	Tiempo tras completarse en gunitado	Tipo de perno / Longitud Total	Saliente NVS	Penetración $h_{nom} = L_{tot} - NVS$	Lectura de la carga de tracción N_u	Carga de tracción real N_u'	N_u' / h_{nom} p/n	Media N_u' / h_{nom} $\Sigma N_u' / h_{nom} / 10$	Resistencia del Shotcrete F_c (MPa)
(h : min)	(h : min)	mm.	mm.	mm.	kN	N	N / mm.	N / mm.	
$t_0 =$	0				Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos				
14:10 pm	2,5	103	39	64	1.1	1 100	17,2	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	50	53	2.0	2 000	37,7	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	42	61	2.2	2 200	36,1	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	43	60	2.0	2 000	33,3	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	48	55	1.8	1 800	32,7	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	42	61	2.0	2 000	32,8	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	43	60	2.1	2 100	35,0	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	41	62	2.0	2 000	32,3	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	46	57	1.8	1 800	31,6	31,7	4,7
14:10 pm	2,5	103	40	63	1.8	1 800	28,6	31,7	4,7
							$\Sigma =$ 317,2		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 30 se observa los resultados de la resistencia temprana con el instrumento de la pistola hilti DX 450, lo cual nos indica la conclusión del tiempo de 2 horas nos da 3,6 Mpa, y de 2 horas y 30 minutos nos da 4,7 Mpa, lo cual está dentro del rango.

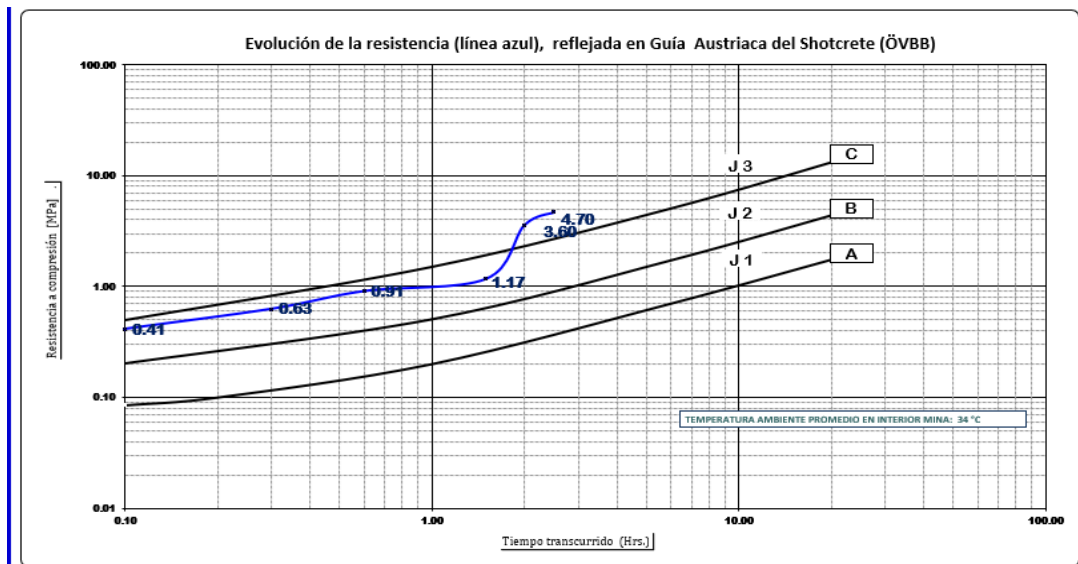


Figura 52. Evolución de la resistencia a edades tempranas.
Fuente: Elaboración propia.

Según resultados obtenidos en la figura 52 nuestro diseño de shotcrete según clasificación de la guía Austriaca está en Clase J3: Esta clase de diseño del concreto son para especificaciones muy particulares, es decir cuan el terreno es muy frágil y gran presencia de agua producto de filtraciones muy complejas, generando inestabilidad de la roca.

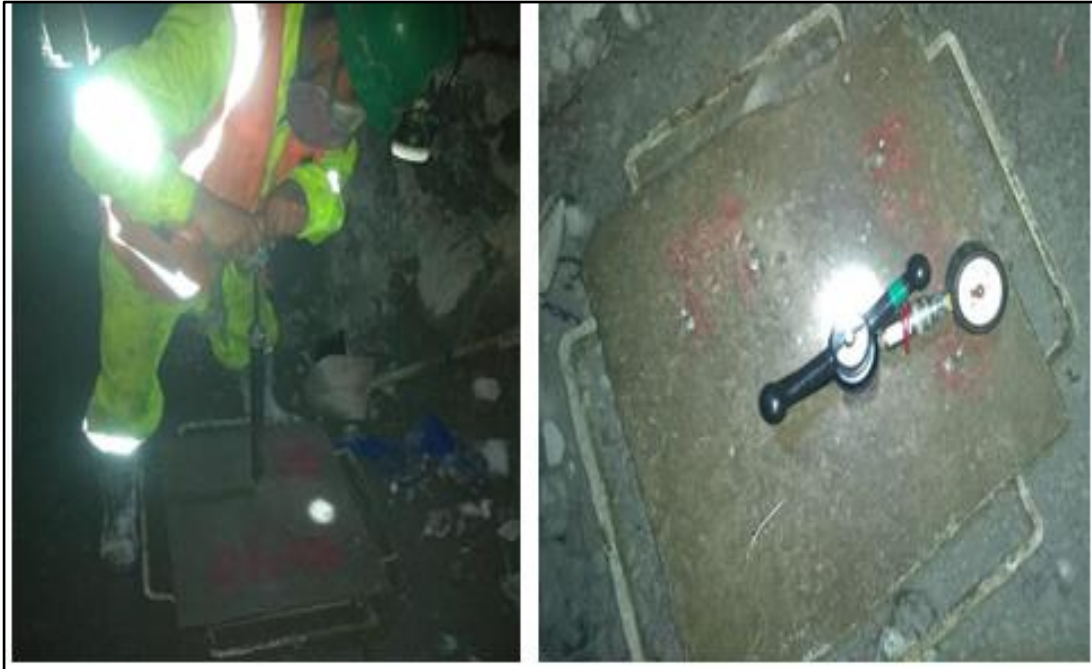


Figura 53. Pruebas de resistencias iniciales de shotcrete
Fuente: Elaboración propia.

4.4. Ensayo del shotcrete en estado endurecido

4.4.1. Resultado de resistencia a la compresión de probetas 4x8

Muestras en planta dosificadora de shotcrete

Norma de ensayo: ASTM C-39, determina la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

En la tabla 31 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión del concreto elaborado en planta dosificadora de concreto en interior mina del nivel 14 que fue muestreada el 17/11/2020.

Tabla 31*Resultados de resistencia a la compresión*

Fecha de Muestreo	Fecha de Rotura	Edad de rotura	Altura	Diámetro cm. (d)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (F'c)	F'c Promedio (kg/cm ²)
			cm. (h)					
17/11/2020	24/11/2020	7 DÍAS	20,00	10,00	78,54	34 670	441,43	411
			20,00	10,00	78,54	29 915	380,89	
17/11/2020	30/11/2020	14 DÍAS	20,00	10,00	78,54	41 260	525,34	537
			20,00	10,00	78,54	43 150	549,40	
17/12/2020	14/01/2021	28 DÍAS	20,00	10,00	78,54	45 915	584,61	605
			20,00	10,00	78,54	49 132	625,57	

Fuente: Elaboración propia.

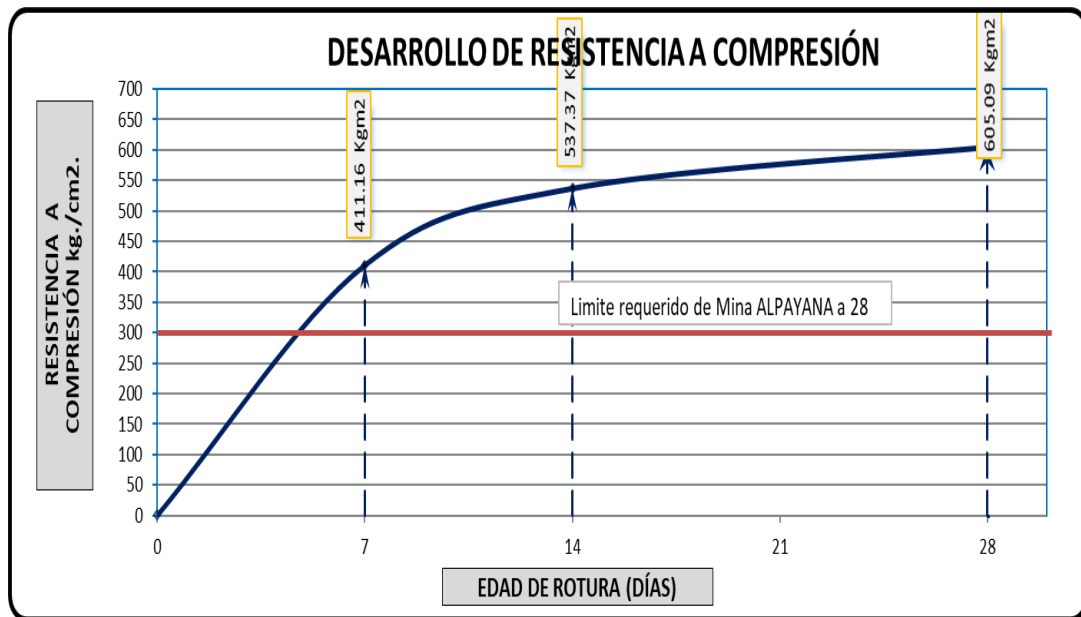


Figura 54. Desarrollo de resistencia de shotcrete endurecido.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 54 observamos la evolución de la resistencia del concreto ensayado en planta dosificadora del concreto donde en 7 días es de 411 kg/cm², 14 días es de 537 kg/cm² y 28 días es de 605 kg/cm².



Figura 55. Ensayos de probetas para la resistencia a compresión
Fuente: Elaboración propia.



Figura 56. Probetas de shotcrete
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Resultado de resistencia a la compresión en diamantinas

Muestra de paneles trapezoidal: Según la norma de ensayo ASTM C-42, este método trata sobre la obtención, preparación y ensayo de núcleos perforados de muestras de shotcrete lanzado en la rampa 565 del nivel 21 en interior mina.

En la tabla 32 se observa los resultados de resistencia a compresión del concreto proyectado – Shotcrete, que fue muestreado el 18/10/2020.

Tabla 32
Resultados de resistencia a la compresión

Edad de rotura	Altura cm. (h)	Diámetro cm. (d)	Relación (h/d)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (F'c)	F'c Corregido por esbeltez	F'c Promedio (kg/cm ²)
7 DÍAS	12.80	6,70	1,91	35,26	8 622	244,53	242,77	250
	12.80	6,70	1,91	35,26	9 146	259,39	257,52	
25-Oct								
14 DÍAS	12.80	6,70	1,91	35,26	10 360	293,82	291,70	301
	12.60	6,70	1,88	35,26	11 055	313,53	310,52	
1-Nov								
28 DÍAS	12.80	6,70	1,91	35,26	11 621	329,58	327,21	334
	12.60	6,70	1,88	35,26	12 132	344,07	340,77	
15-Nov								

Fuente: Elaboración propia.

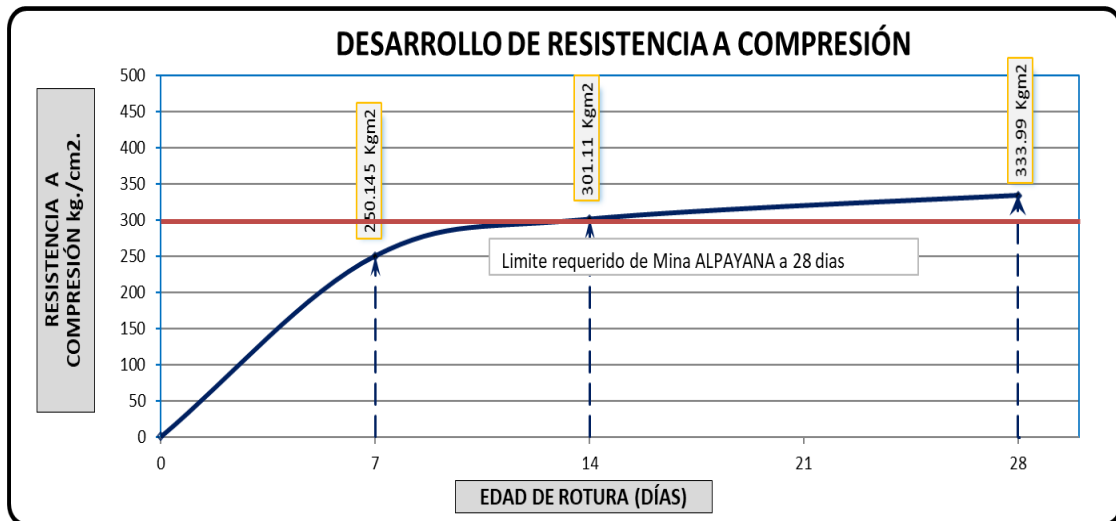


Figura 57. Desarrollo de resistencia a de shotcrete endurecido.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 57 observamos la evolución de la resistencia del concreto ensayado en la rampa 565 del nivel 21 donde en 7 días es de 250 kg/cm², 14 días es de 301 kg/cm² y 28 días es de 334 kg/cm², lo cual se mantiene en el rango del límite que es de 300 kg/cm².



Figura 58. Paneles prismáticos colocados en la labor a lanzar
Fuente: Elaboración propia.



Figura 59. Probetas para el ensayo de resistencia a la compresión
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo de rotura fue realizado en el laboratorio de Maccaferri en la ciudad de Lima, como indica la figura 59.

4.5. Aplicación del shotcrete vía húmeda

Finalmente para nuestro cuarto objetivo específico, se siguió técnicas y procedimientos para la aplicación del shotcrete vía húmeda en la rampa principal del nivel 21, 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.

a) 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 a/c.
- Los niveles del tanque dosificador debe estar controlado.

b) Aplicación para el lanzado shotcrete

- Preparar la superficie desatando las rocas sueltas y limpiar.
- Considerar la distancia de la tobera hacia el sustrato es de 0,80 a 1,20 m.
- Disparar el shotcrete en forma perpendicular y circular a la superficie.
- El lanzado 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 25 mm, esperar 10 minutos para realizar la segunda capa, de acuerdo a la recomendación.
- Finalmente colocado de calibradores para el control del espesor.

A. Cálculo de espesor del shotcrete

Para el cálculo del espesor de shotcrete se dio a conocer los valores de “Q” de Barton.

$$RSR = 13,3 \text{ Log. } Q + 46,5 \text{ (relación de soporte de excavación)}$$

Q	0,4	1	0,2
RSR	41,20	46,5	37,20
RSR (promedio)		41,63	

Luego de conocer el promedio del soporte de relación de excavación (RSR), se procedió a realizar el cálculo del espesor de shotcrete.

$$TC = \frac{D}{150} (65 - RSR) = \frac{11,48}{150} (65 - 41,63) = 1,78" = 51 \text{ mm}$$

El espesor con que se aplicará para la superficie de la rampa 565 del nivel será de 51 mm.

El factor de seguridad que se trabaja es por encima de 1,4

B. Prueba de rebote en el shotcrete vía húmeda

Norma de ensayo: ACI 506, establece el procedimiento y cálculos para determinar la pérdida por rebote en el lanzado de concreto proyectado.

La prueba se realizó en la rampa 565 nivel 21 zona baja de cuerpos a horas 12:30 pm del día 2 de noviembre del 2020.

La prueba se realizó con el equipo lanzador Alpha 20 y Se ha podido identificar la presión de aire se encuentra en promedio de 3 bar, tomado en el manómetro del equipo.

Tabla 33*Cálculo de % de rebote del shotcrete*

Cálculo del porcentaje de rebote - shotcrete vía húmeda				
N° de valdes	Peso (kg.)	Dosificación (m3)	Peso específico x m3	% de rebote
1	40,535			
2	27,845			
3	38,815		2 260	
4	29,645			
5	28,835			
6	24,515	3	2 260	5,3%
7	23,585			
8	31,325			
9	30,305			
10	25,215			
11	22,765		2 260	
12	36,205			
TOTAL	359,590	3	6 780	5,3 %

Fuente: Elaboración propia.

En el resultado que nos indica en la tabla 33 es de 5,3 % desperdicio por rebote lo que se encuentra menor del 10 %, que es el límite de la pérdida del rebote, se tiene que mejorar la presión de aire siendo 4 bares como mínimo para obtener mayor adherencia.



Figura 60. Colocación de mantas en labor para recepción del rebote.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- 1) Se determinó para el proceso por shotcrete vía húmeda para 1 m³ se requiere 425 kg de cemento, 1 714,32 kg de agregado, 103,34 litros de agua, 3,7 litros de aditivo hiperplastificante, 20 kg de fibra metálica y 23,7 litros de aditivo acelerante.
- 2) Se demostró resistencias iniciales favorables como con el método del penetrómetro obteniendo una resistencia de 0,93 Mpa en 1 hora, y con el método del martillo hilti obteniendo una resistencia de 3,6 Mpa en 2 horas, con el aditivo del acelerante, lo cual está dentro del rango para la continuidad de la operación minera y la seguridad.
- 3) Se demostró resistencia en concreto endurecido en evolución favorable en planta de shotcrete lo cual se obtuvo 60,5 Mpa en 28 días con probetas cilíndricas, y en la labor se obtuvo 33,4 Mpa en 28 días con muestra de panel trapezoidal, lo cual está dentro del rango de operación mina.

RECOMENDACIONES

- 1) Se debe llevar un mejor control de calidad de agregados, y desarrollar una presión de aire a 4 bares, para no perjudicar la adherencia del shotcrete hacia el techo y las paredes de la labor y así evitar deficiencias en la resistencia del shotcrete.
- 2) Es recomendable lograr una resistencia óptima de 0,8 a 1,0 Mpa en una hora para la continuidad del ciclo minado en la unidad minera Alpayana
- 3) El shotcrete endurecido para que alcance una mejor resistencia, sería ideal para un proceso de curado en las labores ya realizadas, con el fin de no perjudicar su resistencia a largo plazo y lograr un óptimo acabado.
- 4) Se recomienda un mantenimiento semanal de la planta dosificadora de concreto y de los equipos, para evitar inoperatividad durante la dosificación del concreto, y perjudicar a la operación en el ciclo minado.
- 5) Es recomendable implementar un laboratorio para llevar un mejor control de calidad del diseño del shotcrete en interior mina.

- 6) Realizar capacitaciones con respecto a seguridad y operaciones a los trabajadores para mejorar en la calidad del trabajo, y a los operadores de robot actualizándolos como lanzadores certificados.
- 7) Se recomienda ampliar diseños del shotcrete de acuerdo a la temperatura de las diferentes labores que se maneja, para dar un óptimo diseño del shotcrete.
- 8) Se recomienda seguir estudiando e investigando la dosificación del shotcrete junto con adición los aditivos e fibras, con la finalidad de una buena calidad de diseño del shotcrete.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 506R-16. (2016). *Guide to shotcrete*. American concrete institute.

ACI 211. (2012). *Diseño de mezcla de concreto ACI Comité 211*. Disponible de: [file:///C:/Users/Jhon/Downloads/Diseno de mezclas por el metodo ACI](file:///C:/Users/Jhon/Downloads/Diseno%20de%20mezclas%20por%20el%20metodo%20ACI)

ASTM international. (2015). *American Society for testing and materials*. Recuperado de: <https://la.astm.org/>

Bracamontes, J. R. (2014). *Concreto lanzado en la industria minera. Construcción y Tecnología en el concreto*. Recuperado de <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/febrero2014/portada.pdf>

Camarena, F. (2016). *Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E.E. Robocon S.A.C. en la mina San Cristóbal - Cía minera volcan S.A.A.* (Tesis de pre-grado). Universidad del centro del Perú. Huancayo. Recuperado <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3860/Camarena%20Cosme.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, L. J. (2014). *Shotcrete vía húmeda su importancia como elemento de sostenimiento en minería*. Instituto de Ingenieros de minas del Perú. Recuperado de http://www.iimp.org.pe/pptjm/jm20140227_shotcrete.pdf

Henríquez, E. y Zepeda, M. (2003). *Preparación y elaboración de un proyecto de investigación para la redacción de una tesis*. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95532003000200003&lng=es&nrm=iso

Holmberg, F. A. (2015). *Shotcrete – Guía chilena del hormigón proyectado*. Santiago. Editorial Rojas.

Instituto del cemento y del hormigón de Chile (2015). *Guía chilena del hormigón proyectado*.

León, L. (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*. Universidad continental. Huancayo. Recuperado de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4634/1/IV_FIN_110_TE_Leon_Condor_2018.pdf

Ramos, E. (2017). *Diseño de la mezcla del concreto convencional y concreto lanzado (shotcrete) para obtener un concreto de buena calidad; en la compañía minera volcan S.A. unidad Andaychagua*. Universidad nacional

Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco. Recuperado de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/321/1/T026_72702696_T.pdf

Roldan, A. (2018). *Evaluación del soporte preventivo con shotcrete y fibra de acero aplicado en macizos rocosos inestables en la mina Animon - Cerro de Pasco. Universidad nacional Micaela Bastidas de Apurímac*. Recuperado de http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/619/T_0342.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Torres, L. (2016). *Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica san Cristóbal - Minera Bateas*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3260/Mltoallr05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNE-EN 14488-2. (2007). *Ensayos de hormigón proyectado. Parte 2: Resistencia a compresión del hormigón proyectado a corta edad*. Disponible en: file:///C:/Users/Jhon/Downloads/EXT_6RL1CddAkytPxoWWx7Mm.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Hoja técnica de aditivo hiperplastificante

HOJA DE DATOS TECNICOS (HT) DTM – Rev. 01 – Octubre 2018	MACCAFERRI A M E R I C A L A T I N A						
MACFLU 110 ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPEÑO							
DESCRIPCION: <p>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). Está especialmente formulado para la producción de concreto que requiere de un rápido desarrollo de resistencia inicial, alta reducción de agua y excelente trabajabilidad, como también un prolongado mantenimiento de la fluidez, tiene excelentes propiedades con los agregados finos, una óptima cohesión y alto comportamiento autocompactante.</p> <p>Se recomienda MACFLU 110 para los siguientes tipos de concreto:</p> <ul style="list-style-type: none">• Concreto lanzado – shotcrete.• Concreto autocompactante.• Concreto para climas cálidos y/o fríos.• Concreto de alta resistencia, etc. <p>Excelente comportamiento con cementos adicionados.</p>	RECOMENDACIÓN: <p>Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico</p> DATOS TECNICOS: <table border="1" data-bbox="873 1050 1317 1119"><tr><td>Estado Físico</td><td>Líquido</td></tr><tr><td>Color</td><td>Marrón oscuro</td></tr><tr><td>Densidad, 20°C</td><td>1.08 ± 0.02</td></tr></table>	Estado Físico	Líquido	Color	Marrón oscuro	Densidad, 20°C	1.08 ± 0.02
Estado Físico	Líquido						
Color	Marrón oscuro						
Densidad, 20°C	1.08 ± 0.02						
VENTAJAS Y BENEFICIOS: <p>Con MACFLU 110 se obtienen las siguientes propiedades en el concreto al emplear como aditivo único:</p> <ul style="list-style-type: none">• Como reducción de agua y aumenta la cohesión lo que lo hace adecuado para la producción de concreto autocompactante.• Alta Impermeabilidad.• Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).• Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).• Mejora la plasticidad y disminuye la contracción plástica.• Mantiene la fluidez por mayor tiempo (a diferencia de los aditivos tradicionales) sin variar el fraguado.• Fraguado del concreto, en menor tiempo que del aditivo estándar.• Desencofrado de las estructuras en menor tiempo.• Rheología controlada• Reduce la carbonatación del concreto.• Aumenta la durabilidad del concreto.• Reduce la exudación y la segregación.• Produce concretos cohesivos y sin Segregación ni sangrado.• Incrementa la vida de servicio de las estructuras.	NORMA: Cumple con la especificación ASTM C 494 tipos A y F. APLICACION: Se recomienda dosificar al aditivo MACFLU 110 en un rango de: Para concretos plásticos: Del 0.8% al 1.2% del peso del contenido cementicio. Para concretos fluidos. Del 1.2% al 1.8% del peso del contenido cementicio. <p>Para todos los casos se recomienda realizar pruebas preliminares para verificar el fraguado y la resistencia que se utilizarán en el proyecto.</p> <p>No debe ser vertido en agregados y el concreto seco, ya que se obtendría una reducción de su performance debido a la absorción de parte del aditivo con los agregados.</p> <p>Para más información, contactarse con su representante técnico de MACCAFERRI.</p> TIEMPO DE ALMACENAMIENTO: MACFLU 110, si se almacena en su envase original bien cerrado, bajo las condiciones óptimas de almacenaje, tiene una vida útil de 18 meses como mínimo, a temperaturas entre 5 °C y 35 °C. <p>Para más información contactarse con su representante técnico de MACCAFERRI.</p>						
<p>Carretera Nueva Panamericana Sur Km. 33 – Lurín – Lima Telf.: 51(1) 206-2600 E-mail: info@pe.maccaferri.com</p>							

MACFLU 110
ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPEÑO

PRESENTACION:

MACFLU 110 se suministra en:

- Cilindros de 208 litros.
- Tanques de 1000 litros.
- A granel (para consumo masivo).

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

OBSERVACIONES:

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante técnico de MACCAFERRI.

Los datos presentes en esta hoja técnica son referenciales.

www . maccaferri . com . pe

MACCAFERRI se reserva el derecho de revisar estas Especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

Carretera Nueva Panamericana Sur Km. 33 – Lurín – Lima
Telf.: 51(1) 206-2600
E-mail: info@pe.maccaferri.com

Anexo 2: Hoja técnica de aditivo acelerante

HOJA DE DATOS TECNICOS (HT)
DTM – Rev. 01 – Agosto 2017

MACCAFERRI
AMERICA LATINA

HAA MACFREE PLUS

ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUADO DE ALTO DESEMPEÑO PARA SHOTCRETE

DESCRIPCION:

HAA MACFREE PLUS es un acelerante de fraguado, líquido, libre de álcalis, para ser utilizado en concreto lanzado, shotcrete, ambas vías, seca y húmeda.

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.

VENTAJAS Y BENEFICIOS:

Con HAA MACFREE PLUS, se logra el avance rápido de la obra y la formación de revestimientos de capas más gruesas de shotcrete, en una misma secuencia debido al fraguado rápido.

Permite el desarrollo de una resistencia inicial continua, a la vez de alcanzar una resistencia excelente en el largo plazo.

Menos pérdida de la resistencia final del shotcrete (normalmente con los acelerantes convencionales entre 20 y 50 %).

Reducción del riesgo de la reacción álcali-agregado, mediante la eliminación del contenido de álcalis provenientes de los acelerantes comunes. Baja formación de polvo y por lo tanto, crea un ambiente de trabajo saludable y mejora la visibilidad en el lanzado. No es agresivo, reduce el impacto ambiental y disminuye los costos de manejo.

Mejora la seguridad laboral evitando lesiones como quemaduras de la piel, pérdida de la vista y problemas respiratorios.

DATOS TECNICOS:

Estado Físico	Líquido
Color	Beige
Densidad, 20°C	1.43 ± 0.02
pH	2.5 – 3.2
Contenido de Cloruros	< 0.1%

NORMA:

Cumple con la especificación ASTM C 494 para Aditivos Acelerantes de Fraguado Tipo C.

APLICACION:

El rango de dosificación recomendado para el HAA MACFREE PLUS, depende de la temperatura del concreto, y temperatura del ambiente de trabajo, es otro factor importante que influye en la dosificación. Dependiendo el tiempo requerido de fraguado y resistencia temprana.

El consumo del aditivo HAA MACFREE PLUS, normalmente fluctúa:

Entre 4 – 9% con respecto al peso del material cementicio dosificado.

Una sobredosis del HAA MACFREE PLUS, de > 12 % pueden resultar en una disminución de resistencia final del shotcrete.

Para todos los casos se recomienda realizar pruebas preliminares para verificar el fraguado y la resistencia inicial hasta las 24 horas del shotcrete que se utilizarán en el proyecto.

Debido a las variaciones en las condiciones de la obra y de los materiales de concreto, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados.

En tales casos, contactarse con su representante técnico de MACCAFERRI.

MODO DE EMPLEO:

El acelerante líquido HAA MACFREE PLUS se dosifica en la boquilla.

Para asegurar una dosificación constante y precisa, asegurando la calidad del concreto lanzado, recomendamos la utilización de las bombas de dosificación:

- Bombas peristálticas
- Mono bombas

RECOMENDACIONES:

Para la aplicación del concreto lanzado shotcrete con acelerante de fraguado HAA MACFREE PLUS. El sustrato debe estar limpio, sin material suelto y se recomienda que este húmedo, rociado con agua para una mejor adherencia.

Carretera Nueva Panamericana Sur Km. 33 – Lurín – Lima
Telf.: 51(1) 206-2600
E-mail: info@pe.maccaferri.com

HAA MACFREE PLUS

ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUADO DE ALTO DESEMPEÑO PARA SHOTCRETE

Limpieza:

Antes y después de utilizar HAA MACFREE PLUS, el equipo de dosificación y demás partes del sistema se deben limpiar por completo con abundante agua.

El no hacerlo provoca taponamientos en la línea de flujo del aditivo acelerante. Asegúrese de que todos los operadores involucrados en la operación estén bien informados.

Compatibilidad:

No mezcle HAA MACFREE PLUS con otros acelerantes que no sean de la misma base química, ya que esto causará inmediato taponamiento de los equipos de dosificación.

ALMACENAMIENTO:

HAA MACFREE PLUS, debe almacenarse en contenedores cerrados de plástico o acero inoxidable. No debe almacenarse en contenedores metálicos convencionales, puesto que el pH del producto induce corrosión que puede afectar su desempeño, y ocasionar derrames, por el debilitamiento del envase del contenedor metálico.

HAA MACFREE PLUS, si se almacena en su envase original bien cerrado, bajo las condiciones óptimas de almacenaje, tiene una vida útil de 12 meses como mínimo.

Para mayor información contactarse con su representante técnico de MACCAFERRI.

PRESENTACION:

HAA MACFREE PLUS, se suministra en cilindros de 208 litros, tanques (totes) de 1000 litros y a granel.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

HAA MACFREE PLUS, es un líquido irritante para la piel y los ojos. Deben tomarse las mismas precauciones a las indicadas para el uso y manejo de todo tipo de acelerantes para shotcrete.

Mantenga fuera del alcance de los niños. Mantenga el recipiente cerrado cuando no se utilice. Evite el contacto con la piel, los ojos y la ropa. Lave sus manos perfectamente después de usar el producto.

Use guantes protectores y lentes de protección. Debe seguir las advertencias indicadas en la etiqueta.

Primeros auxilios:

En el caso de contacto con los ojos, lave perfectamente con agua limpia por un mínimo de 15 minutos. Si hay contacto con la piel, lave el área afectada con agua y jabón. Si la irritación persiste, busque atención médica. Retire y lave la ropa contaminada.

En el caso de tragar, trate de no inducir al vómito y busque atención médica.

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

OBSERVACIONES:

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante técnico de MACCAFERRI.

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado.

Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 51 (1) 206-2600 ó descargarla a través de Internet en nuestra página web:

www.maccafferri.com.pe

MACCAFERRI se reserva el derecho de revisar estas Especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

Anexo 3: Ficha técnica de fibra metálica.

MACCAFERRI

FICHA TECNICA

Rev.: 03, Enero 2017

FIBRA WIRAND® FS3N

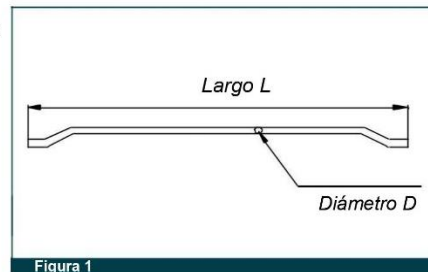
DESCRIPCIÓN:

Fibra WIRAND® FS3N en alambre de acero trefilado para el refuerzo del concreto proyectado (shotcrete).

TIPO: Wirand FS3N

CARACTERÍSTICAS:

Diámetro (D)	: 0.75 mm
Largo (L)	: 33 mm
Relación de esbeltez (L/D)	: 44
Red de Fibras	: 8,651 Fibras/Kg
Presentación de las Fibras	: Suelta



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ALAMBRE

R_m (Tensión de ruptura por tracción del alambre)	: > 1200 MPa (Según ACI 544.3R-08)
I (Elongación a la ruptura)	: < 4%

FORMA

Los ganchos de las extremidades de la fibra WIRAND® FS3N garantizan la máxima adherencia al concreto proyectado (shotcrete).

DOSIFICACION

La dosis estándar es de 20 kg/m³. Sin embargo, esto varía según diseño de mezcla.

STANDARD DE REFERENCIA

- ASTM A820-01 "Standard specification for steel fibers for fiber-reinforced concrete"
- UNI-11037 – Fibre di acciaio da impiegare nel confezionamento di conglomerato cementizio rinforzato
- pr-EN 14889-1 – Fibres for concrete – Part 1 – Steel fibres – Definition, specifications and conformity

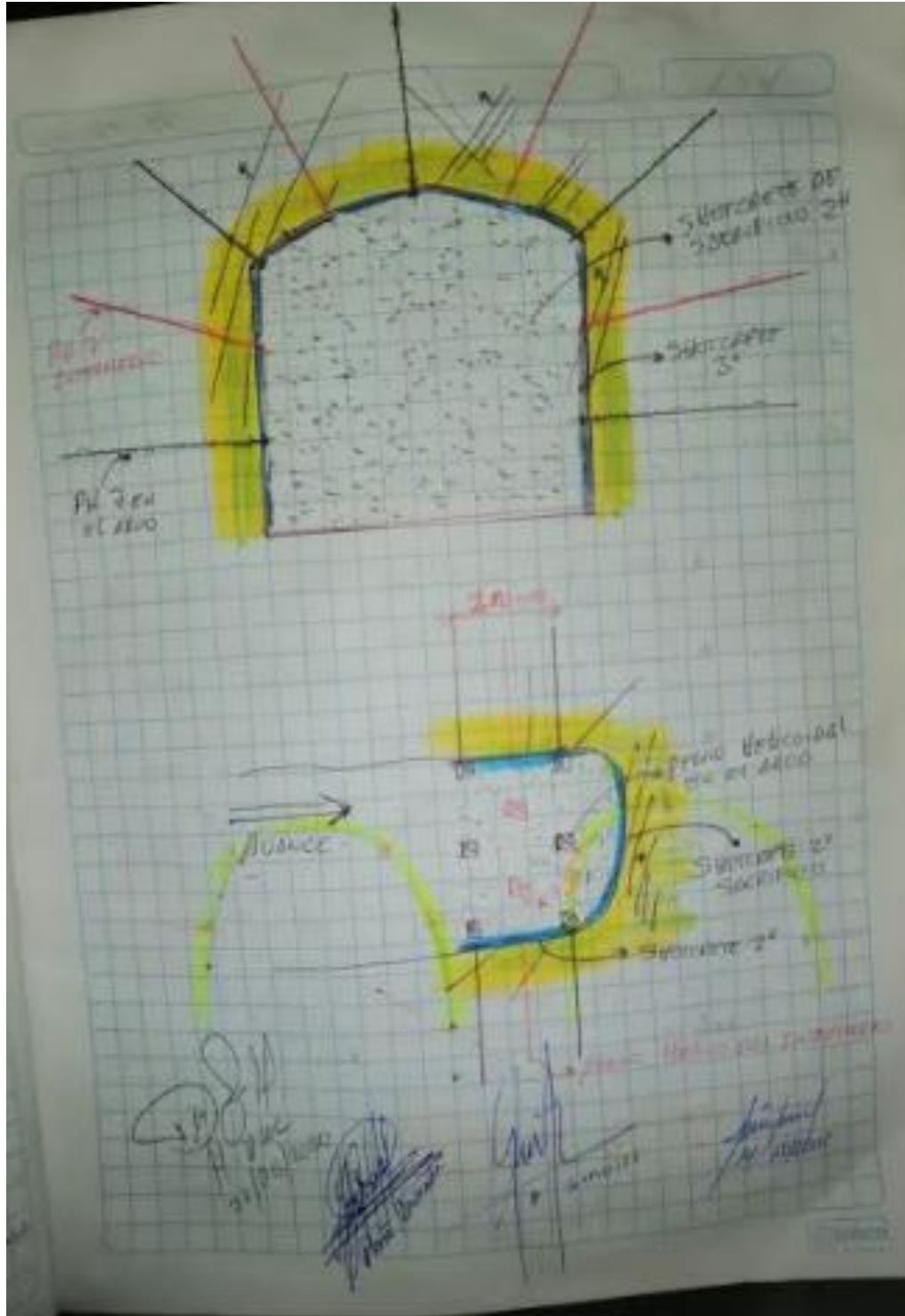
EMBALAJE

La fibra WIRAND® FS3N es acondicionada en cajas de cartón de 20 Kg o grandes Big bags de 600 Kg, 750 Kg, 950 Kg de peso.

El fabricante, con el fin de mejorar y optimizar las características técnicas de los productos, se reserva el derecho de modificar los estándares de los productos sin ningún preaviso. Todas las informaciones comunicadas están dadas de buena fe y en base a nuestra experiencia; de todas formas tanto el fabricante como sus distribuidores declinan cualquier responsabilidad por una utilización errónea de dicha información por parte del proyecto.

Maccaferri se reserva el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.
www.maccaferri.com.pe

Anexo 4: Cuaderno de recomendación geomecánica



RECOMENDACION ECONOMICA

- \otimes Tipo IIIA - RPE = 31-60, considerando los factores inherentes (cargas de masa) para A SER UN TIPO IIIA, problema de FORTINAS paralelas y sus inclinaciones a la excavación, Presento Fracturamiento y Polvo excesivo.
- \otimes Realizar frecuente desahogo, espaldas, y T.O.O durante el trabajo.
- \otimes Cuando se presenten cambios o aumentos de RPA, detenerse inmediatamente para bajar el RPA hasta que se estabilice e informar al Supervisor o al jefe de operaciones.
- \otimes Trabaja el sostenimiento:

 - 1^o SOSTENER CON SACRIFICIO 3^o Y/O EL RODEO LARGO
 - 2^o SOSTENER CON SACRIFICIO 2^o Y/O EL TRATE (SACRIFICIO DE SACRIFICIO)
 - 3^o ESTABILIDAD CON PUNOS INCLINADOS DE 3 PIES ESPACIADOS A 4.50 / 5.00, Y PROTECCION DE TALADROS DE ANCHO DE 10 PIES (CADA 20 PIES Y TALADROS 3 EN ESPACIAMIENTO ENTRE PUNOS CADA 2 PIES).
- \ast La recomendación es FICHA INCLINADO PERO SOSTENIDO incluye el SACRIFICIO DE SACRIFICIO.
- \otimes EN EL DISEÑO DEL FRONTE EL SERVICIO DEBEN SER DE MAYOR LONGITUD A DISTANCIA DE LOS OTRAS TALADROS MANTENIENDO UN ESPACIO ENTRE FRONTE



Geometría

Artesa reforzada con fuerte
almea y rinde de la boca
en gran medida moderado y
pleno de debilidad con ventillas
de sujeción

Reserva de cofre por las mismas
características del material usado y
de alta resistencia (segunda)



RIR 40-50

BSI - NFIR

un factor reflejante
0.3-0.4

1º Se recomienda sostenimiento con shabete
de 3" en todo el contorno de la sección

2º Colocar un laminado de shabete en el frente
en forma de sacrificio de 1"

3º Sostenimiento con tiras helicoidales
en forma sistemática



en todo
el contorno
de sujeción
de 3" en todo
el contorno



Anexo 5: Tabla geomecánica del GSI

Reg.01-ESST01 MINA CASAPALCA SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO LABORES MINERAS DE PREPARACIÓN Y DESARROLLO (2.50 a 4.50 m. de Luz)											
A Sin soporte o perno ocasional. (Control de bloques inestables). TIEMPO COLOCACION: 15 días a 3 meses.											
B Perno sistematico (1.8 x 1.8 m.) TIEMPO COLOCACION: 7 días.											
B Perno sistematico. (1.5 x 1.5 m.) y Malla o Shotcrete con fibra 2" pulg. TIEMPO COLOCACION: 3 días.											
C Perno sistematico. (1.2 x 1.2 m.) y Shotcrete con fibra 2" pulg. Cuadros de madera con guarda cabeza. TIEMPO COLOCACION: 1 día											
D Perno sistematico. (1.0 x 1.0 m.) y Shotcrete con fibra 3" pulg. Cuadros de madera con marchavantes. TIEMPO COLOCACION: Inmediato.											
E CIMBRAS o CUADROS Esp.= 0.80 a 1.00 m. Soporte preventivo sht. 2" o marchavantes. TIEMPO COLOCACION: Inmediato.											
ESTRUCTURA Abaco con relación RMR.		RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL									
		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (RC > 250 MPa) (SE ASTILLA O ROMPE CON MAS DE 04 GOLPES DE LA PICOTA) (M B)									
		BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (RC 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON 03 GOLPES DE LA PICOTA) (B)									
		REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (RC 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA) (R)									
		MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA CON ESTRIACIONES. MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (RC 25 A 50 MPa) - (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) O (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) o (ESTRIACIONES) (M)									
		MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS (FALLA) (RC < 25 MPa) (SE DISREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE) (SE HACE HUECO) (MM)									
LEVEMENTE FRACTURADA. 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.)	95 90	A LF/MB A A	A LF/B B B	A LF/R B B							
MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA. BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (F) (RQD 50 - 75%) (6 A 11 FRACTURAS POR METRO)	85 80	A F/MB A A	A F/B B B	B F/R B B	B F/M C C						
MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (MF) (RQD 25 - 50 %) (12 A 20 FRACTURAS POR METRO)	75 70	A MF/MB B B	B MF/B B B	B MF/R C C	C MF/M D D	D MF/MM E E					
INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (IF) (RQD 0 - 25%) (MAS DE 21 FRACTURAS POR METRO)	65		B IF/B C C	C IF/R D D	D IF/M E E	E IF/MM E E					
		60	55	50	45	40	35	30	25	20	15

Anexo 6: Columna estratigráfica

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos aluviales			Arenas, gravas y limos. Morrenas	
		PLEISTOCENA	Depósitos glaciares				
	NEÓGENO	PLIOCENA	Grupo Jauja	Formación Mataula	50		Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.
			Formación Ushno	100		Conglomerados fluviales.	
			Formación Ingahuasi	50		Tobas blancas calcáreas.	
			Formación Yanacancha	250		Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.	
			Formación Huarochiri	400		Tobas riolíticas y riolíticas con intercalaciones de areniscas.	
	PALEÓGENO	MIOCENA	Formación Millotingo	400		Lava andesítica a dacítica, areniscas volcánicas	
			Formación Castrovirreyna	150		Volcánico - sedimentario con intercalaciones de tobas.	
		OLIGOCENA	Grupo Sacsacero		2015		Tobas riolíticas soldadas, lavas y areniscas volcánicas
	EOCENA		SUP.				Andesita / Riolita
		MED.	Formación Tantarà	100		Derrames andesíticos a riolíticos, gris verdoso.	
	PALEOCENA					Disc. ang.	
	MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Formación Casapalca	4000		Lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados de color rojo. Dioritas.
Formación Celendin				400		Calizas pardo amarillentas con margas calcáreas, yeso.	
Formación Jumasha				400		Calizas compactas en estratos gruesos a delgados.	
INFERIOR			Formación Pariatambo	120		Calizas, lutitas de color negro fétido.	
			Formación Chùlec	220		Calizas gris pardo amarillentas y margas calcáreas.	
			Formación Pariahuanca	260		Calizas y margas calcáreas.	
			Grupo Goyllarisquiza	Formación Farrat	700		Areniscas de grano medio blanco a gris rojo.
			Formación Carhuaz	450		Areniscas con intercalaciones de lutitas violáceas.	
			Formación Santa	100		Caliza gris y arcillitas abigarradas.	
			Formación Chimú	400		Cuarzitas grises con intercalaciones de material bituminoso.	
JURÁSICO		MEDIA	Formación Chaucha	300		Lodolitas y limolitas calcáreas, calizas y dolomitas.	
			Formación Cercapuquio	322		Areniscas de grano fino a grueso color blanco a gris.	
		INFERIOR	Grupo Pucará	Formación Condorsinga	1000		Calizas gris azulada con presencia de venillas de calcitas.
Formación Aramachay			400		Intercalaciones de caliza con nódulos calcáreos y limoarcillitas carbonosas.		
Formación Chamberà			300		Calizas micríticas con nódulos de chert.		
TRIÁSICO		SUPERIOR				Disc. ang. Secuencia rítmica molásica, conglomerados con clastos de volcánicos.	
PALEOZOICA		PERMIANO	SUPERIOR	Grupo Mitu	1700		Intrusivos y brechas volcánicas.
	INFERIOR		Grupo Copacabana	150		Areniscas, calizas y lutitas de color bruno.	
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Grupo Tarma	1300		Lutitas y limolitas grises con intercalaciones de areniscas Monzogranitos, granitos.	
		INFERIOR	Grupo Ambo	900		Conglomerados, molasas rítmicas, areniscas feldespáticas.	
	DEVONIANO	SUPERIOR	Grupo Cabanillas				Secuencias tipo flysh con areniscas, lutitas y pizarras
		MEDIA					
	INFERIOR						Disc. ang.
	SILURIANO					Filitas con escasas intercalaciones de cuarzo, negro grisáceas, basaltos, metaloba y mármoles.	
ORDÓVICIANO		Metasedimentitas no diferenciadas	700				

Anexo 7: Planta dosificadora de concreto interior mina nivel 14

