



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Título de la Tesis**

“Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos  
en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya”.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO CIVIL

**AUTOR:**

CORNEJO MONAGO, JUAN MIGUEL (ORCID: 0000-0002-2034-771X)

**ASESOR:**

Mg. CLEMENTE CONDORI, LUIS JIMMY (ORCID: 0000-0002-0250-4363)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño sísmico estructural

LIMA - PERÚ

2020

### **Dedicatoria**

Agradecer a Dios por concederme la vida y guiar mi camino por un buen bien, iluminando mis pensamientos y darme aptitudes que estoy muy agradecido por ello.

El presente trabajo de investigación dedico a mis padres Cirilo Cornejo y Natividad Monago por su apoyo incondicional por sus consejos, sus valores que me inculcaron me han permitido ser cada día una buena persona y crecer como buen profesional.

## **Agradecimiento**

A la Universidad César Vallejo, por acogerme y otorgarme conocimientos sólidos, que me es necesarios tener para desenvolverme en mi profesión y poder realizar esta tesis.

Al Ingeniero Luis Clemente Condori por la orientación y la enseñanza en el curso para la elaboración de la presente tesis, así mismo a los Ingenieros José Luis Paucar y Julio Ramírez, amigo y colega de trabajo, por su orientación y apoyo constante, por sus acertadas sugerencias que direccionaron al éxito de este trabajo.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo CORNEJO MONAGO, Juan Miguel (tesista) Identificado con D.N.I. 43103702 Bachiller de la carrera de Ingeniería Civil autor de la tesis titulada:

"Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya."

### DECLARO QUE

El tema de la tesis es auténtico, siendo resultado de nuestro trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc. (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor.

En este sentido, somos conscientes de que el hecho de no respetar los derechos del autor y hacer plagio, son objeto de sanciones universitarias y/o legales.

Lima, 02 de Enero de 2021

  
CORNEJO MONAGO, Juan Miguel  
D.N.I. 43103702



## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	iii
AgradecimientoDedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Agradecimiento .....	iv
Índice de contenidos .....	vi
Índice de figuras .....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de anexos .....	xi
Resumen .....	xiii
Abstract .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	7
III. METODOLOGÍA .....	25
3.1. Método de investigación .....	25
3.2. Tipo de investigación .....	26
3.3. Nivel de investigación .....	26
3.4. Diseño de investigación .....	26
3.5. Variables y operacionalización .....	27
3.6. Población y muestra .....	30
3.7. Técnica e instrumentos de recolección de datos .....	32
3.8. Procedimientos .....	35
3.9. Método de análisis de datos .....	53
3.10. Aspecto ético .....	54
IV. RESULTADOS.....	55
V. DISCUSIÓN .....	95

VI. CONCLUSIONES .....	97
VII. RECOMENDACIONES .....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
ANEXO.....	106

## Índice de figuras

Figura 1. Labor con sostenimiento estructural.....	2
Figura 2. Víctimas mortales por accidentes.....	3
Figura 3. Sostenimiento estructural.....	4
Figura 4. Esquema de equipo shotcrete via seca.....	10
Figura 5. Esquema de equipo shotcrete via húmeda.....	13
Figura 6. Proyección de shotcrete mecanizado.....	19
Figura 7. Cemento tipo I.....	21
Figura 8. Cantera Arena Pachachaca.....	21
Figura 9. Aditivo MasterGlenium 3200.....	22
Figura 10. Bolsa de fibra de 20 kg.....	23
Figura 11. Fibra metálica.....	24
Figura 12. Diseño de Investigación.....	27
Figura 13. Fibra metálica.....	30
Figura 14. Población y muestra.....	31
Figura 15. Tipos de muestreo.....	32
Figura 16. Procedimientos.....	34
Figura 17. Toma de datos con brújula.....	36
Figura 18. Toma de datos en campo.....	38
Figura 19. Diagrama estereográfico discontinuidades.....	40
Figura 20. Diagrama planos principales de discontinuidades.....	40
Figura 21. Diagrama de contornos de discontinuidades.....	41
Figura 22. Zonificación geomecánica.....	44
Figura 23. Curva granulométrica.....	48
Figura 24. Número de Tamices.....	48
Figura 25. Secado de la arena.....	49
Figura 26. Balanza.....	50
Figura 27. Secado de la arena.....	50
Figura 28. Planta de concreto Betonmac.....	51
Figura 29. Secado de la arena.....	52
Figura 30. Testigos diamantinos de shotcrete.....	53
Figura 31. Frente cargado con famecorte.....	55
Figura 32. Curva granulométrica del agregado.....	58

Figura 33. Peso específico de la arena .....	59
Figura 34. Esquema de la preparación de planta.....	60
Figura 35. (Muestra-1) 40 kg/m <sup>3</sup> Fuerza vs. Deformación mm. ....	63
Figura 36. (Muestra-2) 40 kg/m <sup>3</sup> Fuerza vs. Deformación mm. ....	64
Figura 37. (Muestra-3) 40 kg/m <sup>3</sup> Fuerza vs. Deformación mm. ....	65
Figura 38. (Muestra-4) Malla, Fuerza vs. Deformación mm .....	66
Figura 39. (Muestra-5) Malla Fuerza vs. Deformación mm .....	67
Figura 40. Modelamiento de sostenimiento zona plástica .....	69
Figura 41. Modelamiento de sostenimiento esfuerzos .....	70
Figura 42. Estadísticas descriptivas de H1 Calidad de roca.....	71
Figura 43. Prueba de hipótesis H <sub>a1</sub> Calidad d roca.....	71
Figura 44. t de student para calidad de roca .....	72
Figura 45. Ensayo de 3 muestras a la flexotracción .....	73
Figura 46. Evolución de resistencia.....	75
Figura 47. Estadísticas descriptivas de H1 Resistencia flexotracción .....	76
Figura 48. Prueba de hipótesis H <sub>a1</sub> Resistencia a la flexotracción.....	77
Figura 49. t de student para resistencia a flexióntracción.....	77
Figura 50. Preparación de paneles .....	78
Figura 51. Paneles con malla de sostenimiento estructural .....	79
Figura 52. Ensayo a la absorción de energía .....	80
Figura 53. Paneles antes y después del ensayo .....	80
Figura 54. Ensayo granulométrico.....	85
Figura 55. Estadística descriptiva H <sub>1</sub> % malla 200 .....	86
Figura 56. Prueba de hipótesis H <sub>a1</sub> % malla 200 .....	87
Figura 57. t de student para % malla 200.....	87
Figura 58. Ensayos curva granulométrica .....	88
Figura 59. Prueba de slump en superficie .....	89
Figura 60. Prueba de slump 10 ½” en superficie.....	90
Figura 61. Prueba de slump en Mina.....	90
Figura 62. Prueba de slump 6” en mina.....	91
Figura 63. Estadística descriptiva H <sub>1</sub> control de slump.....	92
Figura 64. Prueba de hipótesis control del slump.....	93
Figura 65. t de student control de slump .....	93



## Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas del shotcrete vía seca .....	11
Tabla 2. Ventajas y desventajas del shotcrete via húmeda .....	12
Tabla 3. Matriz operacional de variables .....	29
Tabla 4. Mapeo Geomecánico.....	37
Tabla 5. Sistema de discontinuidades rumbo/dirección.....	39
Tabla 6. Criterio para la ordenación de la masa rocosa .....	42
Tabla 7. Sinopsis de la zonificación geomecánica .....	43
Tabla 8. Resultados de los ensayos de carga puntual .....	45
Tabla 9. Resultados de los ensayos de compresión uniaxial .....	45
Tabla 10. Resultados de los ensayos de compresión triaxial .....	46
Tabla 11. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción.....	46
Tabla 12. Resultados de los ensayos de propiedades físicas .....	46
Tabla 13. Resultado mapeo de celda RMR .....	56
Tabla 14. Análisis granulométrico.....	57
Tabla 15. Resultado peso específico y absorción.....	58
Tabla 16. Diseño de Shotcrete .....	59
Tabla 17. Control de medición del Slump .....	62
Tabla 18. Datos del ensayo muestra-1 .....	63
Tabla 19. Datos del ensayo muestra-2.....	64
Tabla 20. Datos del ensayo muestra-3.....	65
Tabla 21. Datos del ensayo muestra-4.....	66
Tabla 22. Datos del ensayo muestra-5.....	67
Tabla 23. Resumen de muestra d los ensayos.....	68
Tabla 24. Resumen ensayos de paneles .....	73
Tabla 25. Resultado a la compresión .....	74
Tabla 26. Resultado a la compresión .....	78
Tabla 27. Costo de los materiales 20kg/m <sup>3</sup> .....	81
Tabla 28. Costo de los materiales 40kg/m <sup>3</sup> .....	81
Tabla 29. Comparación de costos con ambos sostenimientos .....	83
Tabla 30. Resumen % malla pasante 200 .....	85
Tabla 31. Control de medición de slump .....	91

## Índice de anexos

Anexo 1. Matriz operacional de variables.....	107
Anexo 2. Matriz de consistencia.....	108
Anexo 3. Mapeo geomecánico en campo .....	109
Anexo 4. Recolección de datos en campo .....	110
Anexo 5. Obtención orientación de discontinuidades con brújula .....	111
Anexo 6. Tomando datos del macizo rocoso.....	112
Anexo 7. Mapeo geomecánico RMR SN_67_2W x AC_67_2E.....	113
Anexo 8. Mapeo geomecánico SN_653_3W x CA_01_653_3W.....	114
Anexo 9. Mapeo geomecánico RMR AC_79_4E x CA_01_653_3E.....	115
Anexo 10. Colocación de sostenimiento estructural.....	116
Anexo 11. Equipo robot y mixer de bajo perfil.....	117
Anexo 12. Prueba de slump en mina .....	118
Anexo 13. Medición del slump.....	118
Anexo 14. Ensayo granulométrico muestra 1.....	119
Anexo 15. Ensayo granulométrico muestra 2.....	120
Anexo 16. Ensayo granulométrico muestra 3.....	121
Anexo 17. Ensayo granulométrico muestra 4.....	122
Anexo 18. Ensayo granulométrico muestra 5.....	123
Anexo 19. Ensayo granulométrico muestra 6.....	124
Anexo 20. Ensayo granulométrico del agregado en laboratorio .....	125
Anexo 21. Muestras en tara de los agregados .....	126
Anexo 22. Toma de temperatura del concreto .....	126
Anexo 23. Extracción de muestra del mixer para prueba de slump.....	127
Anexo 24. Realización de la prueba de slump .....	127
Anexo 25. Prueba de slump a 10” en superficie.....	128
Anexo 26. Solicitud de ensayos para resistencia al flexo tracción PUCP.....	129

Anexo 27. 1er Ensayo al flexo tracción realizada en la PUCP .....	130
Anexo 28. 2do Ensayo al flexo tracción realizada en la PUCP.....	131
Anexo 29. Ensayo al flexo tracción evolución energía absorbida.....	132
Anexo 30. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 1 .....	133
Anexo 31. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 2 .....	134
Anexo 32. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 3 .....	135
Anexo 33. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 4 .....	136
Anexo 34. Plano geomecánico zonificación calidad de roca SN_75_4E .....	137
Anexo 35. Plano geomecánico zonificación calidad de roca SN_79_1E .....	138
Anexo 36. Validación de instrumento I .....	139
Anexo 37. Validación de instrumento II .....	140

## Resumen

El sostenimiento con shotcrete en la mina San Cristóbal es vía húmeda con equipos robot para realizar el bombeo del lanzado incluso con concreto reforzado con fibra y equipo mixer para su transporte del concreto desde la planta Betonmac hasta interior mina, con el uso de estos equipos y el personal con experiencia y capacitados para este trabajo, se desarrolló la presente tesis de investigación se dio por la problemática que se tiene en los accidentes en minas subterráneas que actualmente Volcan compañía Minera viene empleando un nuevo sostenimiento con  $40\text{kg/m}^3$  de fibra metálica ya que anteriormente se estaba utilizando el sostenimiento estructural (Shotcrete 2" + Perno + Malla + Shotcrete 1" sin fibra) donde dicho sostenimiento no optimiza en costos en una excavación minera, es la razón de que se realiza un nuevo sostenimiento para reemplazar al sostenimiento estructural por lo que se busca reemplazar con el sostenimiento con shotcrete 2"  $40\text{kg/m}^3$ , donde dicho sostenimiento se realizó los ensayos respectivos, tanto granulométricos con resistencia al concreto, así mismo se realizó el control de calidad al concreto para tener un concreto de calidad el cual es lanzado en una excavación minera, todos los datos obtenidos tanto en laboratorio como en campo, se realizó un modelamiento geotécnico para verificar y tener un dato próximo que si el sostenimiento esta trabajando tal como lo requerimos, de todo el estudio realizado se recomienda realizar un mapeo geomecánico para determinar la calidad de roca donde lo recomendado es que tiene que ser calidad de roca tipo IV – A, es importante realizar ensayos granulométricos para no afectar el diseño del concreto en cuanto a la relación agua cemento, como control de calidad es importante tener la consistencia del concreto para ser lanzado, ya que al momento de realizar el lanzado del concreto el slump debe ser mayor a 6", así mismo tener en cuenta que el proyecto debe tener una vida útil < a un año para recomendar este sostenimiento con  $40\text{ kg/m}^3$  El shotcrete es un tipo de sostenimiento pasivo, ya que requiere de un espacio de tiempo para adquirir su resistencia, es recomendable usar el método por vía húmeda para todo trabajo de soporte de rocas.

**Palabras clave:** Shotcrete, fibras, sostenimiento estructural, malla, resistencia.

## Abstract

The support with shotcrete in the San Cristóbal mine is wet with robot equipment to pump the shot even with fiber-reinforced concrete and mixer equipment to transport the concrete from the Betonmac plant to the interior of the mine, with the use of these equipment and The personnel with experience and trained for this work, the present research thesis was developed, it was due to the problem that arises in accidents in underground mines that currently Volcan Mining Company is using a new support with 40kg / m<sup>3</sup> of metallic fiber since Previously, structural support was being used (Shotcrete 2 " + Bolt + Mesh + Shotcrete 1" without fiber) where said support does not optimize costs in a mining excavation, it is the reason that a new support is carried out to replace structural support by what to be replaced with the support with shotcrete 2 " 40kg / m<sup>3</sup>, where said support was carried out the respective tests, both granulometric with resistance to concrete, likewise the quality control of the concrete was carried out to have a quality concrete which is thrown in a mining excavation, all the data obtained both in the laboratory and in the field, a Geotechnical modeling to verify and have a close data that if the support is working as we require, from all the study carried out it is recommended to carry out a geomechanical mapping to determine the quality of the rock where it is recommended that it has to be quality of rock type IV - A, it is important to carry out granulometric tests so as not to affect the design of the concrete in terms of the water-cement ratio, as a quality control it is important to have the consistency of the concrete to be thrown, since when the concrete is thrown the slump It must be greater than 6 ", likewise bear in mind that the project must have a useful life of <one year to recommend this maintenance. to 40 kg / m<sup>3</sup>

Shotcrete is a type of passive support, since it requires a period of time to acquire its resistance, it is advisable to use the wet method for all rock support work.

**Keywords:** Shotcrete, fibers, structural support, mesh, resistance.

## I. INTRODUCCIÓN

### **Realidad problemática**

La presente tesis muestra la aplicación de shotcrete vía húmeda para sostenimiento que se usan actualmente en las excavaciones de la minera San Cristóbal de la empresa Volcan Compañía Minera SAA.

Este sostenimiento para las excavaciones con shotcrete vía húmeda empleada en una excavación subterránea de “San Cristóbal” como método de ensayo, por lo que realizamos una nueva aplicación de shotcrete usando fibra metálica con una dosificación adecuada teniendo en cuenta la calidad de la roca y tomando una resistencia para un sostenimiento óptimo, este tipo de sostenimiento con fibras reforzadas y con una dosificación adecuada, es relativamente nuevo usado por “Volcan Cia Minera S.A.A” , dicho sostenimiento lo van empleando hasta la actualidad en las excavaciones de explotación desarrollo y preparación de la Minera San Cristóbal de la Unidad Yauli, su principal unidad de explotación y materia prima (minerales) son procesado en la Planta Marth Túnel.

“Se trata de un hormigón formado por una mezcla homogénea con alto contenido en cemento, agregados, fibras, aditivos y agua que es transportado de forma neumática y está proyectándose en la zona donde será impregnada el concreto como sostenimiento de una excavación. Puede o no tener fibras y sus propiedades resistentes depende de tanto de su naturaleza cementosa como la adicción de ciertos aditivos.” (Usubiaga, Pinillos, Ramírez, Martín, & Arroyo, 2014, pág. 9)

“El Shotcrete vía húmeda, tiene aprobado trabajos de construcción subterránea. Técnica, económica y desde el punto de vista de la seguridad, la aplicación del shotcrete vía húmeda es la mejor opción para muchas minas mexicanas, pudiendo incrementar su producción, al contrarrestar el tiempo de colocación del sostenimiento del terreno. Este sistema de aplicación no es nuevo, gracias a los avances de los aditivos” (Bracamonte, 2014, pág. 23).

“Una realidad de la industria construcción y en particular de la industria de la construcción subterránea es que no hay un proyecto que sea igual a otro. Cada uno

está acompañado por unos parámetros y circunstancias que generan complejidad superior al de otras industrias, obligando a contratistas y a abastecedores a trabajar con una mente sumamente flexible”. (Melbye, 2014, pág. 9).

### **Planteamiento del Problema**

El lanzado de concreto en la mina San Cristóbal es usado ahora como un soporte de una excavación y esta para soportar grandes cargas de la masa rocosa, esto hace que sea muy usado en las aperturas de las labores para diferentes propósitos ya sea viales, accesos, baypases, rampas y tajos de explotación.

Los proyectos de desarrollo tanto en cámaras, accesos, rampas y otros para la extracción de los minerales en la Mina San Cristóbal, cuentan con un sostenimiento de costo elevado ya que en ocasiones hay proyectos que son temporales que tienen una vida útil de 6 a 12 meses por lo tanto no es óptimo tener un sostenimiento con resistencias altas y con un costo elevado el cual afecta económicamente a la empresa, la propuesta es modificar el sostenimiento estructural tal como muestra en la figura N° 1 a sostenimiento con concreto de 40 kg/m<sup>3</sup>.



*Figura 1. Labor con sostenimiento estructural*

*Fuente. Elaboración propia*

### **Justificación e importancia del estudio.**

Se pretende investigar el mejoramiento del sostenimiento con un costo adecuado para las excavaciones de mina San Cristóbal ya que dificulta con el avance de la preparación y explotación de los minerales en las labores temporales.

Es importante realizar el sostenimiento con shotcrete en una excavación con el fin de reducir los accidentes por caída de rocas.

Se tiene que realizar un mejoramiento de sostenimiento que nos da la seguridad, en avance con la preparación y la explotación, así mismo tener una reducción de costos en cuanto a sostenimiento de una excavación.

Tener un ambiente de trabajo con menos polvo y libre de álcalis ya que cuando se realizaba un sostenimiento en vía seca, la contaminación del polvo es mayor, con el shotcrete vía húmeda la exposición al polvo es reducido, en cuanto al aditivo se está usando aditivo Master Rock 30 de BASF que este aditivo es de libres álcalis. La empresa Volcan Compañía Minera SAA, es beneficiado en cuanto al costo y al tiempo al realizar sus operaciones de preparación y explotación, así mismo da la seguridad al personal en cuanto a la contaminación al realizar el sostenimiento con shotcrete en las excavaciones subterráneas de la empresa Volcan Compañía Minera.



Figura 2. Víctimas mortales por accidentes

Fuente. (Osinermin, 2019)

### Justificación teórica

En esta investigación se busca implementar un nuevo tipo de sostenimiento para una excavación minera donde es necesario ya que con el sistema anterior se tiene



deficiencia en cuanto al avance para desarrollar la preparación y extracción de lo minerales, por ello esta investigación se proyecta a obtener información en cuanto a la calidad de roca para determinar el tipo de sostenimiento adecuado que es capaz de interactuar como sostenimiento, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas reforzado con fibras metálicas, así mismo se realizan ensayos pudiendo así servir como base de nuevos estudios y ser empleadas en una excavación minera para el beneficios de la empresa, por otro lado el lanzado de concreto vía húmeda ayuda a reducir la polución en el medio ambiente en donde es aplicado.

### **Justificación práctica**

En esta investigación lo que se pretende es realizar un nuevo diseño de concreto reforzado con fibras metálicas reemplazando al sostenimiento estructural tal como muestra en la Figura 3 (shotcrete 2" + Malla + Perno E=1.20 x 1.20 m. + shotcrete /Malla 1" sin fibra) y mejorando sus propiedades mecánicas en cuanto a la resistencia a la flexión con el fin de sostener una excavación temporal, así mismo realizando un lanzado de shotcrete en vía húmeda estamos reduciendo la polución que se presenta al momento de realizar un lanzado de concreto.



*Figura 3. Sostenimiento estructural*

*Fuente. Elaboración propia*

### **Justificación metodológica**

En esta investigación está desarrollada con la aplicación de la metodología experimental, por lo cual para su desarrollo se realizará la elaboración de paneles

donde el concreto con fibras metálicas reforzadas son lanzados con equipos robotizados de la mina, donde estos paneles serán ensayados con equipos de laboratorio y se medirán la variable de interés pudiendo comprobar las hipótesis.

### **Formulación del problema**

¿Cómo el concreto lanzado optimizaría el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea?

### **Problemas específicos**

- ¿Con una dosificación con fibras de acero aumentaría la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado?
- ¿Con una granulometría media elevaría la adherencia entre partículas aplicando el concreto lanzado?
- ¿Con un buen control de calidad se optimizaría la colocación superficial aplicando el concreto lanzado?

### **Objetivo**

Optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea por medio del concreto lanzado.

### **Objetivos específicos**

- Aumentar la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado por medio de la dosificación con fibras de acero.
- Elevar la adherencia entre partículas aplicando el lanzado del concreto por medio de una granulometría media.
- Optimizar la colocación superficial aplicando el concreto lanzado mediante un buen control de calidad.

### **Hipótesis**

El concreto lanzado optimizará el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea.

### **Hipótesis específicas**

- Una dosificación con fibras de acero aumentará la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado.
- Una granulometría media elevará la adherencia entre partículas aplicando el concreto lanzado.
- Un buen control de calidad optimizará la colocación superficial aplicando el concreto lanzado.

## II. MARCO TEÓRICO

### Antecedentes Nacionales

(Tapia, 2017, pág. 3) en su tesis de pregrado titulado: “Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – Inpecon sociedad anónima cerrada – Mina Chipmo Compañía Minera Buenaventura Unidad Orcopampa”, llegaron a las siguientes conclusiones:

“La tesis tiene como objetivo analizar y diseñar la aplicación correcta del concreto (hormigón proyectado) vía húmeda como el sostenimiento en las labores subterráneas en la “Compañía Minera Buenaventura” – unidad productiva Orcopampa. La finalidad es optimizar la calidad del sostenimiento y realizar la evaluación de precios unitarios de lanzamiento de shotcrete vía húmeda”. (Tapia, 2017, pág. 3), el método de utilizado en este proyecto fue el método empírico.

(Guzman, 2008, pág. 31) en su tesis de pre grado titulado “Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la mina cobriza”.

En su objetivo general planteo “Determinar el uso del shotcrete con fibras como un método seguro”, se llegó a la conclusión lo siguiente: “Se concluye para ambas fibras se usaron las mismas propiedades (la dosificación, el slump) y se ensayaron las muestras el mismo día, teniendo en cuenta sobre las condiciones climáticas son lo mismo; cumpliendo así con las condiciones de ensayo, de la muestra<sup>1</sup> en los ensayos a compresión podemos concluir que el shotcrete con fibra NOVOCON inicialmente tiene una resistencia menor, pero su adherencia mejora como se observa en los ensayos de las edades 7, 14 y 28 días, concluyendo que mejora su resistencia y supera a la fibra de ENDURO en un 7%, de la muestra<sup>2</sup> y muestra<sup>3</sup> los ensayos realizados a todas esas muestras con fibra NOVOCON inicialmente tiene una resistencia menor, pero su adherencia mejora tal como se observa en los ensayos de 7 y 14 días, como en el caso anteriormente visto se concluyendo que mejora su resistencia pero no logra superar a la fibra ENDURO teniendo pequeña desventaja a los 28 días”. (Guzman, 2008, pág. 111), el método utilizado para este proyecto fue el método empírico.

(Cabera Plasencia & Leonardo Garay, 2015, pág. 4) en su tesis de pregrado titulado “Gestión de calidad en el proceso de lanzado de shotcrete en túneles en su objetivo general planteo. Elaborar una propuesta de gestión de calidad para optimizar el proceso de Lanzado de shotcrete en túneles, usando la guía del PMBoK y se use para futuros proyectos y llegando a la conclusión que en el proceso de lanzado en excavación de túneles es muy importante seguir los lineamientos del PMBoK, en la investigación se identificaron los procesos constructivos para el Lanzado del concreto en vía húmeda en el soporte del túnel excavado que se tomó como caso de estudio, evaluando las distintas fases de trabajo, hallándose mediante un análisis de causa raíz distintas falencias en el ciclo de trabajo, conllevando a horas improductivas en los cronogramas y elevando los costos, el costo de shotcrete instalado en una excavación en un túnel más el costo de las reparaciones que se hicieron por una mala instalación, del caso de estudio fueron contractualmente 475,114,69 US\$ y el monto real ejecutado fue de 1'018,520.89 US\$, donde se puede apreciar un incremento de 214.4%, estos incrementos en los costos se debieron a una mala instalación del shotcrete, incumplimiento de procedimientos de trabajo en la excavación del túnel, se tuvo un exceso cantidad de shotcrete, lo que se concluye que mediante la aplicación de la guía del PMBoK, y usando sus procesos de planificación y control de calidad se puede disminuir este excesivo costo, ya que conllevaría a un proceso de lanzado de shotcrete más óptimo. Las fallas de los procedimientos en el Lanzado de shotcrete, las constantes caídas mecánicas en los equipos Robot Alpha 20 y una mala información hacia el personal, provocaron que las fechas de finalización de la construcción del túnel se extendieran en 232 días, por lo que se concluye que usando la planificación y el aseguramiento de la gestión de la calidad de la guía del PMBoK, se puede obtener un control más óptimo de los avances en los túneles, en el área de conocimiento de gestión de calidad se encontraron deficiencias, que provocaron los retrasos en tiempo y costos:

- Check list, pre y durante el vaciado de shotcrete.
- Falta de conocimiento de los procedimientos por los trabajadores
- Revisiones de los equipos para la operación de lanzado de shotcrete.

Mediante el correcto aseguramiento en el procesos de lanzado de shotcrete bajo la guía del PMKBoK, se logrará obtener resultados al momento de la instalación del shotcrete, esto se debe a que el personal a cargo en los túneles contaría con los

planes de calidad y procedimientos, adicionalmente se contaría con auditorias periódicas para asegurar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y poder hacer un seguimiento a las no conformidades que se presenten en las etapas del lanzamiento de shotcrete, y con esto realizar un análisis de mejora continua, el método utilizado para este proyecto fue analítico.

### **Antecedentes Internacionales**

(García, 2014, pág. 11) “La palabra hormigón proyectado se ha adoptado en Chile para la descripción del *shotcrete* de acuerdo con la definición del *American Concrete Institute (ACI)*, organización que lo define como un hormigón colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla (*ACI Concrete Terminology*).

(Bernard, 2015, pág. 2) “La Sociedad Australiana de shotcrete fue formada en 1998 como un grupo industrial sin fines de lucro comprometido a mejorar el reconocimiento del valor y usos del hormigón proyectado en la minería australiana y industrias de la construcción. Sus objetivos son promover el uso de hormigón proyectado en su caso, promover buenas prácticas de hormigón proyectado y para educar a los especificadores y posibles diseñadores de estructuras de hormigón proyectado sobre la mejor forma de utilizar este material. Estos objetivos se han realizado a través de seminarios y conferencias que se llevan a cabo de vez en cuando, y mediante la publicación de esta guía.

El Concrete Institute of Australia fue seleccionado como socio en la publicación de esta guía porque es la institución más adecuada para la promoción del bien práctica y tecnologías concretas en Australia.

### **Applications**

“shotcrete can be used instead of conventional concrete in many instances, the choice being based on convenience and cost”, (Marc Jolin & Ragland S., 2016, pág. 4)

## Base Teórica

### Shotcrete Vía Seca.

En el lanzado del concreto por vía seca los insumos se mezclan en seco, y el concreto se transporta por mangueras mediante aire comprimido; el agua es incrementada por la boquilla, el aditivo de la misma forma es añadido al momento de proyectarse, mediante una válvula de control. Su ventaja para este tipo de lanzado shotcrete vía seca es en el bajo costo y su transporte es con el apoyo de otro equipo ya que son pequeñas maquinas tal como muestra en la figura 2

En este método vía seca, primeramente, en seco se mezcla a pulso con pala agregado (arena) y cemento, después se hecha al equipo en seco para que pueda ser proyectado por una manguera de 2" (pulgadas), en la boquilla se realiza la premezclada agua con aditivo, su desventaja es que el personal se exponer a muchos riesgos, por lo que no es recomendado por el tema de seguridad, tal como muestra en la Figura 4.

Así mismo se tiene las ventajas y desventajas del shotcrete proyectado vía seca, de acuerdo a la Tabla 1.

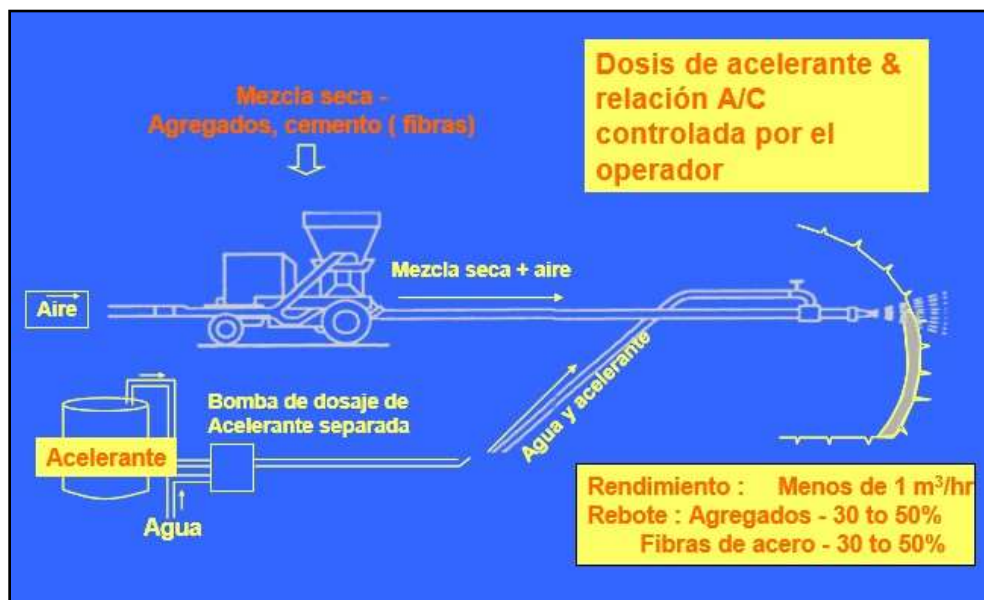


Figura 4. Esquema de equipo shotcrete via seca

Fuente. (Guzman, 2008, pág. 39)

Tabla 1. *Ventajas y desventajas del shotcrete vía seca*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
< razón H2O / cemento	> cantidad de rechazo
> resistencia y compacidad	El personal se expone a muchos riesgos asociados al momento de realizar el lanzado con shotcrete.
Los materiales se trasladan, distancias largas para su elaboración en la obra a ejecutar.	No tiene límite de tiempo el personal en el frente de lanzado.
Una vez trasladado los materiales y preparación es instantáneo	Acelerantes aditivos no tienen un control exacto ya que esta es controlada con una válvula al momento de ser proyectado
Fácil de traslado de los materiales.	El agua y el aditivo acelerantes es controlado por el operador del equipo
Exceso rebote y poca producción (rango de 25% a 40% de rebote, y de 2 m3/hora a 5 m3/hora su rendimiento de colocación es bajo)	No tiene una resistencia uniforme es variable en un rango de (250 kg/cm2 en promedio, con de hasta de 50 kg/cm2)
Equipos chicos manipulados manualmente	La polución generada por el equipo es alta
Efectivos para la aplicación de menor volumen	Cemento en exceso

Fuente. *Elaboración propia*

### **Shotcrete vía húmeda.**

A inicio de los años 80 se tiene una evolución bastante alto al ver que el método por vía húmeda en el país Escandinavia, aquí consiguió evolución total del mercado shotcrete donde el 100% de vía seca pasa a ser vía húmeda, por lo tanto, la ejecución de ser manual y pasar a trackles (uso de equipos).

Este cambio, cambió total se dio en Noruega desde los años 1978 -1980 aproximadamente, así mismo estaban mejorando en el tema de polvo sílice ya que al ser vía húmeda esta contaminación se redujo al momento de realizar el trabajo proyectado con shotcrete vía húmeda, ahora en la actualidad el shotcrete vía humedad proyectado por equipos robotizados, alcanzan buenas resistencia ya que se puede agregar fibras metálicas para elevar su resistencia, se tiene un ahorro porque con los equipos se tiene menos rebote de shotcrete al momento de realizar el lanzado, la rapidez con lo que se realiza el lanzado.



Se tiene desventajas aplicando la técnica de proyección por vía húmeda, de acuerdo a la Tabla 2 donde el concreto premezclado tiene que llevar el mixer y está a lugar alejadas ya el concreto adquiere su rehidratación, por ello cabemos mencionar que el equipo cargado su concreto premezclado no tiene que esperar mucho tiempo.

Se tiene concepto de shotcrete (concreto lanzado), como antes mencionado el concreto es transportado es través de equipo mixer y/o tornado, su lanzado es con Alpha 2.0 (robot lanzador), tal como muestra en la Figura 5.

Tabla 2. *Ventajas y desventajas del shotcrete via húmeda*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La preparación del concreto es en planta Betonmac aquí el agua y el resto de los materiales son controlados.	Traslado del concreto con tiempo limitado.
Se utiliza reductores de agua y super plastificantes esta dosificación es controlada por la planta.	Mayores demandas en la calidad del agregado.
Se tiene una mezcla bien preparada con dosificaciones exactas de acuerdo al diseño elaborado y requeridos por la compañía.	Sólo se permiten interrupciones limitadas.
Es posible añadir componentes que incrementara su resistencia a la tracción con fibras metálicas.	Costos de limpieza.
Reduce la polución al momento de ser lanzado en la excavación	
Su desperdicio por rebote es de mínima cantidad llegando a un 5% sin dañar la resistencia.	
Buena adherencia a la superficie de la roca.	

Fuente. *Elaboración propia*

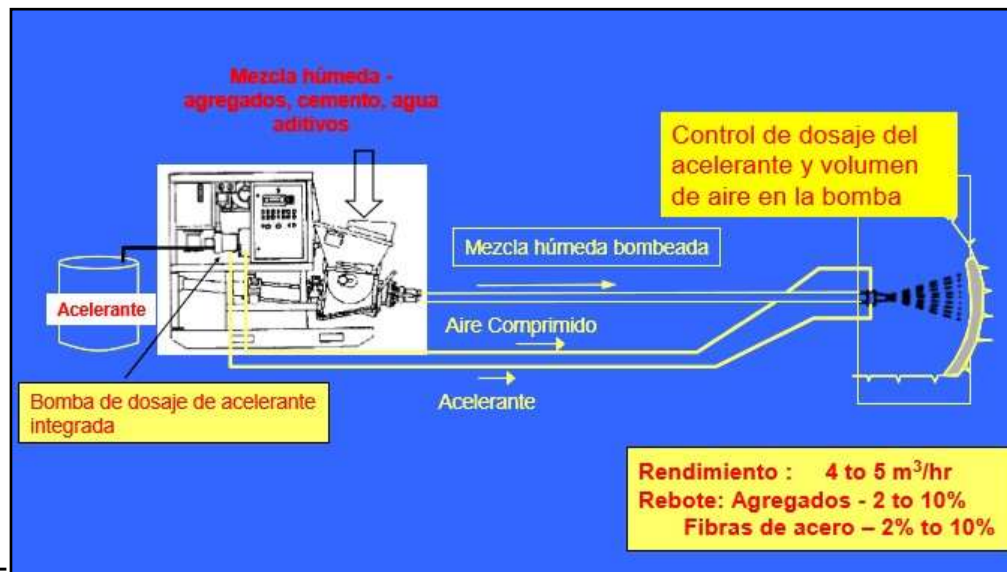


Figura 5. Esquema de equipo shotcrete via húmeda

Fuente. (Guzman, 2008, pág. 42)

## Reinforcement fibres

“A major advance in shotcrete technology has been the use of reinforcement fibres. In larger quantities the fibre reinforcement can replace steel mesh reinforcement”, (Bernardo, Guida, & Mecca , 2015, pág. 7)

## Propiedades del shotcrete

- **Aspecto.** Su acabado de un shotcrete lanzado es de superficie rugosa (aspero), esta aspereza depende sobre todo del tamaño de la arena o agregado, se considera la maniobra del operador.
- **Adherencia.** “La adherencia es donde se impregna en la roca para ser sostenida, siempre es bueno limpiar o echar agua al lugar a proyectar el shotcrete”. (Beresovsky de las Casas, 2015, pág. 4)
- **Porosidad.** “En el concreto proyectado va contener una cantidad de áridos finos y más cantidad de cemento que el hormigón tradicional; por lo que, la porosidad es menor. La porosidad es creada por el aire encerrado durante el proceso de la operación. (Solis Carcaño & Moreno, 2006, pág. 3)
- **Densidad.** “La Densidad, de un material se define, como la masa por unidad de volumen de un material, en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)”.

- **Resistencia a la compresión.** “Su resistencia a compresión alcanza a los 300 kg/cm<sup>2</sup> o superior al término de los 28 días. Pero, una cualidad del shotcrete proyectado es la adquisición de resistencias con el tiempo a raíz de su elevado contenido de cemento, 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 12 meses y 500 kg/cm<sup>2</sup> a los 4 años. En ocasiones se tiene como dato reportado hasta 700 kg/cm<sup>2</sup>. Así mismo al usar aditivos acelerantes de fragua se consigue altos valores de resistencia inicial a temprana edad, (El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones, 2006, pág. 4)
- **Resistencia a tracción.** “La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de ésta. (Harmsen, 2002, pág. 24)
- **Permeabilidad.** “Para obtener la permeabilidad se realiza la preparación de la mezcla, se obtiene usando áridos con gran cantidad significativa de huecos entre las partículas y con ausencia de los finos. La influencia de la permeabilidad del shotcrete poroso en el volumen de poros permeables, porcentaje de absorción total, densidad, y propiedades mecánicas resistencia a la compresión y flexo tracción 28 días. En este análisis del shotcrete preparado se encontró una dosificación de concreto poroso, esto permite adquirir resistencias altas, así teniendo una excelente permeabilidad del shotcrete poroso. Por lo tanto se obtuvo una permeabilidad de 2,342 mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una dosificación de 400 kg/m<sup>3</sup>, permitiendo resistencias a flexo tracción y a compresión a 28 días, a inicios da una resistencia inicial de 3 MPa y al final de los 28 días se tiene 33 MPa utilizando diferentes razones agua/cemento, (M. Velez, 2011, pág. 12)

### **Definición de términos**

- **Shotcrete** “El shotcrete es un concreto diseñado para el soporte de una excavación en un túnel o en una mina , el concreto contiene arena, cemento, agua, fibra, aditivos superplastificantes y acelerantes de fragua, todos estos componentes realizan una mezcla con una dosificación de diseño, una vez

realizada toda esa mezcla se convierte en concreto o mortero y esto será bombeado con un equipo robot Alpha 2.0 utilizando aire a presión para que el concreto salga a una velocidad alta por la boquilla y este concreto se adhiera a la superficie de la roca”. (Camarena Cosme, 2016, pág. 40).

- **Fibra metálica** “Las fibras metálicas son elementos de tipo grapas discontinuas con dimensiones pequeñas de 2” pulgadas, de un tipo de acero con propiedades particulares”. (Camarena Cosme, 2016, pág. 25).
- **Fibra sintética** “Material que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliester etc”, (Concreto, 2019, pág. 15)
- **Aditivo Superplastificante** Son aditivos reductores permite disminuir la cantidad de agua sin modificar su consistencia de un determinado hormigón ya que por natural tiene la humedad, esto incrementa el slump, (Aditivos superplastificantes y reductores de agua, 2014, pág. 9)
- **Calibradores** Un medidor de espesores, es un elemento de plástico y/o madera, este elemento sirve para uniformizar el espesor al momento de realizar el lanzamiento del shotcrete, es efectiva cuando el calibrador sea instalado a 1 m<sup>2</sup>, cada calibrador tiene diferentes medidas 2” pulgadas, 3” pulgadas y hasta 4” pulgadas de medida,
- **Slump** La prueba de asentamiento del concreto mide la consistencia del concreto fresco antes de fraguar. Se realiza para verificar la viabilidad del concreto recién hecho y, por lo tanto, la facilidad con que fluye el concreto. También se puede utilizar como un indicador de un lote mezclado incorrectamente, (Speicher Fernandez, 2007, pág. 10)
- **Resistencia del concreto.** La resistencia a la compresión es aquella muestra que se somete a una fuerza ya sea uniaxial o triaxial que requiere un determinado tipo de concreto la podemos determinar de la siguiente forma ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) así como el ejemplo se determina la resistencia el cual debe alcanzar a los 28 días de su preparación, (Matienzo Maguiña, 2018, pág. 35)

- **Adherencia.** Es aquel que se impregna el shotcrete proyectado neumáticamente a través de una boquilla a la superficie de la roca no teniendo impurezas de polvo
- **Acelerante** Aditivo que está diseñado para para la aceleración de fragua en el concreto y alcanzar altas resistencias a temprana edad, (Chema Túnel CA, 2020, pág. 1)
- **Boquilla o Pitón** Lugar por donde sale el shotcrete que es proyectado neumáticamente.
- **Arena** Hormigón que contiene material fino, material grueso y su propia humedad es muy importante para el preparado del shotcrete.
- **Capa** Incremento de espesor con varias pasadas de shotcrete lanzada.
- **Rebote** Desperdicio del shotcrete al momento de realizar el lanzado sobre la superficie de la roca y esta cae lejos de ésta, durante el proceso de sostenimiento con shotcrete, acumulándose en el suelo.

### **Marco legal**

Las normas utilizadas en el proceso tienen como propósito establecer los requisitos técnicos que debe cumplir todo diseño de concreto y que se utilizan en las diferentes labores de la mina, a continuación, detallamos las normas que se cumplen.

### **Norma Nacionales**

“NTP 339.047: 1979 hormigón (concreto). Definiciones y terminología relativas al hormigón

NTP 350.001: 1970 Tamices de ensayo,

“NTP 400.010: 2000 agregados. Extracción y preparación de las muestras”, (Norma técnica peruana 400.10, Extracción y preparación de las muestras, 2000).

“NTP 400.011: 1976 agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos”, (Norma técnica peruana 400.011, Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos, 1976).

“NTP 400.037: 2000 agregados. Requisitos”, (Norma Técnica Peruana 400.037. Agregados para concreto, 2018).

### **Normas Internacionales**

AETOS “Asociación española de obras subterráneas y tunelería”, (Usubiaga, Pinillos, Ramírez, Martín, & Arroyo, 2014).

ITA-AITES Asociación internacional de túneles y espacios subterráneos.

EN 14487-1 Requisitos para el hormigón proyectado.

EN 14488-1 Norma para muestras de concreto fresco y endurecido.

ACI 506 Especificación para concreto proyectado.

ACI 214 Evaluación de resultados en prueba de resistencia.

ASTM D-75 Muestreo para materiales de construcción.

ASTM C-136 “Análisis granulométrico de agregados”, (American Society of Testing Materials C136-06. Método de ensayo análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y gruesos, 2006).

ASTM C-566 “Norma de contenido de humedad de agregados”, (American Society of Testing Materials C-566 Método de ensayo para el contenido de humedad total del agregado, 1997).

ASTM C-117 Porcentaje de fino que pasa por el tamiz N° 200.

ASTM C-143 Asentamiento del concreto fresco (slump).

ASTM C-39 Resistencia a la compresión simple de testigos cilíndricos.

ASTM C-33 “Especificación estándar de agregados para concreto”, (American Society of Testing Materials C33. Especificaciones estándar para concretos agregados,, 2001).

ASTM C-1436 Especificación normalizada para los materiales utilizados en shotcrete.

ASTM C-1604 Método de prueba estándar para la obtención y pruebas Perforados Núcleos de hormigón proyectado.

ASTM C-29 “Peso unitario de los agregados”, (American Society of Testing Materials C29. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente (“peso unitario”) e índice de huecos en los agregados para concreto, 2001)

ASTM C-128 “Peso específico de los agregados”, (American Society of Testing Materials C128 Método de ensayo normalizado para determinar densidad, densidad relativa (peso específico) y la absorción de los áridos finos, 2001)

ASTM C-94 “Requisitos de calidad que tiene que cumplir un concreto”, (American Society of Testing Materials C94, requisitos de calidad que cumple el concreto., 2003)

ASTM C-150 Especificación normalizada para cemento portland.

ASTM C-494 Especificación normalizada de aditivos químicos para concreto.

ASTM C-1141 Especificación estándar de insumos para concreto lanzado.

ASTM C-1436 Especificación estándar de materiales para concreto lanzado.

ASTM A-820 Especificación estándar para fibras de acero en concreto reforzado.

ASTM C-1116 Especificación estándar para fibra.

ASTM C-138 Método normalizado de densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.

ASTM C-1064 Medición de temperatura del concreto fresco.

ASTM C-1140 “Practica estándar para la preparación y ensayo de especímenes de paneles de concreto lanzado.

ASTM C-1385 Practica estándar para el material de muestreo para concreto lanzado

ASTM D-4643 Determinación del contenido de humedad del agregado en horno microondas.

## **Tecnología de los materiales o de la construcción**

### **Método de proyección por vía húmeda**

Aquí en la unidad minera San Cristóbal de Volcan Compañía Minera se está usando el método húmedo, para realizar el shotcrete proyectado tal como muestra en la Figura 6 en sus excavaciones realizadas como un sostenimiento con diseño de concreto nuevo, el cual este concreto premezclado es preparado en la planta Betonmac, por lo que es una planta moderna computarizado donde la relación de agua y cemento es exacto y todo los insumos que se utiliza para la elaboración del shotcrete tanto como aditivos superplastificantes, por lo que este shotcrete elaborado para sostenimiento es de calidad, así mismo su consistencia puede ser variable ya que la planta te es posible preparar diferentes tipos de diseño de acuerdo a lo que se requiere.



*Figura 6. Proyección de shotcrete mecanizado*

*Fuente. Elaboración propia*

Con este método de vía húmeda y la planta computarizada es más fácil producir un concreto sofisticado y de buena calidad, de esta planta Betonmac la mezcla es cargada a un mixer de una capacidad de 4m<sup>3</sup> son equipos de bajo perfil para su transportado del concreto en interior mina, llegando al lugar donde será proyectado el shotcrete ahí se encuentra un equipo robotizado el cual se encarga de realizar el lanzado del shotcrete con una presión de aire que es de 3.5 bares, este equipo hace la combinación con el acelerante de fragua en la boquilla de la tubera, por lo que sirve para el endurecimiento del concreto a edades tempranas, cabe indicar que se tiene que tener una buena presión de aire lo optimo es de 5 bares y como mínimo es de 3.5 bares, si en caso se cuenta con poca presión de aire < a lo mencionado, no se tendrá una buena adherencia entre el shotcrete y la superficie de la roca, así mismo se tendrá mucho rebote que se considera como desperdicio producto del deficiente proyectado del concreto, por lo que no se cubrirá el espesor de shotcrete recomendado por el Ingeniero Geomecánico o Geotécnico.

### **Insumos utilizados para el shotcrete.**

Los insumos para shotcrete son:



- **Agua**

El agua es importante para la elaboración del shotcrete, sin agua no es posible preparar un concreto, por lo que el agua es muy importante para activar la reacción química del cemento, esto hace adquirir su hidratación para que se produce el fraguado y/o endurecimiento del concreto, así mismo el agua tiene la función de hacer el curado del concreto, el agua que usa la planta Betonmac tiene un pH de 7 y es proveniente de la laguna marcopomacocha, dicha agua se sometió a un análisis el cual cumple con lo que se requiere.

Por lo tanto, no es posible usar aguas contaminadas para su preparación del concreto esto puede producir un efecto indeseado por lo que podemos tener shotcrete fracturado y esto no es bueno para realizar un sostenimiento en una excavación minera.

- **Cemento**

La cantidad de cemento mínimo para dosificación debe ser de 350 kg/m<sup>3</sup> y su cantidad y calidad dependerá de la exposición del ambiente, así como de las características del diseño del shotcrete, donde el contenido máximo de cemento se limita usualmente a 500 kg/m<sup>3</sup>. En planta San Cristóbal, nuestro diseño de mezcla es con 400 kg/m<sup>3</sup>. Para  $f'c$  300 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días.

El tipo de cemento es de tipo I o el de tipo V, (ver Figura 7); donde el cemento tipo I, es recomendable para edificaciones y estructuras en general especialmente para obras que se en terrenos con contenido < 150 ppm de sulfato soluble en agua. Este cemento genera calor de hidratación. Es por eso que en las minas donde se requiere mayor volumen de explotación y resistencia al menor tiempo posible. Mayormente se usa este tipo de cemento. Y el cemento tipo V, normalmente su uso es recomendable para sulfatos de agua solubles, en la mina subterránea existe aguas acidas con sulfato por ello es recomendable el cemento tipo V.

El volumen del cemento se puede definir de acuerdo con los rangos orientativos, en función de la resistencia requerida en el diseño:

Resistencia requerida mayor a 25 MPa 350-400 kg/m<sup>3</sup>.

Resistencia requerida mayor a 30 MPa 390-450 kg/m<sup>3</sup>.

Resistencia requerida mayor a 35 MPa 425-475 kg/m<sup>3</sup>.



*Figura 7. Cemento tipo I*

*Fuente. www.unacem.com.pe*

- **Agregados.**

Por lo general se recomienda agregados que estén dentro del uso granulométrico N°2 recomendado por la norma americana ASTM C- 136 y ASTM C-1436. En planta San Cristóbal trabajamos con el agregado suministrado por la cantera Pachachaca, que es de la comunidad, (ver figura 8).

El contenido en finos de la arena (0-6mm). La arena proveniente de la cantera de pachachaca no debe tener insuficiente de finos ya que esto generaría segregación en el concreto, si tuviera demasiados finos esto aumentaría la demanda de agua, por lo tanto esto nos retrasaría el secado y/o fraguado.

El contenido en gruesos del agregado (6-12 mm), el agregado grueso es importante para la mejora de su resistencia y densidad del concreto proyectado. Los agregados redondeados favorecen la bombeabilidad para el equipo robot. Como también un agregado grueso en exceso no es bueno ya que se incrementará la cantidad de rebote al momento de ser proyectado en las paredes de la excavación.



*Figura 8. Cantera Arena Pachachaca*

*Fuente. Propio*

- **Aditivos.**

Los aditivos en la Mina San Cristóbal estamos usando el superplastificantes que es de la empresa basf (ver Figura 9), este superplastificante es el reductor de agua, por lo tanto no se debe exceder se tiene que tomar en cuenta la dosificación del fabricante. La empresa Basf, nos suministran los aditivos plastificantes y acelerantes libres de Álcalis.

Actualmente para la preparación del shotcrete, estamos utilizando dos tipos de aditivos, en la planta Betonmac al momento de preparar el concreto se usa el super plastificante como reductor de agua, y al momento de realizar la proyección del concreto en la excavación se utiliza el acelerante para la fragua rápida del shotcrete y así acelerar el proceso en la mina.



*Figura 9. Aditivo MasterGlenium 3200*

*Fuente. Elaboración propia*

- **Fibras.**

La cantidad de fibras (ver figura 10), que se debe usar por  $m^3$  va relacionado de acuerdo al requerimiento de la absorción de energía, para ello se debe tener en cuenta la presión litostática de la roca, esto es el peso de una columna situada sobre un punto, lo que quiere decir que esta presión es igual a la presión hidrostática, en la profundidad de la mina las rocas tienen fracturas, fallas, poros y

suelen estar llenos de fluidos. A esa presión se le llama presión de fluidos, en las operaciones de San Cristóbal se encuentra a más de 1200 m del nivel cero y de acuerdo a los cálculos realizados se tienen valores de esfuerzo del orden de 35 – 45 Mpa, donde la absorción de energía mínima requerida es de 800 Joules y una máxima de 1,500 Joules.



Figura 10. Bolsa de fibra de 20 kg.

Fuente. Propio

En la mina San Cristóbal existe excavaciones con baja calidad de macizo rocoso y estas se encuentran en la zona de profundización en las vetas 658, Split 658 y veta 722, por lo que se requiere una dosificación para cumplir las especificaciones de absorción de energía, flexo tracción resistencia a la compresión simple en función al diseño, actualmente para las excavaciones de baja calidad de macizo rocoso en la mina San Cristóbal estamos con una dosificación de 30kg/m<sup>3</sup> de fibra metálica, además esto es óptimo para realizar la bombeabilidad ya que se tiene una presión de aire de 3.5 Bares.

Las características de una fibra no debe ser mas de 0,8 veces el diámetro de las conducciones ni de 0,5 veces el diámetro de la boquilla del equipo de proyección, (ver figura 11), como también debemos de tener en cuenta su dosificación para la consistencia prevista, esto se realiza con el objetivo de conseguir homogeneidad dispersa en todo el concreto, en nuestro diseño la fibra es considerado como un árido más del shotcrete, las fibras es agregado a la cuba del mixer después que

planta abasteció el concreto en la cuba del mixer, la mezcla se realiza en el mixer en el trayecto con la cuba girando.



*Figura 11. Fibra metálica*  
*Fuente. Elaboración propia*

### **III.METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

“El método de investigación hipotético deductivo empieza de lo general para llegar a una conclusión particular, que sería la hipótesis a falsar para contrastar su verdad, en caso de que lo fuera no solo permitiría el incremento de la teoría de la que partió (generando así un avance cíclico en el conocimiento), sino también el planteamiento de soluciones a problemas tanto de corte teórico o práctico (llamado también pragmático, aplicativo o tecnológico). Su camino deductivo es uno común a todas las ciencias fácticas basadas en realidades y con sustento ineludible en la medición o cuantificación, en la objetividad de los procedimientos (dejando de lado las convicciones subjetivas, o creencias del investigador) y en la experiencia para la contrastación de sus hipótesis, que tendrían como finalidad primera y última, tanto la ampliación del conocimiento a través de la pretensión de universalidad de los resultados encontrados, (Sánchez Flores, 2018, pág. 108).

La investigación realizada es de modelo hipotético deductivo lo cual consiste en la creación de hipótesis que son dos, una universal (leyes y teorías científicas) y otra empírica (que sería el hecho observable que genera el problema y motiva la indagación).

“La investigación científica es una actividad que se realiza en un lugar y está conformada por un conjunto de acciones secuenciadas; se emplea con la finalidad de encontrar respuesta a un problema científico, (Rodríguez Arainga, 2011, pág. 29).

El objetivo de nuestra investigación es optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea por medio del concreto lanzado, está utilizando reforzamiento de fibras de acero para aumentar la absorción de energía y tenacidad y como resultado obteniendo un sostenimiento adecuado para una calidad de roca de tipo IV-A.

### **3.2. Tipo de investigación**

“Estos son los elementos necesarios. En ocasiones, y particularmente cuando se trata de proyectos de investigación aplicada, se recomienda incluir una justificación desde el punto de vista de la rentabilidad social y económica. Además, no sólo precisar los objetivos de la investigación, sino el tipo de resultados que se espera obtener y cómo serán utilizados, (Tamayo y Tamayo, 1999, pág. 32).

La investigación es de *tipo aplicada* ya que no se utilizó teoría, si no que esta aplicado en dar respuesta o solución a los problemas que se presentan en la investigación del sostenimiento en una excavación minera con el concreto lanzado y esta con fibras de acero reforzado para aumentar la cantidad de absorción de energía y así evitar la caída de roca en una excavación subterránea.

### **3.3. Nivel de investigación**

“Los estudios correlacionales tiende a medir el grado de relación y la manera como interactúan dos o más variables entre sí. Estas relaciones se establecen dentro de un mismo contexto, y a partir de los mismos sujetos en la mayoría de los casos. En caso de existir una correlación entre variables, cuando una de ellas cambia, la otra también experimenta alguna forma de cambio a partir de una regularidad que permite anticipar la manera como se comportara por medio de los cambios que sufra la otra.”, (Alfaro Rodríguez, 2012, pág. 20).

Para esta investigación se considera que es de *nivel correlacional - explicativa* donde ambas variables se relacionan, se orienta y establece las causas que originan un fenómeno determinado.

### **3.4. Diseño de investigación**

Para esta investigación se considera el diseño experimental ya que durante el proceso de la investigación se experimentará un nuevo diseño de sostenimiento con el uso de fibras metálicas se utilizará el diseño clásico tal como muestra en la Figura 12.

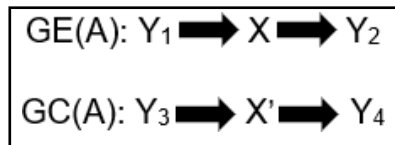


Figura 12. Diseño de Investigación

Fuente. Elaboración propia

### 3.5. Variables y operacionalización

Identificación de variables ver tabla 3.

**Variable (D)** Sostenimiento y costos operativos

**Variable (I)** Concreto lanzado.

**Variable Dependiente** Sostenimiento y costos operativos

**Definición.** - En una excavación subterránea el sostenimiento es importante para evitar posibles desprendimientos de rocas y ocasionar un accidente generando algún daño ya sea al trabajador o equipo que se expone, por lo tanto es importante el sostenimiento que se realiza en una excavación minera subterránea y cual tiene un costo operativo por los mismos insumos que se tiene al momento de la preparación del concreto para ser lanzado en obra.

“Este trabajo se basa en minimizar el exceso costo de operación que se origina en un sostenimiento subterráneo con shotcrete por vía húmeda, ya que se tiene altos porcentajes del efecto rebote esto se tiene por cada proceso de lanzado de una excavación con el equipo robot Alpha 20 y por ello afecta en el precio por metro cúbico de shotcrete. se planteó crear un sistema de control de calidad que consiste en asegurar que los procesos, técnicas, productos y servicios sean de buen servicios y nos ayuden a optimizar el rendimiento de todo el sistema de sostenimiento con shotcrete en una excavación”, (Camarena Cosme, 2016, pág. 4).

**Variable Independiente** Concreto lanzado

**Definición.** – El concreto lanzado es una mezcla de los insumos que a continuación se detalla: agregado, cemento, aditivos, agua y fibras, esta mezcla realizada es proyectada por aire a presión a través de una boquilla, sobre una superficie a fin de obtener capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente en diferentes espesores de acuerdo a una recomendación geomecánica.



“Para realizar un trabajo con éxito y asegurar la calidad del lanzado del concreto sobre una superficie, es bueno realizar un el estudio de la zona, trabajadores expertos, un buen lanzado y el equipo que corresponda con las especificaciones ideales del sitio. El concreto proyectado sobre una superficie de la roca, únicamente se adhiere en lugares limpias, duras, libres de aceites, agua o materiales extraños. Su aplicación no funciona en rocas blandas y polvosas, por el consecuente desprendimiento de polvo, (Ochoa, 2017, pág. 48).

“In zones in tunnels and mines, shotcrete has proven to be a cost effective and safe method of ground support.”, (John Zhang & R. Morgan, 2015, pág. 2).

## Matriz operacional de variables

Tabla 3. Matriz operacional de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
<b>Variable (D)</b> Sostenimiento y costos operativos	"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. 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."	En una excavación subterránea el sostenimiento es importante para evitar posibles desprendimientos de rocas y ocasionar un accidente generando algún daño ya sea al trabajador o equipo que se expone, por lo tanto, es importante el sostenimiento que se realiza en una excavación minera subterránea y cual tiene un costo operativo por los mismos insumos que se tiene al momento de la preparación del concreto para ser lanzado en obra.	Adherencia	Estabilidad y reducción de costos
<b>Variable (I)</b> Concreto lanzado	La aplicación de concreto lanzado sobre una superficie, es indispensable un el estudio del sitio, trabajadores expertos, un método de lanzamiento adecuado y la maquinaria que corresponda con las especificaciones ideales del sitio. El concreto lanzado o proyectado sobre una superficie, únicamente se adhiere en rocas limpias, duras, libres de aceites, agua o materiales extraños. Su aplicación no funciona en rocas blandas y polvosas, por el consecuente desprendimiento de polvo	El concreto lanzado es una mezcla de agregado, cemento, aditivos, agua y fibras, que, mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente.	Volumen Cantidad de insumos	m3 kg/m3

Fuente. *Elaboración propia*

### 3.6. Población y muestra

- **Población**

“La población o universo es el conjunto de objetos, sujetos o unidades que compartan la característica que se estudia y a la que se puede generalizar los hallazgos encontrados en la muestra. La definición de la población para un proyecto de investigación responde a la necesidad de especificar el grupo al cual son aplicables los resultados del estudio. Cuando el universo este compuesto por un número relativamente alto de unidades resulta imposible o innecesario examinar cada una de las unidades que lo componen. En tal caso se procede a extraer una muestra, o sea, un conjunto de unidades, una porción del total que represente la conducta del universo total, (Monje Alvarez, 2011, pág. 25).

Nuestra población está conformada por túneles de calidad de roca de tipo IV-A tal como muestra en la Figura 13, por lo cual se evaluará si el lanzamiento del concreto tiende a ser un sostenimiento óptimo para esta calidad de roca, por lo que se realizará ensayos de paneles al concreto para verificar la resistencia a la flexo tracción, así mismo se realizará un modelamiento Geotécnico con el software para determinar el factor de seguridad del sostenimiento y asegurar la estabilidad del sostenimiento de la excavación.



*Figura 13. Fibra metálica*

*Fuente. Elaboración propia*

- **Muestra**

“Las muestras tienen una clasificación pueden ser probabilísticas y no probabilísticas. En las primeras los elementos tienen la misma probabilidad de ser escogidos, se hace una selección al azar de los elementos de muestreo, en la muestra no probabilístico la selección no depende del azar, los elementos se escogen de acuerdo a unas características definidas por el investigador, tal como muestra en la figura 14” (Monje Alvarez, 2011, pág. 125).

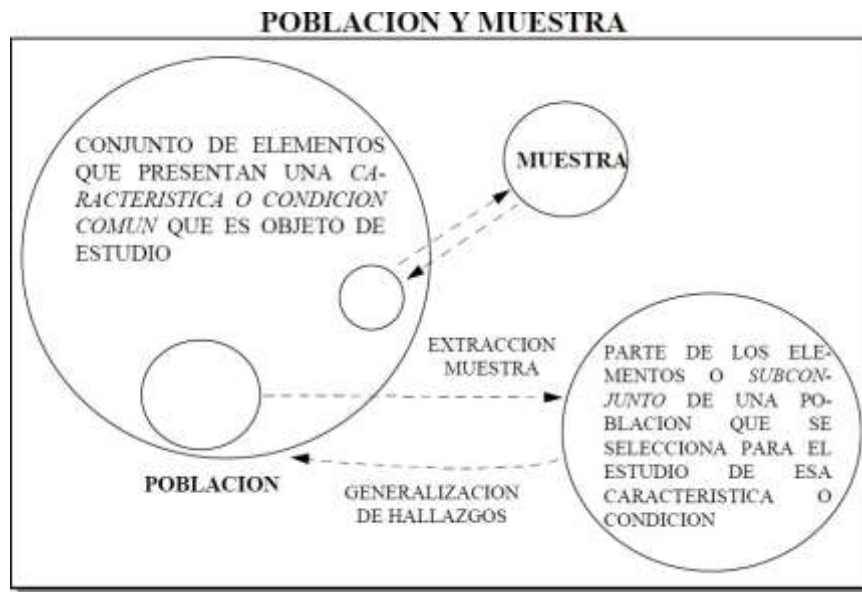


Figura 14. Población y muestra

Fuente. (Monje Alvarez, 2011)

- **Muestreo**

Por lo tanto, en esta investigación se utiliza la técnica de muestreo no probabilístico, ya que por criterio del investigador se optó por este tipo de muestreo, ver Figura 15.



Figura 15. Tipos de muestreo  
Fuente. (Monje Alvarez, 2011)

“Estas decisiones deben ser sustentadas teórica y metodológicamente. En este sentido es importante hacer un muestreo teórico, que constituye una forma de muestreo no probabilístico, donde el investigador, aplicando sus capacidades de indagación, decide qué ver en función a criterios como: interés personal, oportunidad, disponibilidad de recursos y naturaleza del objeto investigado.” (Escudero Sánchez & Cortez Suárez, 2018, pág. 78).

### 3.7. Técnica e instrumentos de recolección de datos

#### Técnicas de recolección de datos

Se hizo la recolección de datos con las siguientes técnicas:

Guía de observación, ya que se realizó un estudio al macizo rocoso con mapeos de celdas y está obteniendo una calidad de rocas para determinar el tipo de sostenimiento.

#### Instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron formatos como mapeo RMR89, formato de laboratorio de ensayo de materiales al concreto, como también se utilizaron software que a continuación detallo:

Rocsience RS2 para modelamiento geomecánico teniendo en cuenta las propiedades de la roca como también teniendo en cuenta los sostenimientos a emplear.

Microsoft Excel, almacenar información como una base de datos las resistencias obtenidas al momento de realizar lo ensayos.

AutoCad 2018, nos facilita realizar los planos geomecanicos zonificando la zona por calidades de roca de las labores excavadas.

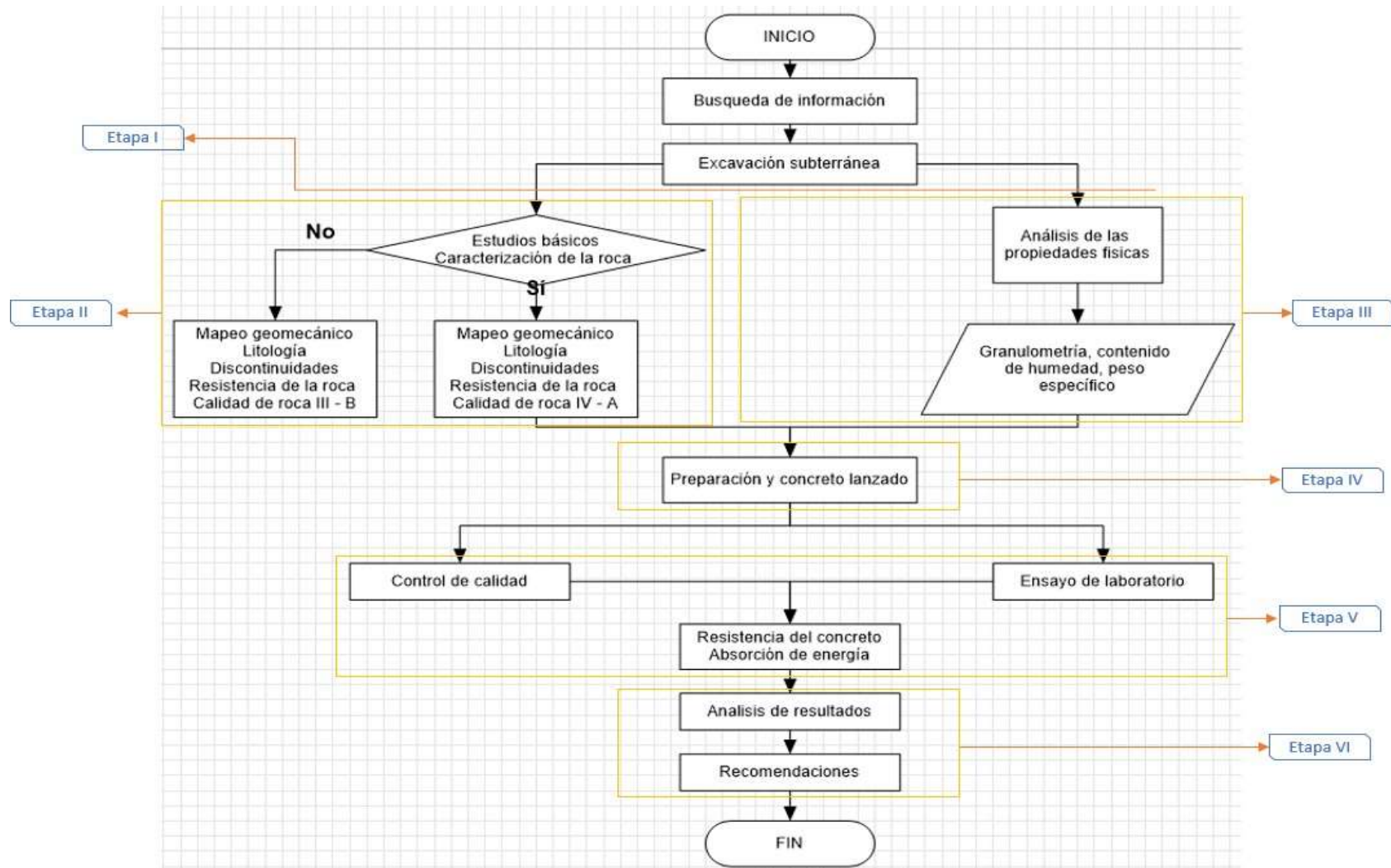


Figura 16. Procedimientos  
Fuente. Elaboración propia

### **3.8. Procedimientos**

La recolección de datos se hizo en VI etapas tal como se ve en la Figura 16, las cuales se describen a continuación:

#### **Descripción del procedimiento**

**Etapa I:** Consistió en la búsqueda de información sobre antecedentes de evaluación de las excavaciones en toda la mina San Cristóbal.

**1.- Excavación.** - La excavación en mina subterránea es dada por perforación y voladura, hay varias formas de realizar una excavación se pueden dar también con máquinas sofisticadas el cual no usan explosivos para realizar una excavación.

Para disminuir los daños sufridos al macizo rocoso es necesario que la voladura se realice de forma controlada, con precorte y/o taladros de alivio.

**Etapa II:** Consistió en estudios que pueden realizarse en cada etapa para continuar el sostenimiento de una excavación realizada, pero se asumió según el siguiente orden:

#### **Estudios básicos**

Para este estudio tenemos que tener en cuentas las características geotécnicas de la mina San Cristóbal para poder obtener la calidad de la roca y determinar el sostenimiento es muy importante tener en cuenta este estudio.

#### **Caracterización de la masa rocosa**

##### **Registro de datos**

Los datos geomecánicos y/o geotécnicos obtenida se realizó a partir del mapeo geomecánico de celdas del macizo rocoso expuesta en las excavaciones mineras de interior mina tal como muestra en la Figura 17, estos datos fueron registrados en el formato RMR, tal como muestra en la tabla 4, dichos mapeos fueron realizadas en los distintos niveles de la mina. Por otro lado, se aprovechó toda la data de interés desarrollada por el área de Geología de Mina San Cristóbal.

El mapeo geomecánico estructural del macizo rocoso se realizó utilizando el "método directo por celdas de detalle". Por medio de esta metodología se obtuvieron datos sistemáticos de la orientación de las discontinuidades preexistentes en los diferentes niveles de toda la mina, desde el Nivel 1320 hasta el Nivel 1170, todos ellos representados en un formato de mapeo geomecánico por celdas.





*Figura 17.* Toma de datos con brújula.

*Fuente.* Elaboración propia

Tabla 4. Mapeo Geomecánico

YAULI		Registro N°:	23	Labor:	TJ_75	Nivel:	1220	CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR													
VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.				Refer. Topográfico:	Caja Techo Seccion T7 y T8	Fecha:	04/03/2018	Litología		Familia de Discontinuidad:	Azimet de la Labor	TIPO DE ROC A		RMR	DESCRIPCION	TAS	L = 5 m.	L = 1 m.			
DATOS DE MAPEO GEOMECAÑICO RMR								Filita alterada		3	136°						Fract	RQD	Fract	RQD	
Hecho por:	Juan Miguel Cornejo Mosago			Condición de Exposición:	Fresca, Decolorada, Descompuesta, Desintegrada (Subrayar)			Dimensión de la la		3.8 x 4.0		Bezamiento Veta:	52°				40	81	1	100	
Parámetro	RQD		Espesor de la discontinuidad		Persistencia		Apertura		Rugosidad		Relleno		Meteorización		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		RMR Ajustado		
	Resistencia a la Compresión	RQD																			
Valores	15	17	15	10	1	1	1	1	3	10	44	-10	34								
Tamaño de mapeo (m)	1- > 250 Mtsa 2- 100 - 250 Mtsa 3- 50 - 100 Mtsa 4- 25 - 50 Mtsa 5- 5 - 25 Mtsa 6. 1.5 - 5 Mtsa	20 17 15 10	1- > 100% 2- 75 - 90% 3- 50 - 75% 4- 25 - 50% 5- < 25%	20 15 10	1- > 2 m 2- 0.6 - 2 m 3- 200 - 600 mm 4- 60 - 200 mm 5- < 60 mm	1- < 1 m 2- 1 - 3 m 3- 3 - 10 m 4- 10 - 20 m 5- > 20 m	1- Cerrada 0 2- Muy Angosta < 0.1 mm 3- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5- Muy Abierta > 5.0 mm	1- Muy rugoso 2- Rugoso 3- Ligera mente Rugosa 4- Lisa 5- Muy Lisa	1- Ninguna 2- Relleno fino < 5 mm 3- Relleno grueso > 5 mm 4- Relleno blando < 5 mm 5- No meteorizada	1- No meteorizada 2- Ligera mente 3- Moderada mente 4- Abierta meteorizada 5- Descompuesta	1- Completamente seco 2- Humedo 3- Mojado 4- Goteo 5- Flujo	RMR Básico		RMR Ajustado							
OBSERVACIONES																	61	66	22	35	
																	62	65	23	33	
																	63	64	24	31	
																	64	63	25	29	
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA				DISCONTINUIDADES				EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TÚNELES													
				DIR. BUZ/ BUZ ESP. MEDIO				Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel									
				SET1 302°/71' 0.6 m				Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°				Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°									
				SET2 246°/78' 0.8 m				Muy favorable				Favorable									
				SET3 210°/47' 0.6 m				Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°				Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°									
				SET4				Regular				Desfavorable									
CROQUIS DEL FRENTE				ESTRUCTURA MAYOR				Regular				Regular									
				DIR. BUZ/ BUZ POTENCIA				GRAD O				INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO									
				302°/71' 0.5				R1				Delcachable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla (Se indenta profundamente).									
				246°/78' 0.3				R2				Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta).									
OBSERVACIONES								R3				No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo.									
								R4				La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo.									
								R5				Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.									
								R6				Solo se rompe esquizas de la muestra con el martillo									

Fuente. Elaboración propia

## Aspectos litológicos

La caracterización litológica en la mina SC se tiene la presencia de roca volcánica y filitas, en la Veta 658 el 40% se tiene litología volcánica, en la Veta Split 658 y Veta 722 se tienen un 60% de litología filita, en varios tramos de esta zona se observa las filitas bituminosas y filitas silicificadas, tal como muestra en la Figura 18.



*Figura 18.* Toma de datos en campo

*Fuente.* Elaboración propia

## Distribución de discontinuidades

Para obtener datos estructurales de la masa rocosa, se realiza los mapeos estructurales en las excavaciones con la brújula rumbera para obtener la orientación de las discontinuidades, dichos datos son procesados en una proyección estereográfica, para ellos se utiliza el software Dips

Una vez ingresado los datos en el software Dips se realiza la interpretación estructural de las familias de discontinuidades, todos estos datos de orientación de las familias de discontinuidades son obtenida y registrada durante el mapeo geomecánico, se tiene que tener en cuenta las vetas definidas en los diferentes niveles de la mina

Se muestra el compósito de los sistemas de discontinuidades obtenidos para cada veta, es decir en la Veta Split 658, Veta 658 y Veta 722. Se tiene un resumen de los datos estructurales que se visualizará en la tabla 5.

Tabla 5. Sistema de discontinuidades rumbo/dirección

Nombre de Veta	Sistema1	Sistema2	Sistema3	Sistema4
Veta Split 658	N46°W/56°SW 224°/56°	N63°E/73°NW 333°/73°	N63°E/77°SE 153°/77°	N17°W/58°NE 073°/58°
Veta 658	N53°W/57°SW 217°/57°	N65°E/76°NW 335°/76°	N65°E/77°SE 155°/77°	N27°E/65°SE 117°/65°
Veta 722	N52°W/54°SW 218°/54°	N69°E/75°NW 339°/75°	N64°E/79°SE 154°/79°	---
Compósito general	N48°W/55°SW 222°/55°	N67°E/76°NW 337°/76°	N63°E/78°SE 153°/78°	---

Fuente. *Elaboración propia*

De los resultados individuales obtenidos para cada veta, se observa una tendencia similar bastante definida de los sistemas principales en las tres vetas, así como en el resultado compósito. A partir de ello se menciona lo siguiente:

- Se tiene tres sistemas de discontinuidades más representativas y bien definidos. El Sistema1 tiene rumbo NW su buzamiento es moderado al SW. Este sistema de discontinuidad su orientación es transversal a la Veta Split 658 y veta 658 y atraviesa de forma diagonal a la Veta 722 tal como muestra en las gráficas 19,20 y 21.
- El Sistema2 tiene rumbo NE su buzamiento es alto al NW. Este sistema de discontinuidad tiene relación con el rumbo de las Veta Split 658 y veta 658.
- El Sistema3 presenta el mismo rumbo del Sistema 2 pero su buzamiento es contrario al mismo, teniendo alto buzamiento hacia el SE.
- En la Veta Split 658 y veta 658 hace su aparición un cuarto sistema de discontinuidad con rumbos NEE y NNE su buzamiento es moderado al SE en los dos escenarios.

## Veta Split 658

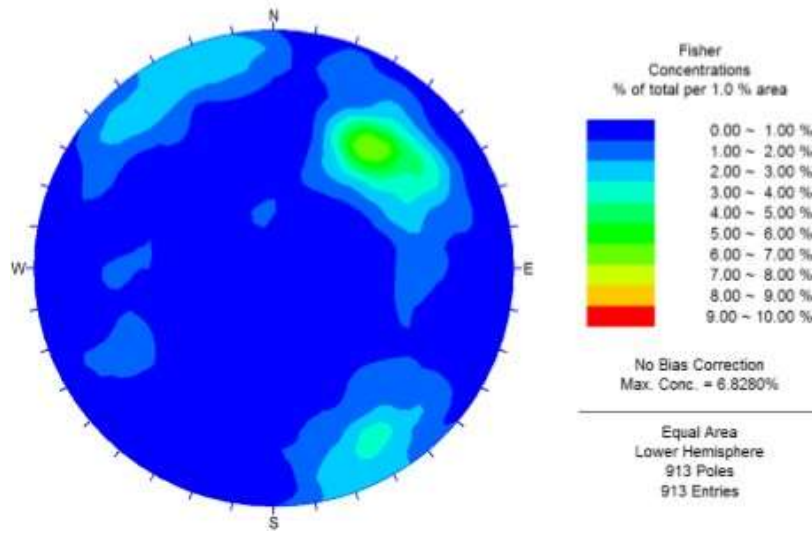


Figura 19. Diagrama estereográfico discontinuidades.

Fuente. Elaboración propia

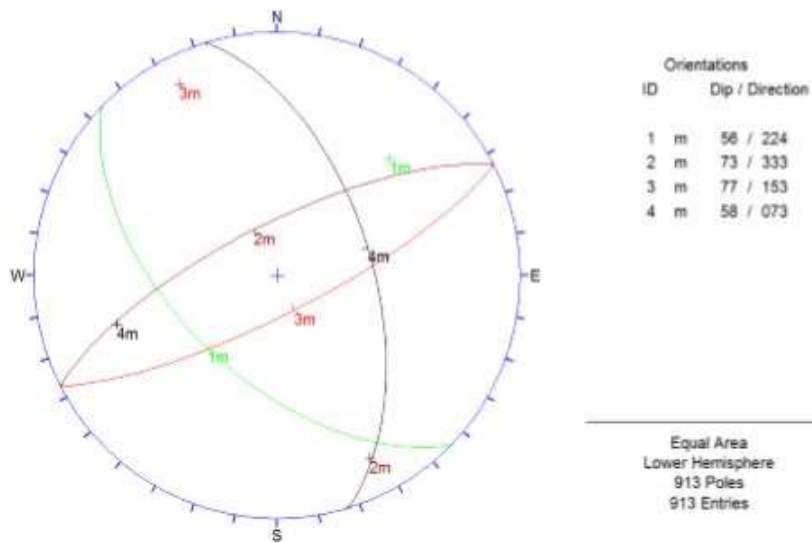


Figura 20. Diagrama planos principales de discontinuidades.

Fuente. Elaboración propia

## Veta 658

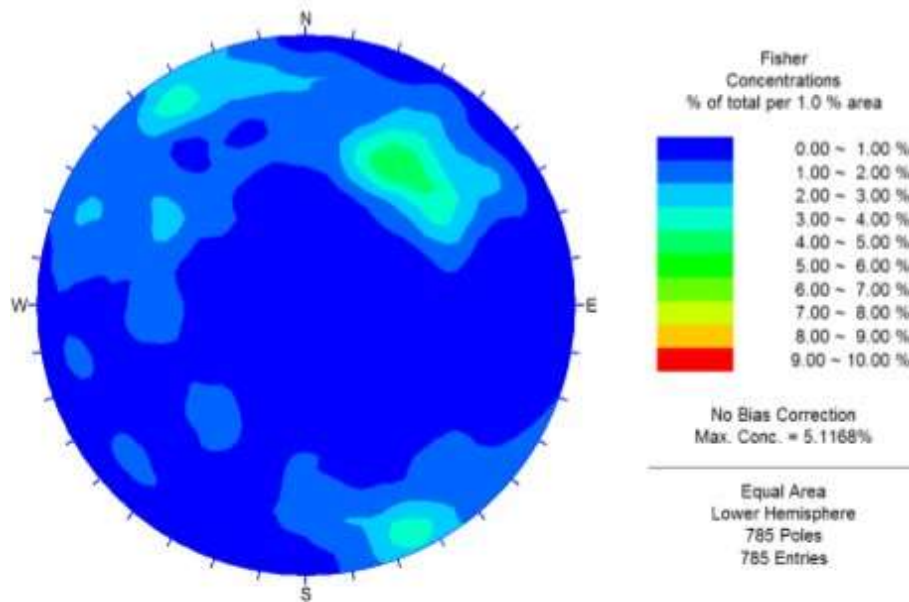


Figura 21. Diagrama de contornos de discontinuidades

Fuente. Elaboración propia

Los Sistemas 2 y 3 contribuyen a la generación de falsas cajas en las estructuras mineralizadas, estas se desprenden cuando se realiza la voladura de explotación de los taladros largos, sobre todo de la caja techo. Detrás de estas capas la calidad del macizo rocoso mejora sustantivamente. Este hecho permite que los subniveles puedan mantenerse estables mientras dure el tiempo de preparación de estas labores hasta concluir la excavación del nivel principal.

### **Aspectos estructurales**

Las características estructurales de las discontinuidades se obtuvieron mediante el mapeo geomecánico de la masa rocosa presente en las labores mineras subterráneas de Mina San Cristóbal, la que se trató y de las que más se asemejan con las observaciones en campo según lo identificado a las características estructurales de las condiciones podemos mencionar lo siguiente:

- **Fallas:**

Las fallas muestran aberturas mayores a 5 mm hasta 50 cm y su persistencia se estima a centenas de metros, para que la falla existiera hubo deslizamiento entre un plano de discontinuidad con otro en intermedio de estos se aprecia otro tipo de

material como los panizos, material argilizado, pirita, charco pirita etc, otras fallas tienen la característica como un espejo su superficie es lisa y de otras ligeramente rugosa. La mayor parte de las fallas observadas están asociadas a las vetas mineralizadas.

- **Diaclasas:**

Se identifican como fracturas con espaciamiento de 6 a 20 centímetros como también hay menores a 6 centímetros, en algunos casos existe diaclasas con espaciamiento de 20 a 60 centímetros y su persistencia estimada es de 1 a 3 m. o en algunos casos de 3 a 10 m. su abertura será < a 1mm. Sus paredes muestran ligeramente rugosa o lisa con relleno de material argilizado, esto varía desde moderadamente alterada hasta sanas en algunos sectores se observa presencia de humedad.

### **Ordenación de la masa rocosa**

Para obtener el RMR la masa rocosa se realizó mapeos geomecánicos de celdas, teniendo en cuenta su orientación estructural de cada discontinuidad de las mas representativas, en el caso para obtener los valores del RQD se realizaron por el registro lineal de discontinuidades, la frecuencia de fracturas/metro lineal.

Se utilizó el “criterio de Bieniawski (1989) modificado” mediante este criterio se clasificó la masa rocosa, tal como muestra en la tabla 6.

Tabla 6. *Criterio para la ordenación de la masa rocosa*

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Rango Q</b>	<b>Calidad Según RMR</b>
II	> 60	> 5.92	Buena
III A	51 - 60	2.18 - 5.92	Regular A
III B	41 - 50	0.72 - 1.95	Regular B
IV A	31 - 40	0.24 - 0.64	Mala A
IV B	21 - 30	0.08 - 0.21	Mala B
V	< 21	< 0.08	Muy Mala

Fuente. (Córdova, 2015, pág. 42)

Para la ordenación a la masa rocosa de toda la mina San Cristóbal, han sido el mapeo geomecánico realizado en las excavaciones mineras de los distintos niveles, todos ellos realizados como parte de trabajos de campo.

En la mina San Cristóbal de acuerdo a los mapeos geomecánicos se tiene 4 tipos de calidad de roca desde Mala IV A – IV B, Regular III – B y Regular III - A.

### Zonificación geomecánica de la masa rocosa

Para realizar la zonificación en la mina San Cristóbal se realizó numerables mapeos geomecánicos de celdas para determinar la calidad de roca en las diferentes vetas que se tiene como la Veta 658, Veta Split 658 y Veta 722, tal como muestra en la tabla 7, se tuvo también en cuenta el mapeo estructural, así mismo es importante tener en cuenta la litología de la masa rocosa, en los distintos niveles de la mina.

Tabla 7. Sinopsis de la zonificación geomecánica

Sector	RMR Promedio	Dominio Estructural
<b>VETA SPLIT 658</b>		
Caja Piso	28 y 42	DE - IVB Y DE - IIIB
Mineral	25 y 36	DE - IVB Y DE - IVA
Caja Techo	34 y 41	DE - IVA Y DE - IIIB
<b>VETA 658</b>		
Caja Piso	43	DE - IIIB
Mineral	39	DE - IVA
Caja Techo	44	DE - IIIB
<b>VETA 722</b>		
Caja Piso	38	DE - IVA
Mineral	36	DE - IVA
Caja Techo	44	DE - IIIB

Fuente *Elaboración propia*

En esta tabla 7 se muestra una sinopsis de la calidad de roca en las distintas estructuras mineralizadas y la roca en sus cajas techo, piso y estructura mineralizada. A partir de esto podemos decir lo siguiente:

- En la Veta Split 658, en la estructura mineralizada se tiene calidad de roca de tipo IVB con un rango de (RMR 21 – 30) y IVA con un rango de (RMR 31–40). En la caja techo y caja piso se tiene una calidad de roca tipo IVB con un rango de (RMR 21–30) y IIIB con un rango de (RMR 41–50).



- En Veta 658, en la estructura mineralizada se tiene calidad de roca de tipo IVA con un rango de (RMR 31 – 40). En la caja techo y caja piso se tiene una calidad de roca tipo IIIB con un rango de (RMR 41–50), en proyectos de desarrollo la calidad de roca es cada vez mejor.
- Para la Veta 722 en la estructura mineralizada se tiene calidad de roca de tipo IVA con un rango de (RMR 31–40). En la caja techo y caja piso se tiene una calidad de roca de tipo IIIB con un rango de (RMR 41–50) casi similar a la estructura Veta 658, ver figura 22.

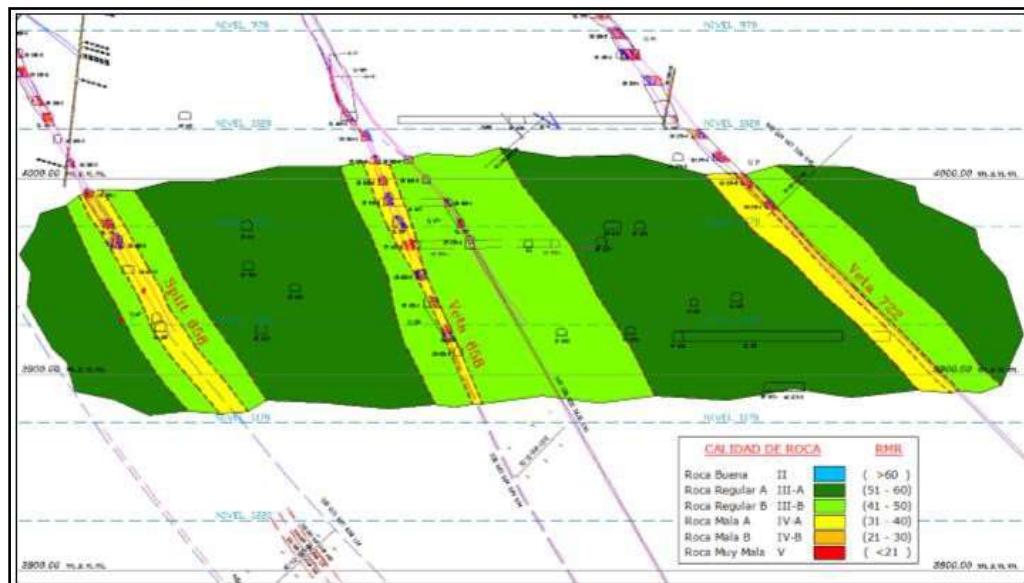


Figura 22. Zonificación geomecánica

Fuente. Propio

### Resistencia de la roca intacta

Para obtener la resistencia de la roca intacta al momento de realizar los mapeos geomecánicos de celda se utilizó el martillo de geólogo, con la cantidad de golpes de martillo se determinó la resistencia de la roca intacta

Por otro lado, durante los trabajos de campo se realizó un muestreo sistemático de bloques de rocas con el fin de realizar ensayos de propiedades físicas y mecánicas en un laboratorio de mecánica de rocas. Dichos ensayos consistieron en lo siguiente: carga puntual, compresión uniaxial, compresión triaxial y tracción indirecta, los resultados de dichos ensayos se muestran en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de carga puntual

Muestra	Litología	$I_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
M1	Filita	3.37	45.30
M2	Filita	5.54	119.20
M3	Filita silicificada	5.00	108.20
M4	Intrusivo	5.02	113.20
M6	Metavolcánico	2.53	56.50
M9	Filita silicificada	4.94	98.20
M10	Mineral	4.57	99.70
M11	Mineral	1.79	41.80

Fuente. (Córdova, 2015, pág. 45).

Tabla 9. Resultados de los ensayos de compresión uniaxial

Muestra	Litología	$\sigma_c$ (MPa)
M3	Filita silicificada	97.90
M4	Intrusivo	103.40
M6	Metavolcánico	56.00
M9	Filita silicificada	80.10
M10	Mineral	80.50
M11	Mineral	36.50

Fuente. (Córdova, 2015, pág. 45).

“Con el ensayo de compresión triaxial se obtuvieron también, la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta, el valor constante ( $m_i$ ) del criterio de falla de “Hoek & Brown” (2002-2007) y los parámetros de resistencia al corte de “Mohr Coulomb”: cohesión y ángulo de fricción. Los ensayos de tracción indirecta fueron realizados con el Método Brasileiro”, tal como muestra en las tablas 10, 11 y 12 (Córdova, 2015, pág. 46).

Tabla 10. Resultados de los ensayos de compresión triaxial

Muestra	Litología	$\sigma_c$ (MPa)	"mi"	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción (°)
M1	Filita	57.08	8.15	14.81	36.89
M3	Filita silicificada	100.68	10.02	22.26	42.7
M4	Intrusivo	131.76	28.36	21.98	55.47
M6	Metavolcánico	67.36	14.78	14.12	46.32

Fuente. (Córdova, 2015, pág. 46)

Tabla 11. Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción

Muestra	Litología	$\sigma_c$ (MPa)
M1	Filita	6.6
M3	Filita silicificada	10.8
M4	Intrusivo	5.7
M6	Metavolcánico	7.3

Fuente. (Córdova, 2015, pág. 46).

Tabla 12. Resultados de los ensayos de propiedades físicas

Muestra	Litología	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
M1	Filita	0.66	0.25	25.83
M3	Filita silicificada	0.90	0.30	29.11
M4	Intrusivo	1.42	0.55	25.39
M6	Metavolcánico	2.66	0.94	27.85
M10	Mineral	0.55	0.20	26.23
M11	Mineral	4.34	1.77	24.43

Fuente. (Córdova, 2015, pág. 46)

**Etapas III:** Se analizará las propiedades físicas de los agregados para utilizar en la preparación del concreto lanzado.

### Procesos de ensayo de insumo

Tal como mencionamos los diseños la planta Betonmac cumple con la dosificación al momento de preparar el concreto, se tiene que tener en cuenta la calidad de los

materiales tanto como agua, arena, cemento y de los insumos de aditivos es muy importante conocer los componentes, propiedades y características químicas, físicas y mecánicas.

Todo este control de calidad es realizado en el laboratorio de concreto de Volcan Compañía Minera con personal técnico en concreto y conducido por un especialista en control de calidad por un Ingeniero Civil, se tiene que tener en cuenta las normas y especificaciones para realizar ensayos de laboratorio, por ello contamos con documentos es un PETS (Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro).

### **ASTM C-566 Contenido de humedad de agregados.**

- Se determina el % de humedad de una muestra de agregado fino proveniente de la cantera de pachachaca por medio del secado.
- Se adquiere contenido de la humedad para obtener el grado de humedad de la arena.

$$\%Humeda = \frac{(PI) - (PF)}{PF} \times 100$$

Dónde:

PI = “Peso Inicial”

PF = “Peso Final”

### **ASTM C-136 Análisis granulométrico de agregados.**

La curva granulométrica es la gráfica de medición del tamaño de las partículas de los áridos que forman parte del Shotcrete, tal como muestra en la Figura 23, esta prueba nos sirva para conocer:

- Si los diferentes tamaños de agregados son óptimo para el bombeo
- El contenido de finos en el árido (partículas con diámetro < 0,125 mm), que repercute en las propiedades de trabajabilidad, adhesión interna y resistencia temprana de la mezcla de Shotcrete.
- El secuencia para obtener dicha curva granulométrica consiste en pasar la muestra de árido por unos tamices normalizados de diferentes diámetros, donde son sometidos a movimientos de vibración y rotatorios para realizar la clasificación por tamaños. Después, se retiran los tamices y se pesa la arena retenido en cada uno de ellos.

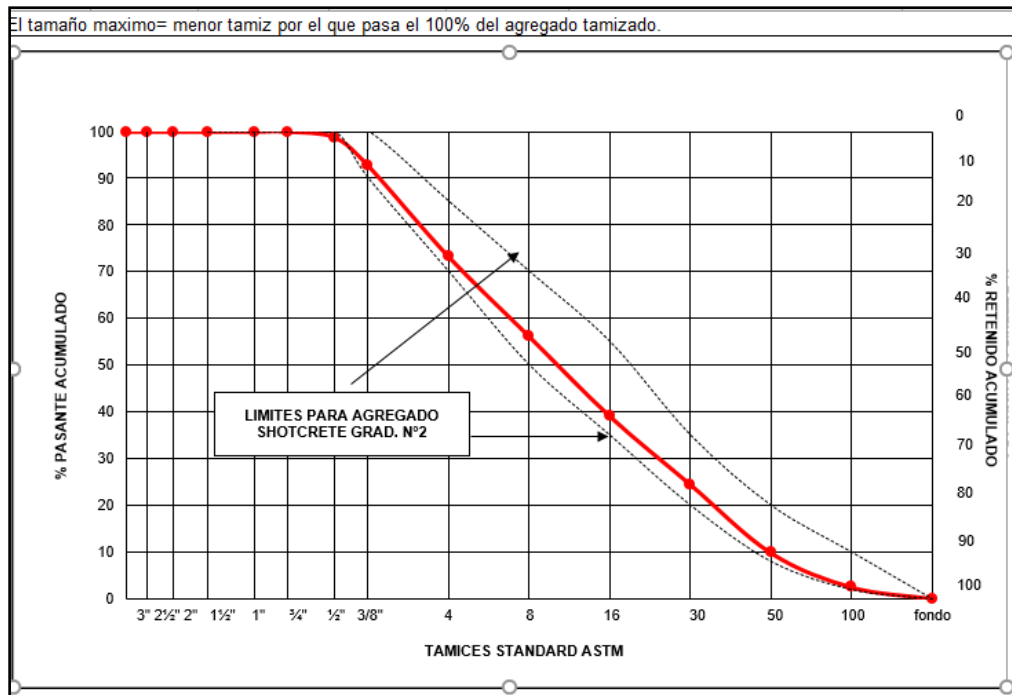


Figura 23. Curva granulométrica

Fuente. Elaboración propia

### Material y equipos.

- **Balanza.** Una balanza electrónica digital.
- **Tamices.** 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, # 200 y fondo y tapa, tal como muestra en la Figura 24.
- Escobillas metálicas y escobillas con cerdas de polipropileno.



Figura 24. Número de Tamices

Fuente. Elaboración propia

### **ASTM C-128 Peso específico de los agregados.**

Como parte del control de calidad, se tiene que realizar el análisis granulométrico a la arena proveniente de la cantera de pachachaca para determinar sus propiedades físicas y mecánica, el contenido de humedad, la granulometría, el peso unitario y compactado, se requiere saber dichas características para obtener un concreto de calidad.

### **Material y equipos.**

- Balanza. Una balanza electrónica digital, tal como muestra en la Figura 25
- Fiolas graduada de 500ml, tal como muestra en la Figura 26.
- Bandejas 40 x 40 x 5cm, tal como muestra en la Figura 27.
- Cono de Cansas con pisón.



*Figura 25. Secado de la arena*

*Fuente. Elaboración propia*



Figura 26. Balanza

Fuente. Elaboración propia



Figura 27. Secado de la arena

Fuente. Elaboración propia

#### **Etapas IV:**

En la Mina San Cristobal el shotcrete es considerado como un elemento de sostenimiento pasivo ya que dependerá de un tiempo de fraguado para adquirir la resistencia, este shotcrete es proyectado por proyección neumática con un equipo Alpha 2.0 robot, el cual se encarga de proyectar en las paredes de la excavación

realizando una adherencia a la superficie de la roca, el shotcrete es proyectado a una velocidad alta que sale de la boquilla del robot, el shotcrete está compuesto por: arena, agua, cemento, aditivos y fibras de refuerzo

El concreto es preparado en la planta Betonmac, tal como muestra en la Figura 28 con este diseño que a continuación se detalla:

Cemento tipo I	(400 kg/m <sup>3</sup> )
Agua	(180 litros/m <sup>3</sup> )
Arena	(1659 kg/m <sup>3</sup> )
Master Glenium 3915	(1.8 litros/m <sup>3</sup> )
MasterRoc 160	(21 litros/m <sup>3</sup> )
Fibra metálica	(40 kg/m <sup>3</sup> )

Las cantidades por m<sup>3</sup> son exactas ya que la planta Betonmac es computarizada por lo tanto nos entrega un concreto de calidad para el sostenimiento de las excavaciones en la minera San Cristóbal.

Su relación agua/cemento está en el rango de 0,40 y 0,50, en la planta Betonmac antes que el mixer baje a mina sale con un slump de 10" ya que el trayecto hacia el lugar donde va ser proyectado el concreto con robot es un aproximado de 1 hora, por lo que al momento de realizar la proyección del concreto en las excavaciones se tiene que hacer la prueba de asentamiento Slump y esta dando como resultado entre 7" y 6".



*Figura 28.* Planta de concreto Betonmac

*Fuente.* Elaboración propia



### **Etapa V:**

**Pruebas de campo.-** Se realiza las pruebas en campo en cuanto al lanzado del concreto sobre la superficie de la roca, primeramente antes del lanzado del concreto se tiene que realizar un buen desatado de rocas, seguidamente se debe se realizar la prueba de slump (ver Figura 29) para verificar la consistencia del concreto y esta a la vez como prueba de calidad, por lo que el óptimo para realizar el lanzado del concreto se tiene que tener un slump de 7' a 6', la superficie de la roca debe encontrarse fuera de polución para que se pueda adherir el concreto sobre la roca.



*Figura 29. Secado de la arena*

*Fuente. Propio*

**Ensayos de laboratorio.** - Los ensayos de laboratorio con probetas, tal como muestra en la Figura 21, es necesario realizar y obtener resultados ya que con estos resultados nos ayudara a realizar un modelamiento geotécnico para determinar el factor de seguridad en cuanto al sostenimiento que se va empleando, de acuerdo a la calidad de roca que se tiene en campo.



Figura 30. Testigos diamantinos de shotcrete

Fuente. Propio

### **Ensayos fuerza a la compresion ( $f'c$ ).**

“Hay diferentes formas de diseñar un concreto que tengan una variedad de propiedades mecánicas, físicas y duraderas una resistencia de compresión es una de las medidas que los ingenieros tienen que tener en cuenta para diseñar cualquier tipo de obras con concreto, toda resistencia a la compresión se mide rompiendo probetas cilíndricas de concreto con el equipo de ensayos de compresión, toda resistencia a la compresión es calculada cuando la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste la carga y esta se toma en megapascales (Mpa), (Hernandez, 2006)

### **Etapas VI:**

**Análisis de resultados.-** Con los resultados obtenidos en campo de acuerdo al mapeo geomecánico y determinando la calidad de roca, así mismo realizando un ensayo de laboratorio al concreto en cuanto a la resistencia y a la absorción de energía podemos mencionar que el sostenimiento es el adecuado para la calidad de roca que se tiene en la mina.

### **3.9. Método de análisis de datos**

Para la evaluación e interpretación de los datos obtenidos en campo en cuanto a las propiedades de la roca como también a los ensayos a realizar al concreto, estas

serán realizadas en laboratorio como también se utilizarán herramientas informáticas para el análisis de elementos finitos utilizando software geotécnico. Así también, como el apoyo del ingeniero asesor para verificación de los resultados obtenidos.

### **3.10. Aspecto ético**

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de ser publica e invocar nuevos conocimientos en cuanto al sostenimiento con concreto lanzado ya sea en túneles o en excavaciones mineras en tal sentido que, si posteriormente es tomada como referencia para temas con respecto a concreto lanzado en excavaciones subterráneas, es imprescindible contar con los recursos necesarios para la investigación y por ende los resultados obtenidos no fueron objetos de manipulación.

#### IV. RESULTADOS

En la primera etapa primeramente se tuvo que realizar la perforación con equipo jumbo, luego realizar el carguío del frente con explosivos de fama para tener una voladura y esta generando la excavación con el diseño de ingeniería y planeamiento.



Figura 31. Frente cargado con famecorte

Fuente. Elaboración propia

En la segunda etapa, los parámetros del mapeo geomecánico efectuados fueron adquiridas en formatos de registro dichos datos fueron obtenidos de las excavaciones, para ellos se tiene que tener en cuenta las normas sugeridas por la (ISRM) “Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas”.

De acuerdo al mapeo geomecánico realizado en las excavaciones en la mina San Cristóbal se tuvo las siguientes calidades de roca con un rango de RMR entre 30 – 40 está teniendo una clasificación como calidad de roca de tipo IV- A

Tabla 13. Resultado mapeo de celda RMR


Fecha	Nivel	Labor	Referencia	RMR <sub>c</sub>	Calidad de Roca
15/12/20	1270	SN_67_2W	AC_67_2E	38	IV – A
17/12/20	1270	SN_67_1E	AC_67_1E	36	IV – A
15/12/20	1270	SN_653_3W	CA_01_653_3W	36	IV – A

Fuente. *Elaboración propia*

### **Análisis y ensayos físicos del agregado**

Se realiza el ensayo granulométrico de la arena proveniente de la cantera de pachachaca acuerdo a la NTP 400.012 y ASTM C136, se extrajo una muestra representativa del agregado y realizando todos los ensayos como secado en el horno por un periodo de 24h a una temperatura de  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , luego se cuarteo sobre una superficie limpia y se pesó 299 g de muestra seca de agregado. Así mismo la muestra se pasó por los tamices de 3/8, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo como indica la NTP 350.001, para su verificación de calidad se comparó con los requisitos de porcentaje que pasa por los tamices obteniendo así como resultado la Tabla 15 y Figura 33.

Tabla 14. Análisis granulométrico

	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136</b>						REVISIÓN : 02	
							CONTROL TECNOLÓGICO	
							UNIDAD: SAN CRISTOBAL	
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>								
<b>LUGAR DE MUESTREO</b> : PLANTA HUARIPAMPA						<b>MUESTRA N°</b> : 1		
<b>PROCEDENCIA AGREGADO</b> : CANTERA PACHACHACA						<b>EMPLEO DEL AGREGADO</b> : Concreto Shotcrete		
<b>TIPO DE AGREGADO</b> : ARENA GRUESA						<b>FECHA DE MUESTREO</b> : 15/02/2018		
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO : Manual						TAMAÑO MÁXIMO : 3/4"		
PROCEDIMIENTO DE SECADO : Cocina						PESO INICIAL : 1321.2 g		
N° BALANZA : PAJ4102N						FECHA DE ENSAYO : 15/02/2018		
<b>TAMIZ</b>	<b>ASTM C-136 (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>PORCENTAJE RETENIDO</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA</b>	<b>ESPECIFICACIONES ASTM C-1436 GRADACIÓN N° 2</b>		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS Y MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200</b>
								<b>ASTM-C 566 Y ASTM-C 177</b>
1 1/2"	63.500							TARA N° 1
1"	50.800							Peso de tara 299.73
3/4"	38.100							Suelo Humedo + Tara 1500.0
1/2"	25.400				100.0	100	100	Suelo Seco + Tara 1360.0
3/8"	9.500	50.00	3.8	3.8	96.2	90	100	Contenido de humedad 13.20
N° 4	4.750	250.0	18.9	22.7	77.3	70	85	TARA N° 1
N° 8	2.360	260.0	19.7	42.4	57.6	50	70	Peso de tara 100
N° 16	1.190	230.0	17.4	59.8	40.2	35	55	Suelo Seco + Tara 1360.0
N° 30	0.600	200.0	15.1	74.9	25.1	20	35	Suelo Seco Lavado + Tara 1290.0
N° 50	0.300	190.0	14.4	89.3	10.7	8	20	% Pasante Tamiz N° 200 5.6
N° 100	0.150	90.0	6.8	96.1	03.9	2	10	Modulo de Fineza 3.9
FONDO	0.075	51.2	3.9	100.0		-	-	

Fuente. *Elaboración propia*

Se realiza a la arena suministrada desde las canteras de la comunidad de Pachachaca, en lo referente a las frecuencias establecidas, registrándose en los formatos físicos respectivos para los ensayos de granulometría, humedad, malla 200, de acuerdo a la Figura 32 la curva granulométrica se encuentra dentro de lo establecido

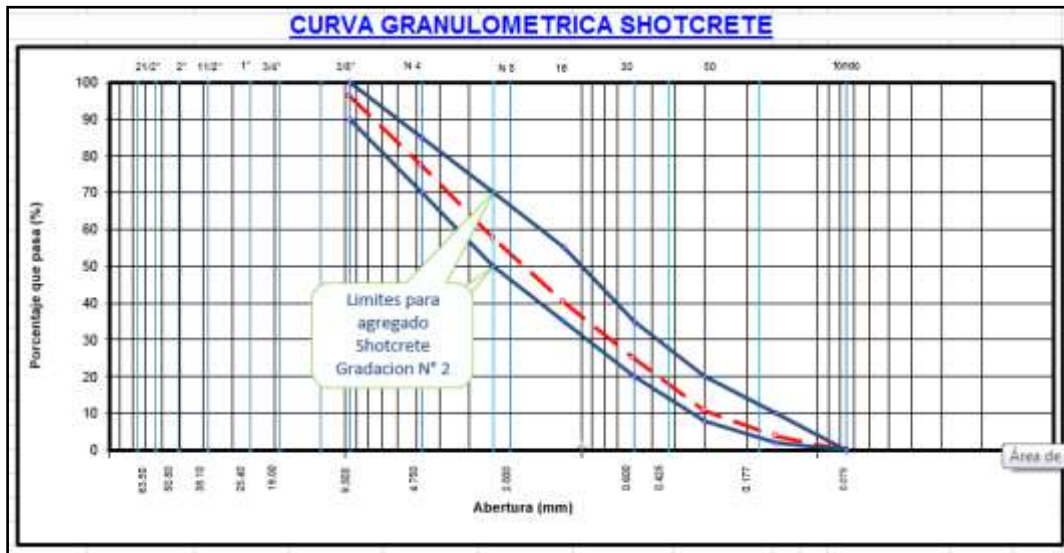


Figura 32. Curva granulométrica del agregado

Fuente. Propio

Tabla 15. Resultado peso específico y absorción

ROBOCON		PESO ESPECIFICO Y ABSORCION AGREGADO CANTERA PACHACHACA				VOLCAN
DOCUMENTO	CANTERA	FECHA DE ENSAYO	PESO ESPECIFICO (kg/m <sup>3</sup> )	% ABSORCION	OBSERVACIONES	
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	5/05/2018	2579	2.04		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	6/05/2018	2442	2.39		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	7/05/2018	2438	2.56		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	8/05/2018	2565	1.69		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	1/07/2018	2426	1.78		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	7/07/2018	2565	1.69		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	14/07/2018	2589	1.63		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	28/07/2018	2450	2.04		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	4/08/2018	2490	2.30		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	21/08/2018	2460	1.63		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	27/09/2018	2447	1.52		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	11/09/2018	2438	2.56		
GPC-LA-R-006 Peso Especifico y Absorción Agregado Fino	PACHACHACA	18/09/2018	2579	2.04		
		Ds	66.0	0.4		
		X <sub>200</sub>	2498	1.99		

Fuente. Elaboración propia

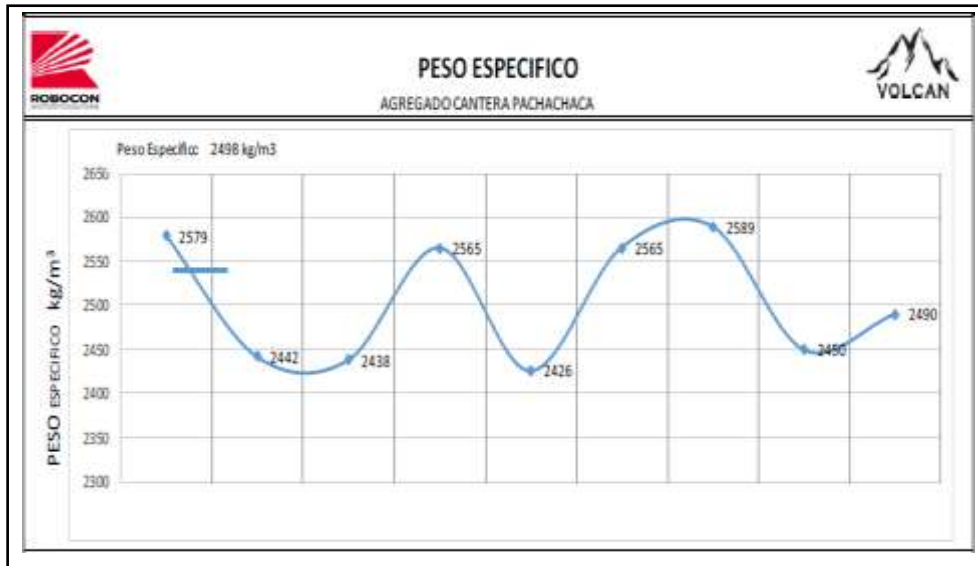


Figura 33. Peso específico de la arena  
Fuente. Propio

### Diseño de concreto

El concreto es preparado en planta betonmac con el siguiente diseño, ver tabla 16.

Tabla 16. *Diseño de Shotcrete*

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento Tipo I	400	Kg/m3
Agua	180	Lt/m3
Arena	1659	Kg/m3
Master Glenium 3915	1.8	Lt/m3
MasterRoc 160	21	Lt/m3
Fibra metálica	30	Kg/m3

Fuente. *Elaboración propia*

Luego después de realizar la preparación del concreto esta es cargada en un mixer de 4 m<sup>3</sup> de capacidad ya que son equipos pequeños de bajo perfil para transportar en concreto al lugar donde va realizar el lanzado en una excavación, tal como muestra en la Figura 34. A continuación, se detalla el movimiento realizado en campo teniendo en cuenta los parámetros necesarios para realizar un buen lanzado de shotcrete.



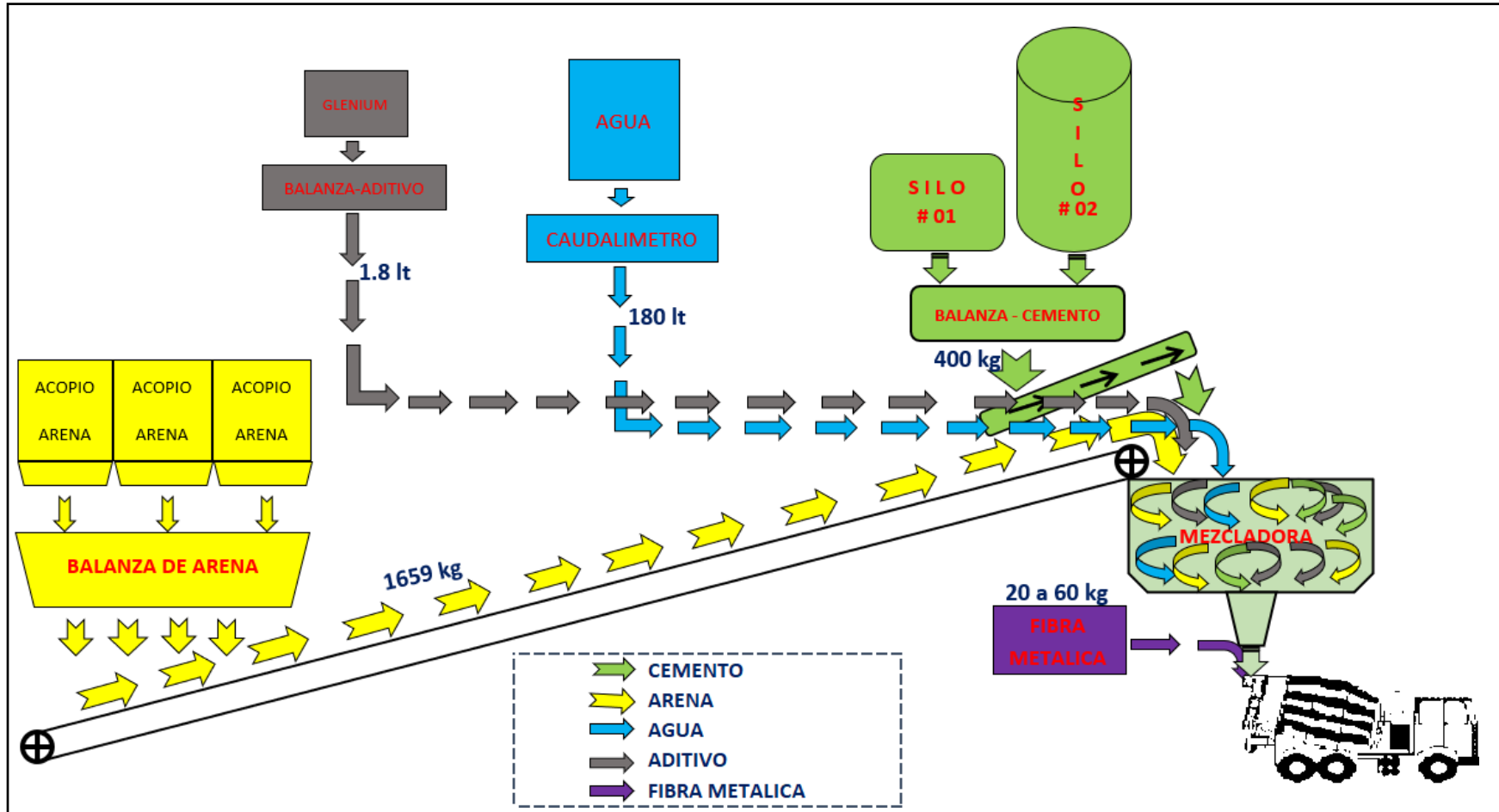


Figura 34. Esquema de la preparación de planta

Fuente. Planta de concreto Betonmac

- **Detalle de salida de planta:**

Hora : 8:50 Hrs.  
Slump : 10<sup>3</sup>/<sub>4</sub>  
T° Ambiente : 9.2  
T° shotcrete : 16.0  
Tornado : T-191  
Operador : Dennis Muñoz


- **Detalle de llegada al interior Mina:**


Hora : 11.35 Hrs.  
Slump : 6"  
T° Ambiente : 24.7  
T° shotcrete : 19.3  
Presión de Aire en lanzado : 4.2 bares.  
Cantidad lanzada : 4 m3.  
Caudal de lanzado : 2 (telemando del robot)  
Equipo / Robot : Alpha20 / R-43  
Operador de Robot : Arias (ROBOCON).  
Lugar de trabajo : SN\_67\_2E  
Caudal de Aditivo x m3 : 2(18-19 litros)

### **Control de medición del Slump**

Se realizó la medición del slump como prueba de calidad del lanzado de concreto, se tiene una distancia de 1.7 km. De distancia desde la planta Betonmac hasta las labores asignadas para realizar el lanzado del concreto, durante las 03 muestras que se obtuvo con respecto al slump un promedio de 6" que es como valor máximo para realizar el lanzado del concreto sobre la excavación, ver Tabla 17.

Tabla 17. Control de medición del Slump

 <b>CONTROL DE MEDICIÓN DE SLUMP</b>						Registro	55	
						Fecha	15/11/2020	
MINA San Cristóbal								
Item	Labor	Referencia	Nivel	Cantidad	Sección	Promedio Slump Salida	10 1/8	
						Promedio Slump Llegada	6 3/4	
1	SN_67_2W	AC_67_2E	1270	3.8 m <sup>3</sup>	4.0 x 4.0 m.			
2	SN_67_1E	AC_67_1E	1270	3.6 m <sup>3</sup>	3.8 x 3.8 m.			
3	SN_79_4E	AC_79_4E	1270	4.0 m <sup>3</sup>	4.0 x 4.0 m.			
4	SN_653_3W	CA_01_653_3	1270	4.0 m <sup>3</sup>	3.8 x 3.8 m.			
Item	TIEMPO (Fraguado)	HORA Salida	Slump (pulgadas)	HORA Llegada	Slump (pulgadas)	Temperatura de concreto	Temperatura ambiente	Trabajabilidad de la Mezcla
1	2:45:00	8:50:00	10	11:35:00	6	16°	15°	Regular
2	2:00:00	11:40:00	10 1/2	13:40:00	7	17°	14°	Bueno
3	2:05:00	13:10:00	10	15:15:00	7	16.5°	14°	Bueno
4	2:12:00	14:05:00	10	16:17:00	7	16.5°	14°	Bueno

Item	Slump (pulgadas)	HORA Llegada	HORA Salida	TIEMPO (Fraguado)
1	6	11:35:00	8:50:00	2:45:00
2	7	13:40:00	11:40:00	2:00:00
3	7	15:15:00	13:10:00	2:05:00
4	7	16:17:00	14:05:00	2:12:00

OBSERVACIONES	
En el Item 1 la hora de llega después de la atención en planta betonmac es de 2:45 donde el slump se encuentra en el límite para realizar el lanzado del concreto en la excavación requerida SN_67_2W	

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

### Ensayos de capacidad a la absorción de energía

El material compuesto llamado shotcrete es el preferido en la mayoría de las construcciones en tunelería y/o excavaciones mineras subterráneas gracias a su gran resistencia a la compresión y a su larga vida, pero debido a muchas desventajas que el material presenta, se ve la necesidad de buscar formas para reforzarlo solicitaciones de cargas donde el concreto no puede resistir por si solo. En tal sentido en esta investigación se ha analizado el comportamiento que tienen las fibras metálicas en el concreto frente al ensayo de flexotracción. Para esta investigación se ha utilizado fibras metálicas sika fiber de la serie CHO 65/35, su longitud es de 35 mm y diámetro de 0.54 mm. Estas fibras poseen una resistencia a la tracción de 1200 MPa según el proveedor y fabricadas conforme a las normas ASTM A820 y ASTM C 1116 para concretos reforzados con fibras. Llevada al laboratorio como conclusión de esta investigación tenemos una correlación

expresiones que nos sirven para dejar de lado el control de módulos de rotura mediante el ensayo a flexo tracción.

### Parámetros generales muestra-1

Durante la investigación se realizó las pruebas a la absorción de energía en esta presentación se tiene la muestra N° 1 tal como indica en la tabla N° 18.

Tabla 18. Datos del ensayo muestra-1

Numero de Muestra: M-1	Fecha de elaboración de especímenes: 28 de Junio de 2018
Fibra empleada/Fabricante: Fibra	Fecha de salida de poza de curado: 24 de Julio de 2018
Dosificación / F'c de diseño: 40 Kg	Fecha / edad de ensayo ( días): 26/07/2018                      28

2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)	102.00 mm
2.02 Desviación estándar del Espesor	
2.03 Diámetro promedio de la muestra (mm)	mm
2.04 Desviación estándar del diámetro	
2.05 Carga de falla (KN)	86.67 KN
2.06 Deflexión de fisuración del concreto (mm)	0.71 mm
2.07 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=25$ mm)	1471.24 Joules
2.08 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=20$ mm)	1293.78 Joules
2.09 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=15$ mm)	1042.26 Joules
2.10 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=10$ mm)	674.73 Joules
2.10 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)	96.19 Joules
2.11 Tipo de falla observada	5 Fisuras Radiales

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

En la muestra N° 1 la curva muestra la deformación bajo la variación de la fuerza en kN aplicada al Shotcrete y el área delimitada por esta curva representa la capacidad de absorción de energía en Joules, tal como muestra en la Figura 35.

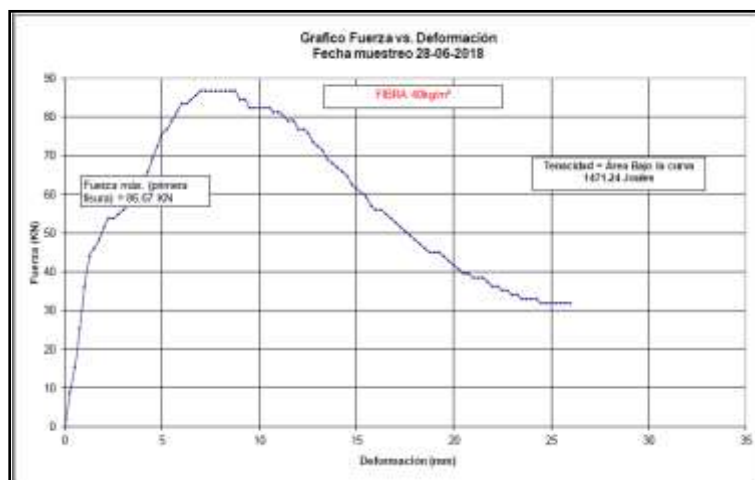


Figura 35. (Muestra-1) 40 kg/m<sup>3</sup> Fuerza vs. Deformación mm.

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

## Parámetros generales muestra-2

Durante la investigación se realizó las pruebas a la absorción de energía en esta presentación se tiene la muestra N° 2 tal como indica en la tabla 19.

Tabla 19. Datos del ensayo muestra-2

Numero de Muestra: M-2	Fecha de elaboración de especímenes: 28 de Junio de 2018
Fibra empleada/Fabricante: Fibra	Fecha de salida de poza de curado: 24 de Julio de 2018
Dosificación / F'c de diseño: 40 Kg	Fecha / edad de ensayo ( días): 26/07/2018                      28

2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)	102.00 mm
2.02 Desviación estándar del Espesor	
2.03 Diámetro promedio de la muestra (mm)	mm
2.04 Desviación estándar del diámetro	
2.05 Carga de falla (KN)	83.38 KN
2.06 Deflexión de fisuración del concreto (mm)	0.71 mm
2.07 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=25$ mm)	1458.34 Joules
2.08 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=20$ mm)	1257.02 Joules
2.09 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=15$ mm)	994.81 Joules
2.10 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=10$ mm)	646.48 Joules
2.10 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)	91.75 Joules
2.11 Tipo de falla observada	6 Fisuras Radiales

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

En la muestra N° 2 la curva muestra la deformación bajo la variación de la fuerza en kN aplicada al Shotcrete y el área delimitada por esta curva representa la capacidad de absorción de energía en Joules, tal como muestra en la Figura 36.

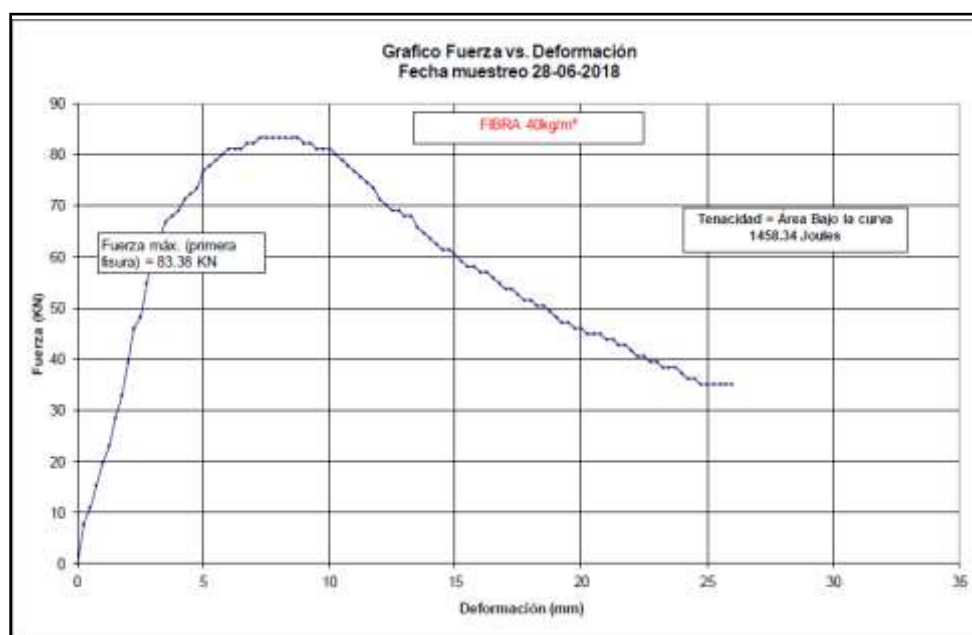


Figura 36. (Muestra-2) 40 kg/m3 Fuerza vs. Deformación mm.

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

### Parámetros generales muestra-3

Durante la investigación se realizó las pruebas a la absorción de energía en esta presentación se tiene la muestra N° 3 tal como indica en la tabla 20.

Tabla 20. Datos del ensayo muestra-3

Numero de Muestra:	M-3	Fecha de elaboración de especímenes:	28 de Junio de 2018
Fibra empleada/Fabricante:	Fibra	Fecha de salida de poza de curado:	24 de Julio de 2018
Dosificación / F'c de diseño:	40 Kg	Fecha / edad de ensayo ( días):	26/07/2018 28

2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)	102.00 mm
2.02 Desviación estándar del Espesor	
2.03 Diámetro promedio de la muestra (mm)	mm
2.04 Desviación estándar del diámetro	
2.05 Carga de falla (KN)	86.67 KN
2.06 Deflexión de fisuración del concreto (mm)	0.71 mm
2.07 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=25$ mm)	1571.62 Joules
2.08 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=20$ mm)	1363.17 Joules
2.09 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=15$ mm)	1082.03 Joules
2.10 Energía Absorbida en (Joules) ( $\delta=10$ mm)	707.64 Joules
2.10 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)	99.73 Joules
2.11 Tipo de falla observada	6 Fisuras Radiales

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

En la muestra N° 3 la curva muestra la deformación bajo la variación de la fuerza en kN aplicada al Shotcrete y el área delimitada por esta curva representa la capacidad de absorción de energía en Joules, tal como muestra en la Figura 37.

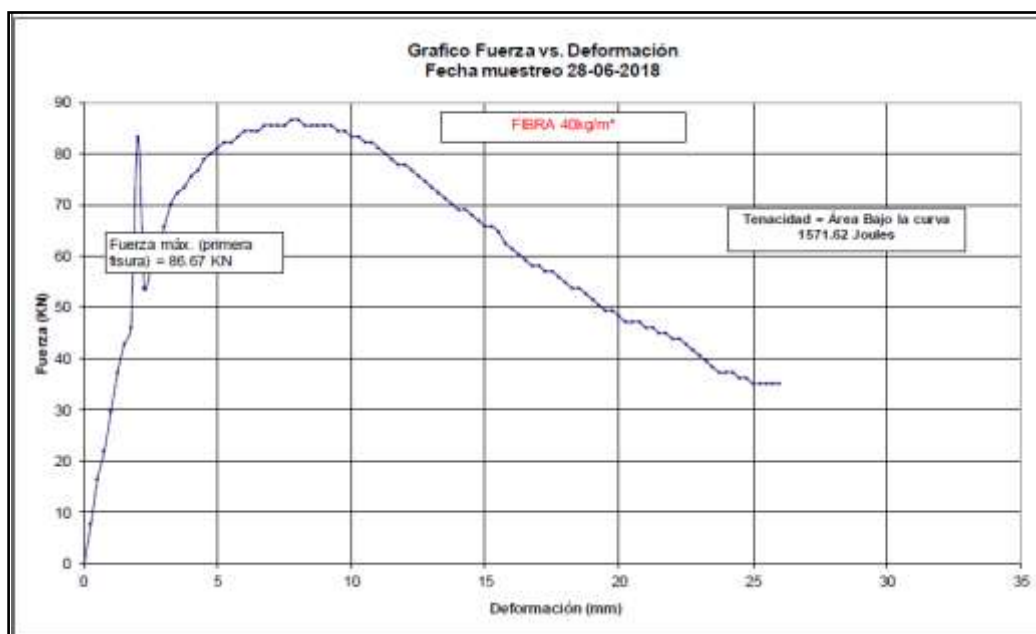


Figura 37. (Muestra-3) 40 kg/m<sup>3</sup> Fuerza vs. Deformación mm.

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

## Parámetros generales muestra-4

Durante la investigación se realizó las pruebas a la absorción de energía y esta con dosificación de  $20\text{kg/m}^3$  + malla electro soldada, presentación se tiene la muestra N° 4 tal como indica en la Tabla 21.

Tabla 21. *Datos del ensayo muestra-4*

<b>Número de Muestra:</b>	<b>Fecha de elaboración de especímenes:</b>	
	# 120 de febrero de 2018	
<b>Fibra empleada/Fabricante:</b>	<b>Fecha de salida de poza de curado:</b>	
SIKAFIBER LHO 45/35	-	
<b>Dosificación / F'c de diseño:</b>	<b>Fecha / edad de ensayo ( días):</b>	
20 kg/M <sup>3</sup> + malla	16 de marzo de 2018	26

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)  
 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)  
 2.03 Carga de falla (KN)  
 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)  
 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)  
 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)  
 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)  
 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)  
 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)  
 2.10 Tipo de falla observada

102.00 mm
- mm
71.31 KN
0.71 mm
1261.69 Joules
1138.81 Joules
886.47 Joules
537.86 Joules
80.23 Joules
6 Fisuras Radiales

Fuente. *Laboratorio de concreto Volcan*

En la muestra N° 4 la curva muestra la deformación bajo la variación de la fuerza en kN aplicada al Shotcrete y el área delimitada por esta curva representa la capacidad de absorción de energía en Joules, tal como muestra en la Figura 38.

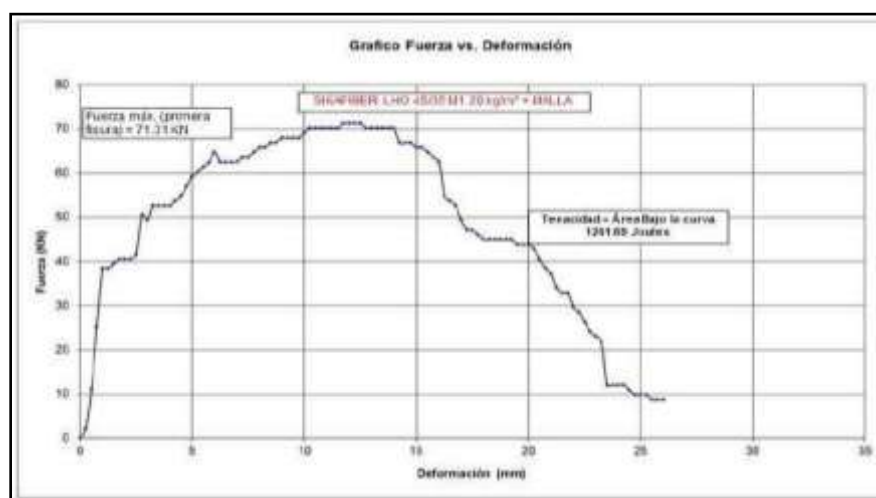


Figura 38. (Muestra-4) Malla, Fuerza vs. Deformación mm

Fuente. *Laboratorio de concreto Volcan*

## Parámetros generales muestra-5

Durante la investigación se realizó las pruebas a la absorción de energía y esta con dosificación de 20kg/m<sup>3</sup> + malla electro soldada, presentación se tiene la muestra N° 5 tal como indica en la Tabla 22.

Tabla 22. Datos del ensayo muestra-5

<b>Número de Muestra:</b>	<b>Fecha de elaboración de especímenes:</b>	
# 2	20 de febrero de 2018	
<b>Fibra empleada/Fabricante:</b>	<b>Fecha de salida de poza de curado:</b>	
SIKAFIBER LHO 45/35	-	
<b>Dosificación / F'c de diseño:</b>	<b>Fecha / edad de ensayo ( días):</b>	
20 kg/M <sup>3</sup> + malla	16 de marzo de 2018	26

- 2.01 Espesor Promedio de la muestra (mm)  
 2.02 Diámetro promedio de la muestra (mm)  
 2.03 Carga de falla (KN)  
 2.04 Deflexión de fisuración del concreto (mm)  
 2.05 Energía Absorbida en (Joules) (d=25mm)  
 2.06 Energía Absorbida en (Joules) (d=20mm)  
 2.07 Energía Absorbida en (Joules) (d=15mm)  
 2.08 Energía Absorbida en (Joules) (d=10mm)  
 2.09 Energía Absorbida en (Joules) (Hasta Máx. Carga)

102.00 mm
- mm
92.16 KN
0.71 mm
1432.01 Joules
1279.24 Joules
1047.20 Joules
668.14 Joules
97.56 Joules
11 Fisuras Radiales

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

En la muestra N° 5 la curva muestra la deformación bajo la variación de la fuerza en kN aplicada al Shotcrete y el área delimitada por esta curva representa la capacidad de absorción de energía en Joules, tal como muestra en la Figura 39.

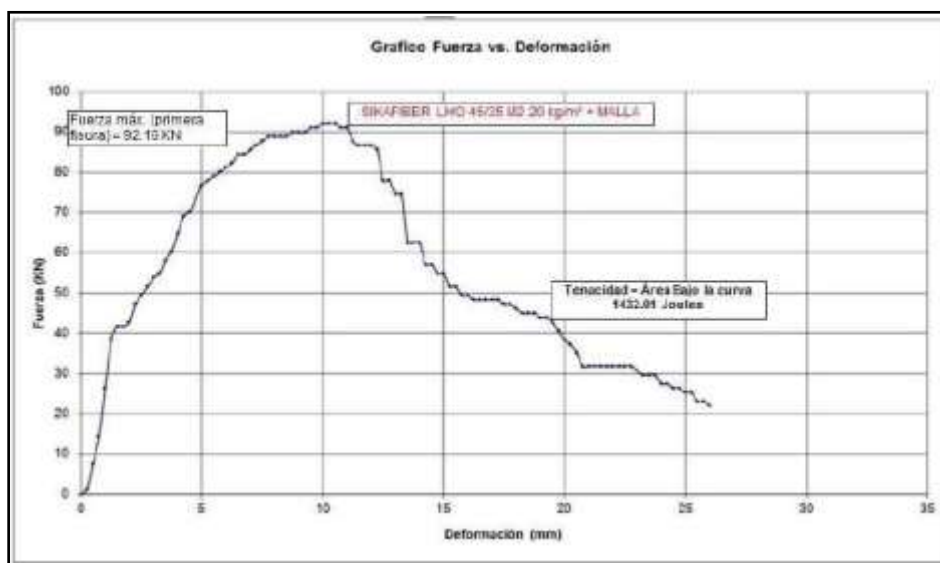


Figura 39. (Muestra-5) Malla Fuerza vs. Deformación mm

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan



En la Tabla 23 en cada panel, se tiene los resultados de energía absorbida, Fuerza Máxima (kN) con el tipo de falla observada.

Tabla 23. Resumen de muestra d los ensayos

Código	Energía Absorbida	Fuerza Máxima	Tipo de Falla
Muestra 1	1471.24 Joules	86.67 KN	5 fisuras radiales
Muestra 2	1458.34 Joules	83.38 KN	6 fisuras radiales
Muestra 3	1561.72 Joules	86.67 KN	6 fisuras radiales
Muestra 4	1261.69 Joules	71.31 KN	6 fisuras radiales
Muestra 5	1432.01 Joules	92.16 KN	11 fisuras radiales

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

“The square panel test, also called the EFNARC panel test, is simulating at a laboratory scale the structural behavior of the system concrete under flexural and shear load.”, (De rivas, 2015, pág. 4)

### **Modelamiento Geomecanico de una excavación**

Se realiza el modelamiento geomecanico teniendo dos escenarios de excavaciones, el escenario 1 se tiene una excavación con un sostenimiento estructural el cual se emplea (Primera capa Shotcrete 2”+Malla+Perno+Segunda capa Shotcrete 1”/Malla), en el escenario 2 se tiene una excavación con el sostenimiento nuevo (Shotcrete con 40 kg/m<sup>3</sup> de 2”+Perno) tal como muestra en la Figura 40.

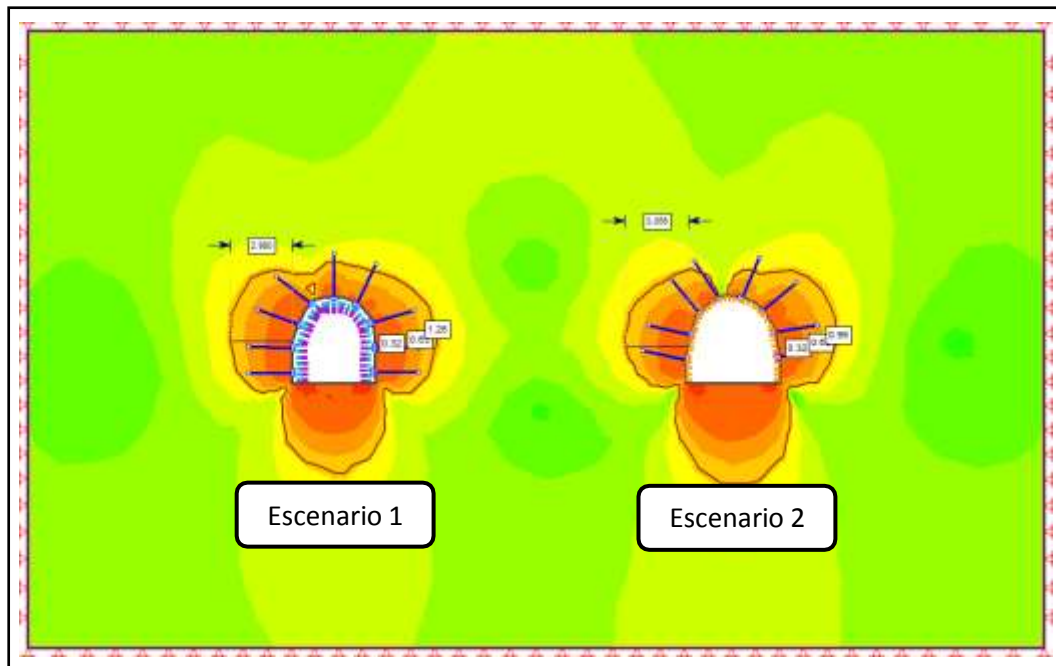


Figura 40. Modelamiento de sostenimiento zona plástica

Fuente. Software RS2

De acuerdo al modelamiento del sostenimiento en el escenario 1 se tiene el tipo de sostenimiento estructural donde realizando el análisis computacional se tiene zona plástica del macizo rocoso que afecta hasta 2.99 m. por lo que en la última zona de plástica nos muestra un factor de seguridad de 1.26

De acuerdo al modelamiento del sostenimiento en el escenario 2 se tiene el tipo de sostenimiento Shotcrete con  $40 \text{ kg/m}^3$  donde realizando el análisis computacional se tiene zona plástica del macizo rocoso que afecta hasta 3.05 m. por lo que en la última zona de plástica nos muestra un factor de seguridad de 0.95

Realizando un comparativo entre ambos tipos de sostenimiento la diferencia es por un valor mínimo en cuanto al análisis computación, por lo que de acuerdo al costo es viable el sostenimiento con shotcrete con  $40 \text{ kg/m}^3$ , así mismo hay que considerar que dicho sostenimiento es para excavaciones temporales menor a 6 meses

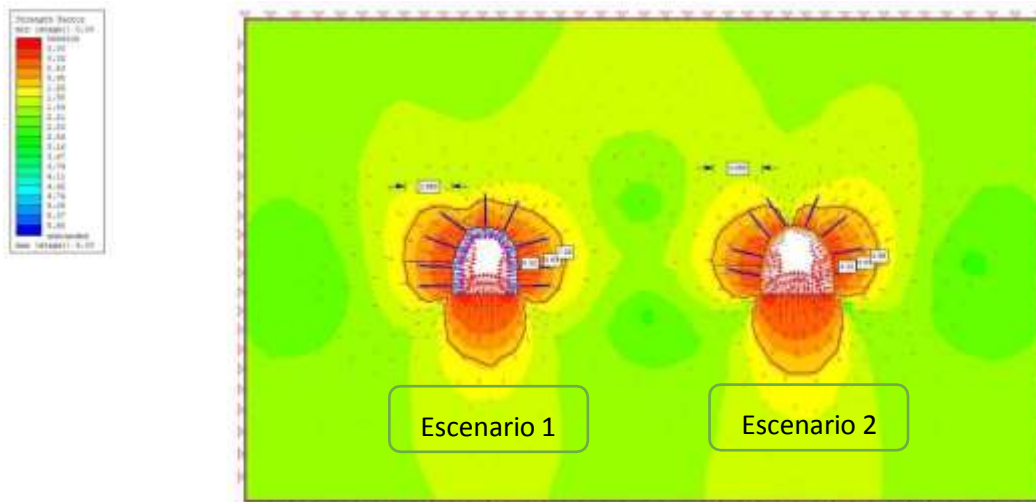


Figura 41. Modelamiento de sostenimiento esfuerzos

Fuente. Software RS2

En la Figura 41 se visualiza la concentración de esfuerzos que se presentan en ambos escenarios, por lo que de acuerdo al análisis computacional realizado en el software RS2 en el escenario 2 hay mayor concentración de esfuerzos en los pisos y hastiales, el desplazamiento como máximo será de 6 mm.

### Contrastación de hipótesis

Prueba de hipótesis con el estadístico t: teniendo en cuenta el valor P y T

Se realizaron los mapeos geomecánicos con los formatos RMR d determinar un valor a la roca y tener en cuenta que calidad de roca es dichas evaluaciones fueron realizada en 3 labores excavadas para determinar la calidad de roca tal como se observa en la tabla N° 14, la calidad de roca del tipo IV – A se encuentra en un rango de valores RMR de 31 a 40.

Formulación de hipótesis

$H_0 \mu = 30$  El concreto lanzado no optimizará el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea.

$H_{a1} \mu > 30$  El concreto lanzado optimizará el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea.

Considerar para el contraste de hipótesis utilizando el valor de P, si:

Valor P > Nivel de significancia → Se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

Valor P < Nivel de significancia → Se rechaza la H<sub>0</sub> y se acepta la H<sub>a</sub>

Calculando la media

$$\bar{x} = \frac{\sum(n_1+n_2...+n_n)}{N} = \frac{38+36+36}{3} = 36.66$$

Calculando la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{2.666}{3 - 1}} = 1.155$$

Descripciones estadísticas

Estadísticas descriptivas				
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
3	36.667	1.155	0.667	34.720

Figura 42. Estadísticas descriptivas de H1 Calidad de roca

Fuente. Software Minitab 18

Calculando el valor de T

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{36.66 - 30}{\frac{1.155}{\sqrt{3}}} = 9.98$$

Prueba de hipótesis

Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : μ = 30
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : μ > 30
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
10.00	0.005

Figura 43. Prueba de hipótesis H<sub>a1</sub> Calidad d roca

Fuente. Software Minitab 18

Considerando el nivel de confianza de 95%, nivel de significancia del 5% y una media hipotética de 36.66. Se calcula la media, desviación estándar y valor de t obteniendo como resumen la Figura 42 de estadísticas descriptivas, Figura 43 de prueba de hipótesis y Figura 44 de interpretación de prueba de t de Student.

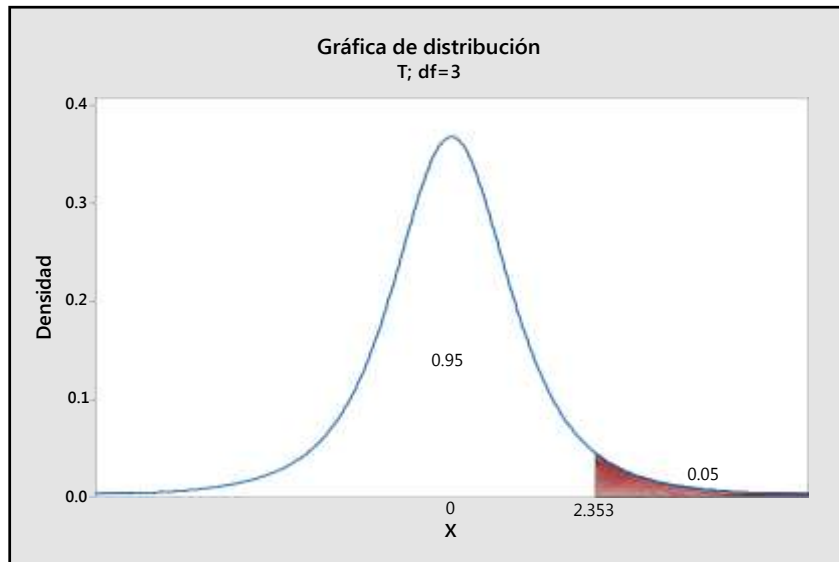


Figura 44. t de student para calidad de roca

Fuente. Software Minitab 18

### Discusión y conclusión

El estadístico  $t = 10.00$  con respecto a la calidad de roca después de realizar una evaluación con el formato RMR donde nos determina la calidad de roca de una excavación minera, por lo cual se encuentra en la región de rechazo, esto nos indica que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, el valor obtenido de  $P=0.005$ , realizando una comparación con el nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , este valor de  $P$  obtenido es menor al valor de significancia por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Con este resultado concluimos que la calidad de roca de tipo IV – A que se encuentra en un valor  $\geq 31$  el lanzado del concreto optimizará el sostenimiento en una excavación minera.

Se realizó el resumen de los de 3 ensayos de paneles y esta como resultado de promedio en carga de 58 KN y una absorción de energía de 1500.40 joules tal como muestra en la Tabla 24, así mismo se realizó el gráfico de evolución de las muestras tal como se ve en la Figura 45.

Tabla 24. Resumen ensayos de paneles



RESUMEN ENSAYOS EN PANELES CUADRADOS DE YAULI													
Fecha lanzado	Fecha ensayo	Edad de ensayo	Tipo de Fibra	Unidades	Dosificación Kg/m <sup>3</sup>	M-1		M-2		M-3		PROMEDIO	
						Carga KN	Energía Joules	Carga KN	Energía Joules	Carga KN	Energía Joules	Carga KN	Energía Joules
28/06/2018	26/07/2018	28	metálica	3	40	86.67	1471.24	83.38	1458.34	86.67	1571.62	85.57	1500.40

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

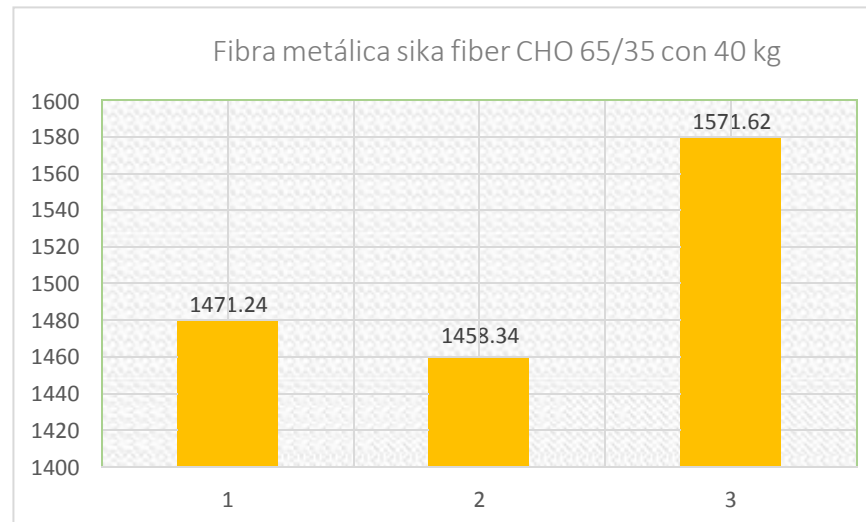



Figura 45. Ensayo de 3 muestras a la flexotracción

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Es necesario conocer la resistencia a la compresión de nuestro concreto lanzado, para ellos se realizó 3 pruebas en 3 días, 7 días y 28 días, tal como muestra en la Tabla 25

Tabla 25. Resultado a la compresión

 <b>DISEÑO DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA <math>f_c</math> 300 kg/cm<sup>2</sup></b> <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS 4 X 8_fibra metálica 40kg/m<sup>3</sup> A S T M C 39</b>																			
Cod. Diseño	Zona / Labor	Fecha Muestreo	Fecha Rotura	Edad Días	Edad Días	Edad Días	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg) 03 Días	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) 03 Días	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) 03 Días	Carga (kg) 07 Días	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) 07 Días	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) 07 Días	Carga (kg) 28 Días	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 Días	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) 28 Días	Shotcrete Estandar
1300SHCFM40	SN_79_4E	25/11/2018	28/11/2018	3	7	28	20.2	10.1	80	28431	355	338	35441	443	451	48412	605	615	Shotcrete Fibra Metálica 40 kg
1300SHCFM40	AC_SP5_2E		2/12/2018				20.2	10.1	80	26116	326		36209	453		51080	639		
1300SHCFM40	SN_67_1E		23/12/2018				20.2	10.1	80	26603	333		36503	456		48136	602		

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Se realizó el grafico del desarrollo de las resistencias en edades 3, 7 y 28 días se evidencia la evolución hasta un 175% al final de acabo de 28 días tal como muestra en la Figura 46

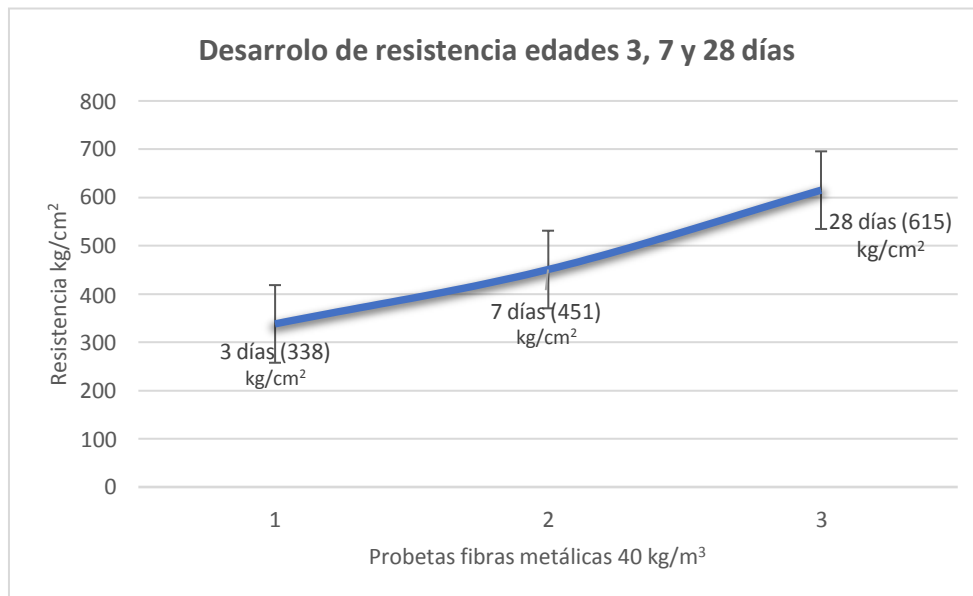


Figura 46. Evolución de resistencia

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

### Contrastación de hipótesis

Prueba de hipótesis con el estadístico t: teniendo en cuenta el valor P y T

Considerando un diseño de concreto utilizando fibras metálicas, las adiciones de estas fibras metálicas tiene como propósito mejorar las propiedades del concreto tales como ductilidad, tenacidad, resistencia a la flexión y resistencia al impacto, así mismo pueden incrementar ligeramente la resistencia a la compresión.

El valor de absorción de energía medido en un panel cumpliendo la norma europea se puede establecer cuando se enfatiza la cantidad de energía que ha de absorberse durante la deformación del macizo rocoso. La finalidad de usar fibras metálicas como refuerzo del concreto es mantener la resistencia a la flexo tracción del concreto, es decir, que el concreto resista esfuerzos de flexo tracción en cualquier punto de la capa de concreto, en toda la sección donde se realizó el lanzamiento de la zona excavada, para ello. Se realizó el ensayo de 3 muestras para verificar la resistencia a la flexotracción, tal como se observa en la Tabla 24 esto teniendo en cuenta las pruebas de los paneles, están incluidas en la Norma Europea EN 14487 para el concreto lanzado.

Es necesario resaltar que el panel que se utiliza (600 x 600 x 100 mm), de acuerdo a la EN 14488-5, está diseñado para determinar la energía absorbida en la curva de carga-deformación.



Formulación de hipótesis:

$H_0 \mu < 1000$  Joules      Una dosificación con fibras de acero no aumentaría la resistencia a la absorción de energía y tenacidad aplicando el concreto lanzado

$H_{a1} \mu \geq 1000$  Joules      Una dosificación con fibras de acero aumentaría la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado

Considerar para el contraste de hipótesis utilizando el valor de P, si:

Valor P > Nivel de significancia → Se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

Valor P < Nivel de significancia → Se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

Calculando la media

$$\bar{x} = \frac{\Sigma(n_1+n_2+\dots+n_n)}{N} = \frac{1471.24+1458.34+1571.62}{3} = 1500.40$$

Calculando la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{7691.64}{3 - 1}} = 62.02$$

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desy.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
3	1500.4	62.0	35.8	1395.9

Figura 47. Estadísticas descriptivas de H1 Resistencia flexotracción

Fuente. Software Minitab 18

Calculando el valor de T

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{1500.4 - 1000}{\frac{62.02}{\sqrt{3}}} = 13.98$$

## Prueba de hipótesis

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 1000$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 1000$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
13.98	0.003

Figura 48. Prueba de hipótesis  $H_{a1}$  Resistencia a la flexotracción

Fuente. Software Minitab 18

Considerando el nivel de confianza de 95%, nivel de significancia del 5% y una media hipotética de 1500.4 joules. Se calcula la media, desviación estándar y valor de t obteniendo como resumen la Figura 47 de estadísticas descriptivas, Figura 48 de prueba de hipótesis y Figura 49 de interpretación de prueba de t de Student.

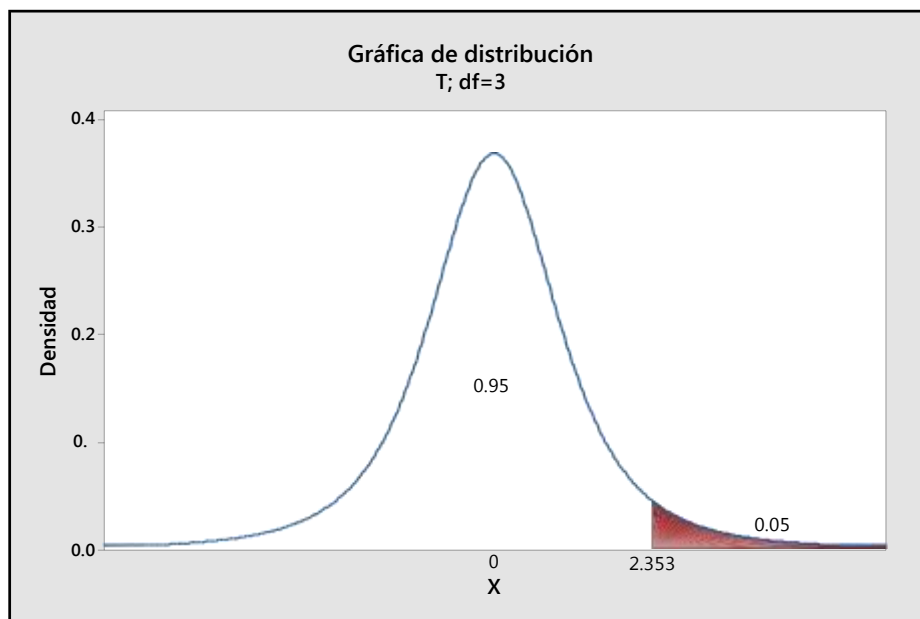


Figura 49. t de student para resistencia a flexióntracción

Fuente. Software Minitab 18

## Discusión y conclusión:

El estadístico  $t = 13.98$  respecto al ensayo ante la exposición a la flexotracción se encuentra en la región de rechazo lo cual indica que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Así mismo obteniendo el valor de P

=0.003 mediante tablas se observa que es menor al nivel de significancia  $\alpha=0.05$  por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

El concreto fue preparado en la Planta de concreto Betonmac de la mina “San Cristóbal” y transportado por equipos de bajo perfil mixer de 4 m<sup>3</sup> de la E.E. Robocon S.A. con un tiempo de alrededor de 2 horas con 10 min. a interior mina, donde se realiza el lanzamiento de los paneles para obtenerlas durante el proceso de lanzamiento del mismo frente, bajo condiciones normales de ventilación, temperatura ambiente, presión de aire, etc.

Los paneles donde se realizó el lanzamiento tenía la dosificación de fibra de 40 kg/m<sup>3</sup> y otra con malla electro soldada, como se observa en la Tabla 26. Además, para ambos casos, se obtuvo una relación de agua cemento de 0.41.

Tabla 26. Resultado a la compresión

Fecha	Código	Número	Tipo de Fibra	Cantidad de Fibra
15/02/2018	Muestra 1	# 1	Fibra Metálica 65/35	40 kg
15/02/2018	Muestra 2	# 2	Fibra Metálica 65/35	40 kg
15/02/2018	Muestra 3	# 1	Fibra Metálica 65/35	40 kg
20/02/2018	Muestra 4	# 1	Fibra Metálica 45/35	20 kg + Malla Electro soldada
20/02/2018	Muestra 5	# 2	Fibra Metálica 45/35	20 kg + Malla Electro soldada

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Se tomaron 5 paneles de madera con moldes cuadrados de dimensiones 600 mm de ancho x 600 mm de largo x 100 mm de espesor, de acuerdo a la Norma EFNARC, tres con la dosificación de fibras (40kg/m<sup>3</sup>) y dos con el diseño de sostenimiento estructural (shotcrete - malla – shotcrete) tal como muestra en las figuras 50 y 51.



Figura 50. Preparación de paneles

Fuente. Elaboración propia



*Figura 51.* Paneles con malla de sostenimiento estructural

*Fuente.* Elaboración propia

Tiempo de haber transcurrido un promedio de un mes desde la obtención de los paneles, dichos paneles fueron ensayados en el Equipo de Estructuras Antisísmicas del Laboratorio de Concreto de la mina Andaychagua, tal como muestra en las figuras 52 y 53, el tipo de ensayo que se realizó es el ensayo de capacidad de absorción de energía, que permite evaluar la capacidad de tenacidad de malla electro soldada y fibras. Se realiza este tipo de ensayo teniendo en cuenta la Norma Europea EFNARC. Estos ensayos se centran en el estudio de la tenacidad y la flexotracción de las mallas y fibras, lo que quiere decir, la capacidad de absorción de energía después de la fisuración del concreto.

Los ensayos se realizaron a cabo de acuerdo al procedimiento estándar especificado en la Norma Europea EN 14488-5.



*Figura 52.* Ensayo a la absorción de energía  
*Fuente.* Laboratorio planta de concreto Andaychagua



*Figura 53.* Paneles antes y después del ensayo  
*Fuente.* Laboratorio planta de concreto Andaychagua

## Análisis económico

En esta parte se realizará el análisis de los precios unitarios, costos de suministros, servicio de transporte e instalación de sostenimiento con concreto lanzado; para ellos se hará un comparativo de los dos tipos de sostenimiento una con dosificación de fibra metálica de 40kg/cm<sup>3</sup> y otra con dosificación de 20kg/cm<sup>3</sup> + malla, para determinar el ahorro que se va generar.

Tabla 27. Costo de los materiales 20kg/m<sup>3</sup>

Materiales	Unidad	Cantidad	\$/Unidad	\$/m <sup>3</sup>
Cemento andino tipo I	kg	400	0.116	46.4
Agregados	kg	1675	0.011	18.4
Aditivo estabilizador delvo	L	1.25	1.160	1.45
Aditivo superplastificante glenium TC1300	L	3.2	3.180	10.2
Fibra de acero sika LHO 45/35 NB	kg	20	1.353	27.1
Aditivo acelerante master rock 160	L	23	1.321	30.4
Agua	L	160	0.000	0.0
<b>Total</b>				<b>133.89</b>

Fuente. *Elaboración propia*

En la Tabla 27 se tiene la lista de los materiales a usar al momento de realizar la preparación del concreto en m<sup>3</sup> dichos materiales están con sus respectivas unidades, el costo es metro cúbico que es de 133.89 dólares.

Tabla 28. Costo de los materiales 40kg/m<sup>3</sup>

Materiales	Unidad	Cantidad	\$/Unidad	\$/m <sup>3</sup>
Cemento andino tipo I	kg	400	0.116	46.4
Agregados	kg	1672	0.011	18.4
Aditivo estabilizador delvo	L	1.25	1.160	1.45
Aditivo superplastificante glenium TC1300	L	3.5	3.180	11.1
Fibra de acero sika LHO 45/35 NB	kg	40	1.353	54.1
Aditivo acelerante master rock 160	L	23	1.321	30.4
Agua	L	160	0.000	0.0
<b>Total</b>				<b>161.88</b>

Fuente. *Elaboración propia*

En la Tabla 28 se tiene la lista de los materiales a usar al momento de realizar la preparación del concreto en m<sup>3</sup> con un incremento de fibra de 40kg/m<sup>3</sup>, dichos materiales están con sus respectivas unidades, el costo es metro cúbico que es de 160.95 dólares.

Tal como se observar en las tablas de costos de los materiales, el costo de producción de un metro cúbico con una dosificación de concreto  $40\text{kg}/\text{m}^3$ , superior al del concreto de diseño anterior  $20\text{kg}/\text{m}^3$ ; la diferencia de costos de producción de un metro cúbico de concreto es \$ 27.98, esto es debido al incremento de la cantidad de fibras de acero y aditivo súper plastificante, se disminuyó la cantidad de agregados en una cantidad mínima en el nuevo diseño de concreto

Se tiene un promedio de 27 % del total de las excavaciones que se instalará el sostenimiento de concreto con  $40\text{kg}/\text{m}^3$  de fibra metálica en lugar del Sostenimiento Estructural, el mismo que representa un costo de producción adicional de \$ 27.98; se tiene una producción mensual promedio es de  $4500\text{ m}^3$ , de los cuales  $1215\text{ m}^3$  serán con concreto de  $40\text{kg}/\text{m}^3$ , se estimó \$ 33 995.7 de inversión adicional mensual y \$ 407 948.4 anual en fibra de metálico y aditivo súper plastificante.

Tabla 29. Comparación de costos con ambos sostenimientos

ESCENARIO REAL						ESCENARIO ASUMIDO					
Sostenimiento Shotcrete 2" con 40 kg/m <sup>3</sup>						Sostenimiento: Shotcrete - Malla - Shotcrete (sostenimiento estructural)					
Shotcrete	Fecha	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo de materiales (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo de Servicio de Transporte y Lanzado (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo Shotcrete (U\$)	Shotcrete	Fecha	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo de materiales (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo de Servicio de Transporte y Lanzado (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo Shotcrete (U\$)
Única capa 2" de shotcrete 40kg/m <sup>3</sup>	26/02/2019	4.0	161.88	116.7	1114.32	Primera capa 2" de shotcrete 20kg/m <sup>3</sup>	26/02/2019	2.7	133.89	116.7	676.593
		4.0			1114.32	Segunda capa 1"	26/02/2019	1.3	133.89	116.7	325.767
								4.0			1002.36
Shotcrete	Fecha	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo de materiales (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo de Servicio de Transporte y Lanzado (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo Shotcrete (U\$)	Shotcrete	Fecha	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Costo de materiales (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo de Servicio de Transporte y Lanzado (U\$/m <sup>3</sup> )	Costo Shotcrete (U\$)
Pernos Hydrabolt (und)	26/02/2019	14.0	10.4	21.2	442.4	Pernos Hydrabolt (und)	26/02/2019	24.0	10.4	21.2	758.4
		14.0			442.4	Malla electro soldada (m <sup>2</sup> )	26/02/2019	24.0	5.0	11.3	391.2
											1149.6
# Disparos	1	Producción (ton)			151.67	# Disparos	1	Producción (ton)			151.67
Costo de sostenimiento utilizado concreto con 40kg/m <sup>3</sup> (U\$/disparo)					1556.72	Costo de sostenimiento utilizado el sostenimiento estructural (U\$/disparo)					2151.96
Costo de sostenimiento utilizado concreto con 40kg/m <sup>3</sup> (U\$/m <sup>3</sup> )					389.18	Costo de sostenimiento utilizado sostenimiento estructural (U\$/m <sup>3</sup> )					537.99
<b>BENEFICIOS</b>											
Ahorro (U\$/Disparo)								595.24			
Ahorro (U\$/m <sup>3</sup> )								148.81			

Fuente. *Elaboración propia*



Tal como muestra la Tabla 29 se tiene el comparativo de dos escenarios, uno ejecutado y otro asumido, esta tabla muestra un comparativo de costos generados al utilizar el concreto con  $40 \text{ kg/m}^3$  y el sostenimiento estructural; el primero escenario fue obtenido con los datos reales de campo (dimensiones de la labor, cantidad de pernos instalados) y con la información de costos de suministros y servicios de sostenimiento actualizados; en el otro escenario se tiene información asumida los datos son anteriores y reales con los elementos de sostenimiento a usar (cantidad pernos Hydrabolt y malla electro soldada), que refleja la manera como se realizó la instalación del sostenimiento estructural antes de la implementación del concreto  $40 \text{ kg/m}^3$ .

En el SN\_67\_2E x AC\_67\_2E, donde se instaló el concreto con  $40 \text{ kg/m}^3$  como sostenimiento, para ello se realizó un comparativo, se tomó las dimensiones de la excavación que son 3.80 m de ancho, 4.00 m de alto y 3.10 m de avance, teniendo un traslape de 0.50 m. En la tabla 29 se tiene el costo de los materiales que se utilizó para la preparación del concreto con  $40 \text{ kg/m}^3$  versus un metro cúbico de concreto para el sostenimiento estructural, ambos realizada con sostenimiento con pernos Hydrabolt, así mismo se considera el costo del servicio de instalación de los elementos de sostenimiento; esto por un tramo generado por el disparo. El costo de producción e instalación de sostenimiento con concreto de  $40 \text{ kg/m}^3$ , en el tramo de disparo, es \$ 1 556.72; y por otro parte el costo de producción e instalación del Sostenimiento Estructural es \$ 2 151.96. Por lo tanto, el costo de producción e instalación de sostenimiento utilizando con concreto de  $40 \text{ kg/m}^3$  por cada metro cúbico de concreto y colocado en la labor minera es \$ 389.18, mientras que el costo de producción e instalación del sostenimiento estructural es \$ 537.99.

La optimización de costos por utilizar con el concreto con  $40 \text{ kg/m}^3$ , en lugar del sostenimiento estructural es \$ 595.24 por disparo, \$ 148.81 por cada metro cúbico de concreto preparado en la Planta de Concreto Bentonmac.

### **Contrastación de hipótesis**

Prueba de hipótesis con el estadístico t: teniendo en cuenta el valor P y T

Se realizaron los ensayos granulométricos al agregado tal como muestra en la Figura 54, de la cantera pachachaca para tener en cuenta la granulometría si es el óptimo o no para el sostenimiento con concreto lanzado, dichos ensayos

granulométricos es realizado de acuerdo a la norma ASTM – 136, estos fueron ensayados en el laboratorio de la planta de concreto Betonmac, se realizaron 6 muestras del agregado en diferentes días tal como muestra en el resumen de la Tabla 30, de acuerdo a la norma ASTM C 33 se recomienda tener % de malla pasante < 5% ya que si supera este limite altera a la relación agua cemento, como también se tiene problemas de fragua y causa segregación en el concreto.



Figura 54. Ensayo granulométrico

Fuente. Elaboración propia

Tabla 30. Resumen % malla pasante 200

<b>RESUMEN % MALLA PASANTE 200</b>		
<b>AGREGADO CANTERA PACHACHACA</b>		
<b>DOCUMENTOS</b>	<b>Fecha de ensayo</b>	<b>% de pasante malla 200</b>
GPC-LA-R-003 Analisis Granulométrico y Malla 200	20/01/2019	5.4
GPC-LA-R-003 Analisis Granulométrico y Malla 200	31/01/2019	2.6
GPC-LA-R-003 Analisis Granulométrico y Malla 200	2/02/2019	4.9
GPC-LA-R-003 Analisis Granulométrico y Malla 200	4/02/2019	3.7
GPC-LA-R-003 Analisis Granulométrico y Malla 200	6/02/2019	2.1
GPC-LA-R-003 Analisis Granulométrico y Malla 200	9/02/2019	2.9
		3.6

Fuente. Elaboración propia

### Formulación de hipótesis

$H_0 \mu \geq 5\%$  Una granulometría media no elevará la adherencia entre partículas aplicando el concreto lanzado

$H_{a1} \mu < 5\%$  Una granulometría media elevará la adherencia entre partículas aplicando el concreto lanzado

Considerar para el contraste de hipótesis utilizando el valor de P, si:

Valor P > Nivel de significancia → Se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

Valor P < Nivel de significancia → Se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

Calculando la media

$$\bar{x} = \frac{\Sigma(n_1+n_2+\dots+n_n)}{N} = \frac{5.4+2.6+4.9+3.7+2.1+2.9}{6} = 3.6$$

Calculando la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{8.68}{6 - 1}} = 1.318$$

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desy.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para $\mu$
6	3.600	1.318	0.538	4.684

Figura 55. Estadística descriptiva  $H_1$  % malla 200

Fuente. Software Minitab 18

Calculando el valor de T

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{3.6 - 5}{\frac{1.318}{\sqrt{6}}} = -2.60$$

## Prueba de hipótesis

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 5$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 5$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
-2.60	0.024

Figura 56. Prueba de hipótesis  $H_{a1}$  % malla 200

Fuente. Software Minitab 18

Considerando el nivel de confianza de 95%, nivel de significancia del 5% y una media hipotética de 3.6. Se calcula la media, desviación estándar y valor de t obteniendo como resumen la Figura 55 de estadísticas descriptivas, Figura 56 de prueba de hipótesis y Figura 57 interpretación de probabilidad de prueba de t de Student.

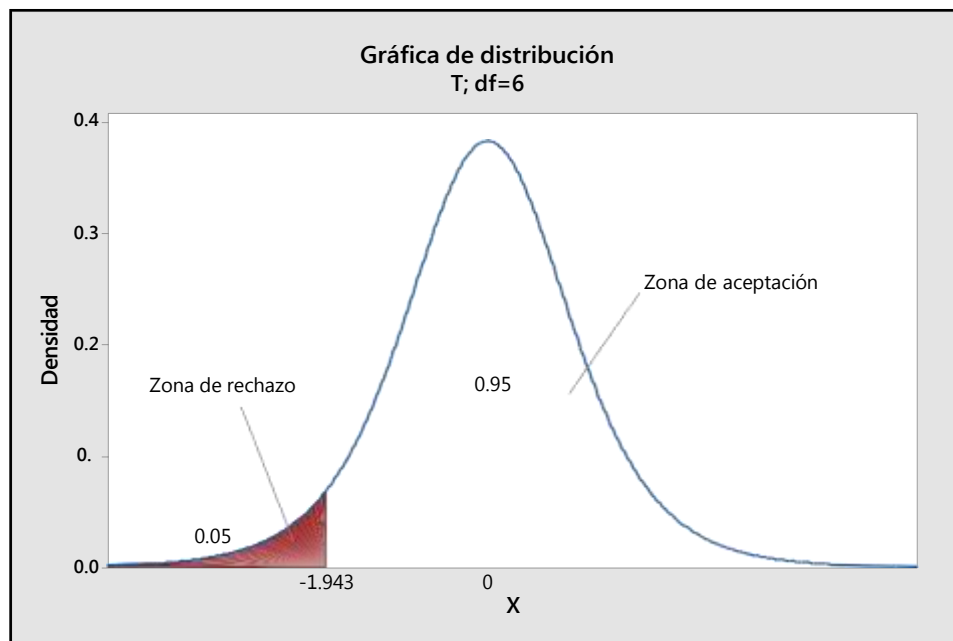


Figura 57. t de student para % malla 200

Fuente. Software Minitab 18

## Discusión y conclusión:

El estadístico  $t = -2.60$  respecto al ensayo de la granulometría para % de finos de malla 200 se encuentra en la región de rechazo lo cual indica que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Así mismo obteniendo el valor

de  $P = 0.024$  mediante tablas se observa que es menor al nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

El ensayo de los agregados fue preparado en la Planta de concreto Betonmac de la unidad minera de San Cristóbal el cual se realizó 6 ensayos en diferentes fechas como también se realizó la curva granulométrica tal como muestra en la Figura 58, estos ensayos se tuvieron en cuenta la norma ASTM C33 que esto indica que la cantidad de finos pasante malla 200 debe ser como máximo 5.0%, es necesario tener en cuenta el porcentaje de finos del agregado que es proveniente de la cantera de pachachaca ya que si no cumple con lo requerido tendremos deficiencia en la preparación de un buen concreto para realizar el lanzado ya que esto afecta como a la relación agua cemento, tiempo de fraguado del concreto y deficiencia en la adherencia del concreto a la superficie de la roca.

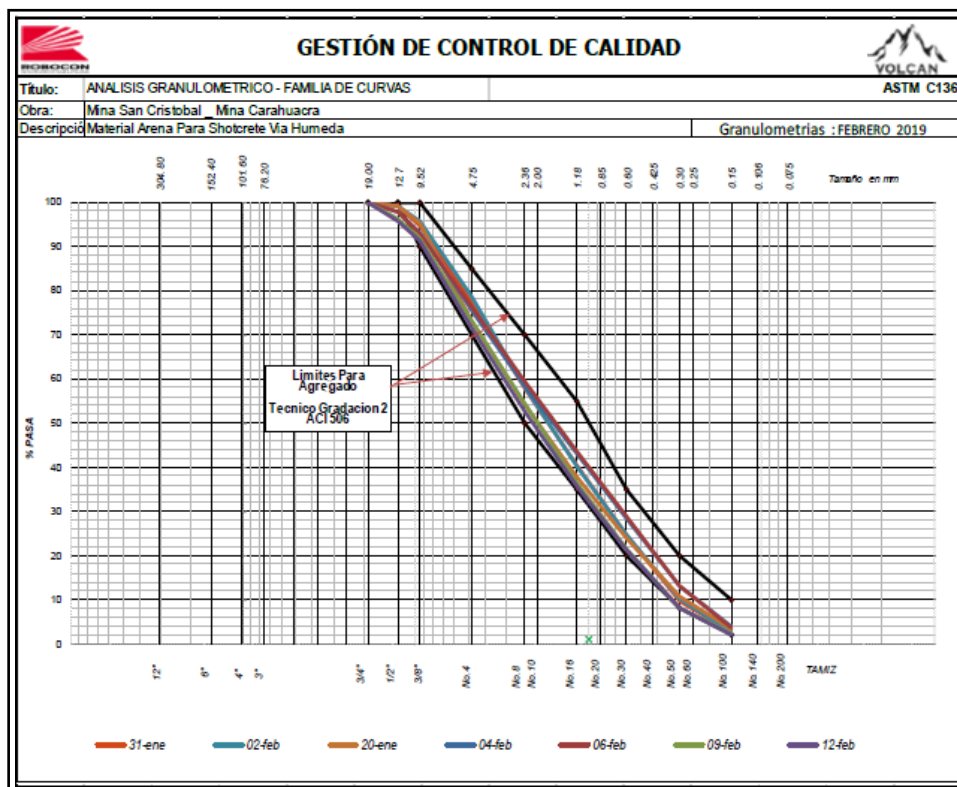


Figura 58. Ensayos curva granulométrica

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

## Contrastación de hipótesis

Prueba de hipótesis con el estadístico t: teniendo en cuenta el valor P y T

Se realizó el control de calidad del concreto en cuanto a la medición del Slump ya que es muy importante porque la distancia a ser lanzado un concreto en una excavación subterránea tiene un recorrido con mixer de bajo perfil con un promedio de 1 hora con 30 minutos, para realizar el lanzamiento de concreto en una excavación se tiene que tener un slump de 6" como máximo menor a ellos ya no es recomendado ya que con ese slump de como máximo hasta 6" tiene una buena trabajabilidad el concreto, se tiene que tener en cuenta la presión del aire el cual no debe ser  $<$  a 3 bares, así mismo con esos valores mencionados al realizar el lanzamiento del concreto en una excavación se tiene una buena adherencia en la superficie de la roca, se realizó el seguimiento del slump después de la preparación del concreto tal como muestra en la figura N° 59 y 60



Figura 59. Prueba de slump en superficie

Fuente. Elaboración propia.



*Figura 60. Prueba de slump 10 ½" en superficie*  
*Fuente. Elaboración propia.*

Llegando a mina en el SN\_67\_2E después de haber recorrido un tramo de 2 horas aproximadamente lugar donde se va realizar el lanzamiento del concreto se procedió a sacar la prueba del slump obteniendo un resultado de 6" tal como muestra en la figura N° 61 y 62 y esta apto para realizar el lanzamiento de concreto en una excavación.



*Figura 61. Prueba de slump en Mina*  
*Fuente. Propia*



Figura 62. Prueba de slump 6" en mina  
Fuente. Elaboración propia.

Se tomaron 04 muestras de prueba de slump de diferentes labores tal como muestra en la Tabla 31, la pruebas fueron tomadas antes de bajar a mina y después de bajar a mina, cuando se va realizar el lanzamiento del shotcrete esta prueba es importante por lo que se necesita saber la trabajabilidad del concreto que es lo óptimo para realizar un lanzamiento.

Tabla 31. Control de medición de slump

VOLCAN		CONTROL DE MEDICIÓN DE SLUMP					Registro	55
							Fecha	15/11/2020
MINA San Cristóbal								
Item	Labor	Referencia	Nivel	Cantidad	Sección	Promedio Slump Salida	10 1/8	
1	SN_67_2W	AC_67_2E	1270	3.8 m <sup>3</sup>	4.0 x 4.0 m.	Promedio Slump Llegada	6 3/4	
2	SN_67_1E	AC_67_1E	1270	3.6 m <sup>3</sup>	3.8 x 3.8 m.			
3	SN_79_4E	AC_79_4E	1270	4.0 m <sup>3</sup>	4.0 x 4.0 m.			
4	SN_653_3W	CA_01_653_3	1270	4.0 m <sup>3</sup>	3.8 x 3.8 m.			
Item	TIEMPO (Fraguado)	HORA Salida	Slump (pulgadas)	HORA Llegada	Slump (pulgadas)	Temperatura de concreto	Temperatura ambiente	Trabajabilidad de la Mezcla
1	2:45:00	8:50:00	10	11:35:00	6	16°	15°	Regular
2	2:00:00	11:40:00	10 1/2	13:40:00	7	17°	14°	Bueno
3	2:05:00	13:10:00	10	15:15:00	7	16.5°	14°	Bueno
4	2:12:00	14:05:00	10	16:17:00	7	16.5°	14°	Bueno

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan



Formulación de hipótesis

$H_0 \mu < 6''$

Un buen control de calidad no optimizará la colocación superficial aplicando el concreto lanzado.

$H_{a1} \mu > 6''$

Un buen control de calidad optimizará la colocación superficial aplicando el concreto lanzado.

Considerar para el contraste de hipótesis utilizando el valor de P, si:

Valor P > Nivel de significancia → Se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

Valor P < Nivel de significancia → Se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

Calculando la media

$$\bar{x} = \frac{\Sigma(n_1+n_2...+n_n)}{N} = \frac{6+7+7+7}{4} = 6.75$$

Calculando la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0.75}{4 - 1}} = 0.50$$

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
4	6.750	0.500	0.250	6.162

Figura 63. Estadística descriptiva  $H_1$  control de slump

Fuente. Software Minitab 18

Calculando el valor de T

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{6.75 - 6}{\frac{0.50}{\sqrt{4}}} = 3$$

## Prueba de hipótesis

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 6$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 6$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
3.00	0.029

Figura 64. Prueba de hipótesis control del slump

Fuente. Software Minitab 18

Considerando el nivel de confianza de 95%, nivel de significancia del 5% y una media hipotética de 6.76 Se calcula la media, desviación estándar y valor de t obteniendo como resumen la Figura 63 de estadísticas descriptivas, Figura 64 de prueba de hipótesis y Figura 65 interpretación de probabilidad de prueba de t de Student.

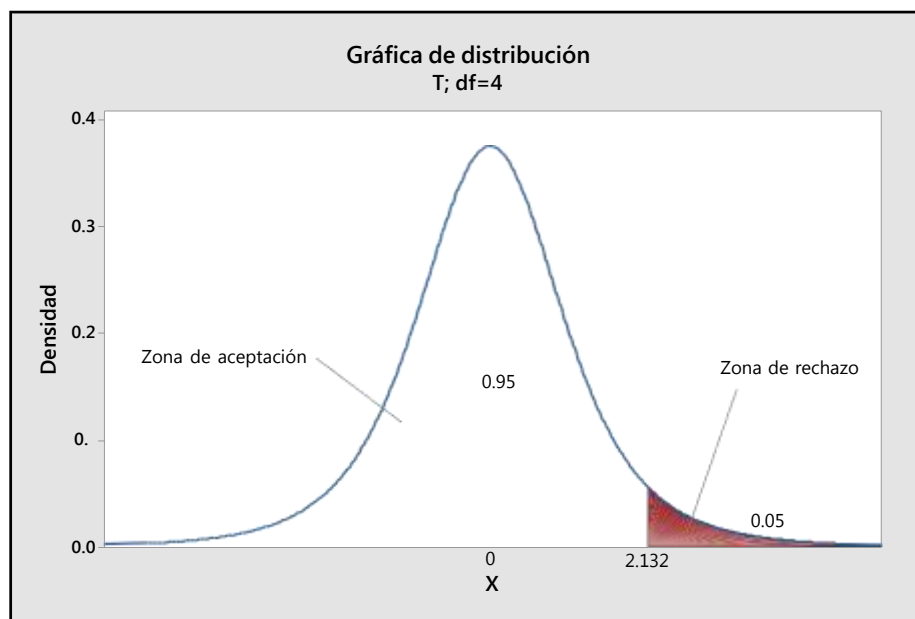


Figura 65. t de student control de slump

Fuente. Software Minitab 18

## Discusión y conclusión:

El estadístico  $t = 3.0$  respecto a la prueba de slump que se obtuvo de las diferentes labores, el slump que se está tomando en cuenta es en superficie y otra es en mina por realizar un recorrido con un promedio de 2 horas aproximadamente, la prueba

estadística que se realizó fue con el slump de interior mina el cual es importante realizar dicha prueba ya que ahí se realiza el lanzamiento del concreto en la zona excavada sobre la superficie de la roca. Dicho resultado estadístico se encuentra en la región de rechazo lo cual indica que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Así mismo obteniendo el valor de  $P = 0.029$  mediante tablas se observa que es menor al nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

En el ensayo de asentamiento de slump se tuvo en cuenta la norma ASTM C-143 es necesario realizar dicho ensayo antes de realizar el lanzamiento del concreto sobre una excavación.

## V. DISCUSIÓN

Primeramente, se realizó la **clasificación geomecánica RMR** (*Rock Mass Rating*) o también llamada de Bieniawski donde nos permite obtener un índice de calidad del macizo rocoso partir de resistencia de la roca intacta, obteniendo grado de fracturación y diaclasas de las discontinuidades del macizo, presencia de agua que se puede dar en la corona y hastiales de la excavación y la orientación de las discontinuidades respecto al elemento de estudio túnel. El índice RMR va desde 15 hasta 100 puntos rangos de los cuales el macizo rocoso puede clasificarse en 5 calidades de rocas, en la mina San Cristóbal toda evaluación geomecánica se realiza mediante el formato RMR de Bieniawski, se realizó la evaluación en 03 labores excavadas los cuales tienen roca tipo IV – A en un valor promedio de 36.

En cuanto al sostenimiento anteriormente para la calidad de roca de tipo IV – A se empleaba un sostenimiento estructural para ello se empleaba de la siguiente manera primera capa de shotcrete 2” con 20 kg fibra metálica por m<sup>3</sup> luego se procedía a colocar la malla electro soldada con pernos hydrabolt de 7’ y esta espaciada a 1.20 x 1.20 m. y por ultimo para cubrir la malla se realizaba la segunda capa de shotcrete 1” sobre la malla instalada, dicho sostenimiento se sometió al ensayo de absorción de energía teniendo en cuenta la Norma Europea EFNARC y como resultado 1431.01 joules.

Por otro lado en el presente trabajo de investigación se realizó el concreto lanzado con 40 kg/m<sup>3</sup>, se sometió al ensayo de absorción de energía y esta dando como resultado a 1500.1 joules superando al sostenimiento anterior; por ellos el sostenimiento actual de una excavación para una calidad de roca de tipo IV – A sería de la siguiente manera: shotcrete 2” y luego instalar pernos con espaciamiento a 1.20 x 1.20 m. se realizó un análisis en costos de sostenimientos en una excavación minera, con el actual sostenimiento se estaría reduciendo la malla y la segunda capa de shotcrete que es a 1”; por cada disparo que representa un avance de 3.0 metros en promedio se tiene un ahorro de \$ 595.24 por disparo, \$ 148.81 por cada metro cúbico de concreto preparado en la Planta de Concreto Bentonmac de la unidad minera San Cristóbal.

En tanto es importante tener el control de calidad del concreto tanto en los insumos como el agregado y en la consistencia del concreto, para tener una buena trabajabilidad y realizar el lanzado shotcrete y obtener buenos resultados en cuanto a un sostenimiento.

## VI. CONCLUSIONES

Para optimizar el sostenimiento en cuanto al costo de operación de la mina San Cristóbal está teniendo como objetivo general, se realizó un nuevo sostenimiento teniendo en cuenta la calidad de roca que se tiene por lo tanto se realizaron ensayos en laboratorio al sostenimiento anterior y al sostenimiento actual, llegando a las siguientes conclusiones:

Ambos sostenimientos fueron sometidos a ensayos a la absorción de energía a los 28 días cumpliendo con los curados respectivos, se muestran los resultados:

Sostenimiento estructural shotcrete con  $20 \text{ kg/m}^3$  de fibra metálica + malla esta llegando un resultado de absorción de energía 1431.01 joules.

Sostenimiento shotcrete con  $40 \text{ kg/m}^3$  esta llegando un resultado a la absorción de energía de 1500.1 joules superando al sostenimiento estructural.

En ocasiones el agregado proveniente de la cantera de pachachaca llega con muchos finos, cuando se realizó el ensayo granulométrico se observa que pasa el 5% con respecto a la malla 200 por lo que nos quiere decir que contiene muchos finos, esto afecta la consistencia del concreto.

Por lo tanto se llegó a la conclusión que realizar un sostenimiento con  $40 \text{ kg/m}^3$  con fibra metálica es el óptimo ya que se tiene una resistencia a la absorción de energía de 1500.1 Joules superando al sostenimiento con shotcrete + malla, así mismo se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días el cual nos muestra como resultado  $f'c = 615 \text{ kg/cm}^2$ , mediante el sostenimiento concreto con  $40 \text{ kg/m}^3$ , si es posible optimizar el sostenimiento y los costos operativos ya que con este sostenimiento no se instala la malla electrosoldada y la segunda capa de shotcrete 1" sobre la malla.

## VII. RECOMENDACIONES

Antes de emplear el sostenimiento con  $40 \text{ kg/m}^3$  primera es necesario realizar la evaluación geomecánica en la excavación, esto nos servirá para determinar la calidad de roca que se tiene, de tener una calidad de roca de tipo IV – A con una valoración en un rango de 31 a 40 se empleara este tipo de sostenimiento en el cual se optimizara el sostenimiento y el costo operativo de una excavación.

Es necesario tener en cuenta el tiempo va tener expuesto el proyecto ya que si el tiempo del proyecto supera 1 año no es recomendable usar este tipo de sostenimiento ya que en su defecto se va tener deformación en la excavación el cual el shotcrete va tender a deformarse y presentar fisuras.

El agregado esta última semana ha incrementado el % de malla 200 en un 4.8% aproximadamente, esta cantidad de fino afecta la consistencia del concreto haciendo que el slump baje rápidamente por lo que no nos favorece ya que el lugar donde se realiza el lanzado del concreto tiene una distancia considerable, por lo que se llega al lugar del lanzado en un promedio de 2 horas.

Como prueba de calidad es importante realizar el ensayo del slump para determinar la trabajabilidad del concreto, por lo que se recomienda realizar el lanzado del concreto como mínimo con un slump de 6", así mismo tener en cuenta la presión de aire que no debe ser  $< 3$  bares si no cumple con estos valores mínimos se recomienda a no realizar el lanzado del concreto en la superficie de la roca ya que se va tener problemas de adherencia y no se tendrá un buen sostenimiento con shotcrete.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TAPIA, Juan. Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – inpecon sac – mina chipmoccia minera buenaventura unidad orcopampa. Tesis de pregrado (Obtención de título ingeniero de minas) Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2017. 128 pp.

Disponible

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3397/Mltachja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CABRERA, Julio y LEONARDO, Herry. Gestión de calidad en el proceso de lanzado de shotcrete en tuneles. Tesis de pregrado (Obtención de título ingeniero civil) Universidad Ricardo Palma, 2015. 160 pp.

Disponible

[http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2219/cabrera\\_ji-leonardo\\_hc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2219/cabrera_ji-leonardo_hc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SPEICHER, Moises. Perdidas de consistencia del concreto en el tiempo a temperaturas inferiores o cercanas a cero. Tesis de pregrado (Obtención de título ingeniero civil) Universidad Ricardo Palma, 2007. 43 pp.

Disponible

[http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/157/speicher\\_mb.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/157/speicher_mb.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MATIENZO, Jorge. Resistencia a la compresión de un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cascara de arroz - 2017. Tesis de pregrado (Obtención de título ingeniero civil) Universidad Privada San Pedro, 2018. 107 pp.

Disponible

[http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/5476/Tesis\\_57380.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/5476/Tesis_57380.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

GUZMAN, César. Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la mina Cobriza. Tesis de pregrado (Obtención de título ingeniero civil) Universidad Ricardo Palma, 2008. 133 pp.

Disponible



[http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/163/guzman\\_zc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/163/guzman_zc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

BERESOVSKY, Aleksey. Estudio experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas. Tesis de pregrado (Obtención de título ingeniero civil) Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011. 91 pp.

Disponible

[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/172/BERESOVSKY\\_ALEKSEY\\_ESTUDIO\\_EXPERIMENTAL\\_DEL\\_COMPORTEAMIENTO\\_POR\\_DESEMPE%c3%91O\\_CONCRETO\\_LANZADO\\_REFORZADO\\_FIBRAS\\_METLICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/172/BERESOVSKY_ALEKSEY_ESTUDIO_EXPERIMENTAL_DEL_COMPORTEAMIENTO_POR_DESEMPE%c3%91O_CONCRETO_LANZADO_REFORZADO_FIBRAS_METLICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MONJE, Carlos. Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica Universidad Sur Colombiana Colombia, 2011. 216 pp.

Disponible

<https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

MELBYE, Tom. Shotcrete para soporte de rocas. Construction Chemicals Europa Underground Construction Group, 2001. 132 pp.

Disponible

[https://kupdf.net/download/shotcrete-soporte-de-rocas\\_59a254c2dc0d60c06d568ee3\\_pdf](https://kupdf.net/download/shotcrete-soporte-de-rocas_59a254c2dc0d60c06d568ee3_pdf)

Tamayo, Mario. Aprende a investigar. Módulo 2 Instituto Colombiano Para el Fomento de la Educación Superior Colombia, 1999. 135 pp.

Disponible

<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/2.-La-Investigaci%c3%b3n-APRENDER-A-INVESTIGAR-ICFES.pdf>

RODRÍGUEZ, Walabonso. Guía de investigación científica. Lima Fondo editorial Universidad de Ciencias y Humanidades, 2011. 205 pp.

Disponible

[http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/23/rodriguez\\_arainaga\\_walabonso\\_guia%20\\_investigacion\\_cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/23/rodriguez_arainaga_walabonso_guia%20_investigacion_cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ALFARO, Carlos. Metodología de investigación científica aplicada a la ingeniería. Proyecto de investigación. Universidad Nacional del Callao Lima, 2012. 143 pp.

Disponible

[https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/IF\\_ABRIL\\_2012/IF\\_ALFARO%20RODRIGUEZ\\_FIEE.pdf](https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_ABRIL_2012/IF_ALFARO%20RODRIGUEZ_FIEE.pdf)

CÓRDOVA, David. Estudio geomecánico del minado subterráneo mina San Cristóbal. Informe técnico, DCR Ingenieros S.R.Ltda, Lima 2015. 291 pp.

USUBIAGA, M., PINILLOS, L., RAMÍREZ, P., MARTÍN, F., & ARROYO, J. Diseño, fabricación y puesta en obra del hormigón proyectado en obras subterráneas. Guía técnica, AETOS WG 6 España Hormigón proyectado, 2014. 108 pp.

Disponible

[http://www.aetos.es/wp-content/uploads/2014/06/AETOS-WG-6-Hormigon-Proyectado\\_BORRADOR-JORNADA-17-DE-JUNIO.pdf](http://www.aetos.es/wp-content/uploads/2014/06/AETOS-WG-6-Hormigon-Proyectado_BORRADOR-JORNADA-17-DE-JUNIO.pdf)

GARCÍA, Sergio. Manual del Shotcrete Guia Chilena de Hormigón Proyectado. 2da Edición Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2014. 120 pp.

Disponible

<https://ich.cl/shotcrete/documentos-shotcrete/2da-edicion-guia-chilena-de-hormigon-proyectado/>

HARMSSEN, Teodoro. Diseño de estructura de concreto armado. 3ra edición Fondo Editorial 2002 Pontificia Universidad Católica del Perú, 2002. 681 pp.

Disponible

<https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenodeestructurasdeconcreto-harmsen.pdf>

ESCUADERO, Carlos y CORTEZ, Liliana. Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. Editorial colección redes Universidad Técnica de Machala Ecuador, 2017. 106 pp.

Disponible

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodosCualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>

BERNARD, Stefan. Shotcreting in Australia. Sccond edition Concrete Institute of Australia. 2015. 84 pp.

Disponible

<https://eagcg.org/common/pdf/ShotcretingInAustralia.pdf>

BERNARDO, G., GUIDA, A., & MECCA, I. Advancements in shotcrete technology. En Advancements in shotcrete technology. Italia: © 2015 WIT Press. 2015. 13 pp.

Disponible

[https://www.researchgate.net/publication/300787097\\_Advancements\\_in\\_shotcrete\\_technology](https://www.researchgate.net/publication/300787097_Advancements_in_shotcrete_technology)

DE RIVAS, Benoit. Shotcrete for underground support xii. En Fibre reinforced spray concrete: minimum performance requirement to meet safety needs. New York EE.UU. Bekaert Maccaferri Underground Solutions, 2015. 19 pp.

Disponible

[Fibre Reinforced Spray Concrete: Minimum Performance Requirement to Meet Safety Needs \(engconfintl.org\)](https://www.engconfintl.org/publication/300787097_Advancements_in_shotcrete_technology)

ZHANG, Lihe., y MORGAN, Dudley. Shotcrete for underground support xii. En Transport properties of wet-mix shotcrete. New York, EE.UU: LZhang Consulting & Testing Ltd, 2015. 19 pp.

Disponible

[https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=shotcrete\\_xii](https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=shotcrete_xii)

MARC, Chair y RAGLAND, James. Guide to Shotcrete. Farmington Hills, Michigan, EE.UU Country club drive, 2016. 8 pp.

Disponible

[506R-16: Guide to Shotcrete \(concrete.org\)](https://www.concrete.org/publications/506R-16-Guide-to-Shotcrete)

## REVISTA

SOLIS, Romel y MORENO, Eric. Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. Venezuela: Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. (18p), 2006.

ISSN 0798-4065

Disponible

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652006000300004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652006000300004)

Sánchez, Fabio. Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa. Perú Investigación en docencia universitaria. (21p), 2019.

ISSN 2223-2526

Disponible

<https://revistas.upc.edu.pe/index.php/docencia/article/view/644/913>

OCHOA, Raquel. Concreto lanzado para túneles y taludes. Perú Contrucción y tecnologías en concreto. (6p), 2014.

Disponible

<http://imcyc.com/revistacyt/pdf/febrero2014/especial>

OSINERGMIN. Boletín estadístico de la gerencia de supervisión minera. Perú Accidentes mortales. (12p), 2019.

Disponible

[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/estadisticaseindicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2019-04.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticaseindicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2019-04.pdf)

JARAUTA, Ignasi. Aditivos superplastificantes y reductores de agua. Perú Mecanismos de acción de los aditivos plastificantes y superplastificantes. (15p), 2014.

Disponible

<http://www.coatz.org/wp-content/uploads/2016/12/1.-Aditivos-superfluidificantes-y-reductores-de-agua.pdf>

CHEMA TÚNEL CA. Perú Acelerante líquido para shotcrete de mortero o concreto por vía seca y húmeda. (2p), 2020.

Disponible

<http://www.chema.com.pe/assets/productos/ficha-tecnica/CHEMA-TUNEL-CA.pdf>

BRACAMONTE, Raúl. Perú Concreto lanzado en la industria minera. (8p), 2014.

Disponible

<http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/febrero2014/portada.pdf>

SIKA Innovation & Consistency. Perú Concreto reforzado con fibras. (22p), 2019.

ISSN-0122-0594

Disponible

[https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras\\_Brochure.pdf](https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras_Brochure.pdf)

VELEZ, Legia. Colombia Permeabilidad y porosidad del concreto. Instituto Tecnológico Metropolitano. (20p), 2010.

ISSN: 0123-7799

Disponible

<https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234320010.pdf>

HERNANDEZ, Felipe. Mexico Pruebas de resistencia a la compresión del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (6p), 2006.

Disponible

<http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

## **NORMAS LEGALES**

American Society of Testing Materials C128 Método de ensayo normalizado para determinar densidad, densidad relativa (peso específico) y la absorción de los áridos finos, 2001. 19 pp.

American Society of Testing Materials C136-06. Método de ensayo análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y gruesos, 2006. 13 pp.

American Society of Testing Materials C29. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente (“peso unitario”) e índice de huecos en los agregados para concreto, 2001. 6 pp.

American Society of Testing Materials C33. Especificaciones estándar para concretos agregados, 2001. 18 pp.

American Society of Testing Materials C94. Requisitos de calidad que cumple el concreto, 2003. 15 pp.

American Society of Testing Materials C-566 Método de ensayo para el contenido de humedad del agregado, 1997. 13 pp.

Norma Técnica Peruana 400.011, Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos, 2008. 16 pp.

Norma Técnica Peruana 400.037. Agregados para concreto, 2018. 23 pp.

Norma Técnica Peruana 400.10, Extracción y preparación de las muestras, 2001.  
10 pp.

## **ANEXO**

Anexo 1. Matriz operacional de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
<b>Variable (D)</b> Sostenimiento y costos operativos	"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. 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."	En una excavación subterránea el sostenimiento es importante para evitar posibles desprendimientos de rocas y ocasionar un accidente generando algún daño ya sea al trabajador o equipo que se expone, por lo tanto, es importante el sostenimiento que se realiza en una excavación minera subterránea y cual tiene un costo operativo por los mismos insumos que se tiene al momento de la preparación del concreto para ser lanzado en obra.	Adherencia	Estabilidad y reducción de costos
<b>Variable (I)</b> Concreto lanzado	La aplicación de concreto lanzado sobre una superficie, es indispensable un el estudio del sitio, trabajadores expertos, un método de lanzamiento adecuado y la maquinaria que corresponda con las especificaciones ideales del sitio. El concreto lanzado o proyectado sobre una superficie, únicamente se adhiere en rocas limpias, duras, libres de aceites, agua o materiales extraños. Su aplicación no funciona en rocas blandas y polvosas, por el consecuente desprendimiento de polvo	El concreto lanzado es una mezcla de agregado, cemento, aditivos, agua y fibras, que, mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente.	Volumen Cantidad de insumos	m3 kg/m3

Fuente. *Elaboración propia*



## Anexo 2. Matriz de consistencia

“Concreto lanzado para optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea, Yauli-Oroya”

Autor: CORNEJO MONAGO, Juan Miguel

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b> ¿Cómo el concreto lanzado optimizaría el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea?	<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b> Optimizar el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea por medio del concreto lanzado.	<b>HIPOTESIS PRINCIPAL</b> El concreto lanzado optimizará el sostenimiento y costos operativos en una excavación minera subterránea	VI: Concreto lanzado. VD: Sostenimiento y costos operativos	Volumen Adherencia	m <sup>3</sup> Estabilidad y reducción de costos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de investigación Hipotético Deductivo</li> <li>• Diseño de investigación Experimental                              GE(A): <math>Y_1 \Rightarrow X \Rightarrow Y_2</math>                              GC(A): <math>Y_3 \Rightarrow X \Rightarrow Y_4</math>                              GE Observación sin MSR                              GC Observación con MSR</li> </ul>
<b>PROBLEMA ESPECIFICO N° 1</b> ¿Con una dosificación con fibras de acero aumentaría la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado?	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1</b> Aumentar la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado por medio de la dosificación con fibras de acero.	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICOS N° 1</b> Una dosificación con fibras de acero aumentará la resistencia a la absorción de energía aplicando el concreto lanzado	VI: Dosificación de acero VD: Resistencia a la absorción de energía	Cantidad Variables	kg/m <sup>3</sup> Joules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de investigación Aplicada</li> <li>• Nivel de investigación Correlacional – explicativa</li> </ul>
<b>PROBLEMA ESPECIFICO N° 2</b> ¿Con una granulometría media elevaría la adherencia entre partículas aplicando el concreto lanzado?	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2</b> Elevar la adherencia entre partículas aplicando el lanzado del concreto por medio de una granulometría media.	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICOS N° 1</b> Una granulometría media elevará la adherencia entre partículas aplicando el concreto lanzado	VI: Granulometría del agregado VD: Adherencia entre partículas	Tamaño de partículas Variables	Módulo de finura Adherencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población Túneles mineros subterráneos</li> <li>• Muestra Túneles con roca tipo IV – A</li> <li>• Técnicas de obtención de datos: Datos se obtendrá en campo, mediante muestras</li> </ul>
<b>PROBLEMA ESPECIFICO N° 3</b> ¿Con un buen control de calidad se optimizaría la colocación superficial aplicando el concreto lanzado?	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO N° 3</b> Optimizar la colocación superficial aplicando el concreto lanzado mediante un buen control de calidad.	<b>HIPOTESIS ESPECÍFICOS N° 1</b> Un buen control de calidad optimizará la colocación superficial aplicando el concreto lanzado.	VI: Control de calidad VD: Colocación superficial	Característica Rendimiento	Alta, Media, Baja m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas para el procesamiento de datos: Uso de normas técnicas, herramientas tecnológicas</li> </ul>

Fuente. *Elaboración propia.*

Anexo 3. Mapeo geomecánico en campo



*Fuente.* Elaboración propia.

Anexo 4. Recolección de datos en campo



*Fuente.* Elaboración propia.

Anexo 5. Obtención orientación de discontinuidades con brújula



*Fuente.* Elaboración propia

Anexo 6. Tomando datos del macizo rocoso



*Fuente.* Elaboración propia

Anexo 7. Mapeo geomecánico RMR SN\_67\_2W x AC\_67\_2E

<b>YAULI</b>		Registro N°:	Labor: SN_67_2W x AC_67_2E	Nivel: 1270								
DATOS DE MAPEO GEOMECAÁNICO RMR			Refer. Topográfica: Int. + 12.60 m	Fecha: 15/12/20								
Hecho por: MIGUEL CORNEJO MONAGO			Litología: Filita alterada	Familia de Discontinuidades: Azimut de la Labor								
Condición de Exposición: Voladura Fresca			Azimut de la Labor: 286°									
Dimensión de la labor: 4.12 x 4.11			Buzamiento Veta: 53°									
Parámetro	OTC	ROD	CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES				Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades				
Resistencia a la Compresión	1-250 Mpa 2-100 - 250 Mpa 3-50 - 100 Mpa 4- 25 - 50 Mpa 5- 9 - 25 Mpa 6- 1.5 - 5 Mpa	1- 90 - 100% 2- 75 - 90% 3- 50 - 75% 4- 25 - 50% 5- < 25%	1- < 2 m 2- 2 - 3 m 3- 3 - 10 m 4- 10 - 20 m 5- > 20 m	1- Cercada 0 2- Muy Angosta < 0.1 mm 3- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5- Muy Abierta > 5.0 mm	1- Muy rugoso 2- Rugoso 3- Ligeramente Rugoso 4- Lisa 5- Muy Lisa	1- Ninguna 2- Relleno duro < 5 mm 3- Relleno duro > 5 mm 4- Relleno blando < 5 mm 5- Relleno blando > 5 mm	1- No meteorizada 2- Ligeramente 3- Moderadamente 4- Altimiento meteorizada 5- Descompuesta	1- 15 2- 10 3- 7 4- 4 5- 0	0 90 -90 -180			
Tramo de mapeo (m)	15	20	10	10	10	10	15	0	12			
CT	12	8	8	4	1	3	0	5	70	51	-12	39
CP	12	8	8	4	1	3	0	5	70	51	-12	39
Est.	7	3	5	4	4	3	4	5	70	45	-10	35

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA			
CROQUIS DEL FRENTE			

DISCONTINUIDADES	
DIR. BUZ/ BUZ	ESP. MEDIO
SET1: 109°/78°	Fract.
SET2: 110°/82°	Fract.
SET3:	
SET4:	
ESTRUCTURA MAYOR	
DIR. BUZ/ BUZ	POTENCIA
146°/53°	0.90
OBSERVACIONES	

EFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45-90°	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	Buzamiento 0-20° Independiente del rumbo	
Regular	Desfavorable	Regular	
GRADO			
INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO			RESIS. COMP. Mpa
R1	Definible con golpes firmes con la cuña de martillo y golpeo de la muestra con una cuña (Se indanta preferentemente)		45 - 50
R2	Se desmenuza con dificultad con cuñeta. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)		50 - 25
R3	No se raya ni resaca con cuñeta. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo		25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		100 - 350
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con golpes de martillo		> 350

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 8. Mapeo geomecánico SN\_653\_3W x CA\_01\_653\_3W

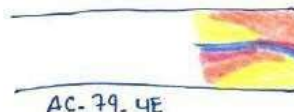
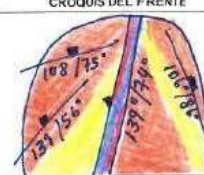
<b>YAULI</b>		Registro N°:	Labor: SN_653_3W x CA_01_653_3W	Nivel: 1270	CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR													
USCUM COMPAÑIA MINERA S.A.			Refer. Topográfica: D + 18.35	Fecha: 15/12/20														
DATOS DE MAPEO GEOMECANICO RMR					Litología	# Familia de Discontinuidades	Azimut de la Labor											
					Filits alterada		290°											
Hecho por:	MIGUEL CORNEJO MONAGO				Condición de Exposición:	Voladura fresca.												
					Dimensión de la labor:	4.77 x 4.20		Buzamiento Veta:	40°									
Parametro	OC	ROD	Espaciamiento entre Discontinuidades		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orimación de Discontinuidades							
Valores	15	10	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Tamaño de mapeo (m)	1 -> 250 Mpa 2 -> 100 - 250 Mpa 3 -> 60 - 100 Mpa 4 -> 25 - 50 Mpa 5 -> 20 Mpa 6 -> 1.5 - 5 Mpa		1 -> 100 - 100% 2 -> 75 - 90% 3 -> 60 - 75% 4 -> 25 - 50% 5 -> < 25%		1 -> 2 m 2 -> 0.8 - 2 m 3 -> 200 - 800 mm 4 -> 80 - 200 mm 5 -> < 80 mm		1 -> < 1 m 2 -> 1 - 3 m 3 -> 3 - 10 m 4 -> 10 - 20 m 5 -> > 20 m		1 -> Cercada 2 -> Muy frías < 0.1 mm 3 -> Frías 0.1 - 0.5 mm 4 -> Abiertas 0.5 - 1.0 mm 5 -> Muy abiertas > 1.0 mm		1 -> Muy rugosa 2 -> Rugosa 3 -> Ligeramente rugosa 4 -> Lisa 5 -> Muy Lisa		1 -> No meteorizada 2 -> Ligemente 3 -> Moderadamente 4 -> Abundante meteorizada 5 -> Discontinuas		1 -> Completamente seco 2 -> Humido 3 -> Mojado 4 -> Gotoso 5 -> Flujo		RMR Básico	RMR Ajustado
CT	12	8	8	4	1	5	0	5	7	50	-12	38						
CP	12	8	8	4	1	5	0	5	10	53	-12	41						
Est	7	3	5	2	4	3	4	5	7	40	-10	30						
OBSERVACIONES																		
61 66 22 35 62 65 25 33 63 64 24 31 64 63 25 29 65 63 26 27 66 62 27 25 67 61 28 23 68 61 29 21 69 60 30 20 70 59 31 20																		

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA		DISCONTINUIDADES		EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TUNELES	
		DIR. BUZ/ BUZ	ESP. MEDIO	Rumbo perpendicular al eje del túnel	
		SET1	231/31° Fract.	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45-30°	Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°
		SET2	153/63° Fract.	Muy favorable	Favorable
		SET3	168/69° Fract.	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45-30°	Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°
		SET4		Regular	Desfavorable
CROQUIS DEL FRENTE		ESTRUCTURA MAYOR		Regular	
		DIR. BUZ/ BUZ	POTENCIA	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	
			150°/40° 2.10	R1	Definible con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla (Se indenta profundamente)
		OBSERVACIONES		R2	Se desconcha con cuchilla. Marcas profundas en la roca con golpe firme al martillo (de punta)
				R3	No se raya / desconcha con cincillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo.
				R4	La muestra se rompe con un golpe del martillo.
				R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.
				R6	Solo se rompió esquinas de la muestra con el martillo.
					REBES. COMP. Max
					1.5 - 5.0
					5.0 - 25
					25 - 50
					50 - 100
					100 - 250
					> 250

Fuente. Elaboración propia

Anexo 9. Mapeo geomecánico RMR AC\_79\_4E x CA\_01\_653\_3E

<b>YAULI</b>		Registro N°:	Labor: <b>AC-79.4E x CA-01-653.3E</b>	Nivel: <b>1270</b>	CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR								
Refer. Topográfica: <b>AC10 + 26 m.</b>		Litología	# Familia de Discontinuidades	Fecha: <b>15/12/20</b>	Azimut de la Labor								
DATOS DE MAPEO GEOMECAÁNICO RMR		Falta alterada		<b>276°</b>									
Hecho por: <b>MIGUEL CORNEJO MONAGO</b>	Condición de Exposición: <b>Voladura fresca</b>		Dimensión de la labor: <b>3.60 x 3.70</b>		Buzamiento Veta:								
CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Orientación de Discontinuidades		RMR Ajustado									
Parámetro	OC	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidades	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Meteorización	Agua Subterránea	RMR Básico			
Valores	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	0 2 5 10 15	0 2 5 10 15		
Tamaño de mapeo (m)	1 -> 250 Mpa 2 -> 100 - 250 Mpa 3 -> 50 - 100 Mpa 4 -> 25 - 50 Mpa 5 -> 5 - 25 Mpa 6 -> 1.5 - 5 Mpa	17 13 9	1 -> 100% 2 -> 75 - 90% 3 -> 50 - 75% 4 -> 25 - 50% 5 -> < 25%	1 -> 2 m 2 -> 0.6 - 2 m 3 -> 200 - 600 mm 4 -> 60 - 200 mm 5 -> < 60 mm	1 -> 1 m 2 -> 1 - 3 m 3 -> 3 - 10 m 4 -> 10 - 30 m 5 -> > 30 m	1 -> Cerrada 0 2 -> Muy Angosta < 0.1 mm 3 -> Angosta 0.1 - 0.5 mm 4 -> Abierta 0.5 - 5.0 mm 5 -> Muy Abierta > 5.0 mm	1 -> Muy rugosa 2 -> Rugosa 3 -> Ligera y fugosa 4 -> Lisa 5 -> Muy Lisa	1 -> Ninguna 2 -> Relleno duro < 5 mm 3 -> Relleno duro > 5 mm 4 -> Relleno blando < 5 mm 5 -> Relleno blando > 5 mm	1 -> No meteorizada 2 -> Ligera 3 -> Moderadamente 4 -> Altimamente meteorizada 5 -> Descompuesta	1 -> Completamente seco 2 -> Humido 3 -> Mojado 4 -> Goteo 5 -> Flujo	<b>50</b>	<b>40</b>	
Fronte	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>-10</b>	<b>40</b>	
OBSERVACIONES													
61 66 22 35 62 65 23 33 63 64 24 31 64 63 25 29 65 63 26 27 66 62 27 25 67 61 28 23 68 61 29 21 69 60 30 20 70 59 31 20													
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA				DISCONTINUIDADES				EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TÚNELES					
				DIR. BUZ/ BUZ				ESP MEDIO		Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
AC-79.4E				SET1		108°/75°		Fo		Avance en el sentido de buzamiento - Buz. 45°		Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20-45°	
				SET2		106°/86°		Frac.		Muy favorable		Favorable	
				SET3		139°/56°		Frac.		Muy desfavorable		Regular	
				SET4		139°/74°		Falla.		Avance contra el sentido de buzamiento - Buz. 60°		Buzamiento - Buz. 20-45°	
ESTRUCTURA MAYOR				DIR. BUZ/ BUZ		POTENCIA		GRADO		INDICE DE RESISTENCIA IDENTIFICACION DE CAMPO		RESIS. COMP. Neta	
										15 144 2020		1.5 - 5.0	
OBSERVACIONES										R1 Defeznible con golpes firmes con la punta de martillo de golpe de descomcha con una cabeza (Se descomcha con golpes firmes)		5.0 - 25	
										R2 Se descomcha con golpes firmes con la punta de martillo de golpe firme de martillo de punta		25 - 50	
										R3 No se rayan ni se descomchan con golpes firmes de martillo		30 - 100	
										R4 La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo		100 - 250	
										R5 Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra		> 250	
										R6 Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo			

Fuente. Elaboración propia



Anexo 10. Colocación de sostenimiento estructural



*Fuente.* Elaboración propio

Anexo 11. Equipo robot y mixer de bajo perfil



Fuente. Elaboración propia

### Anexo 12. Prueba de slump en mina



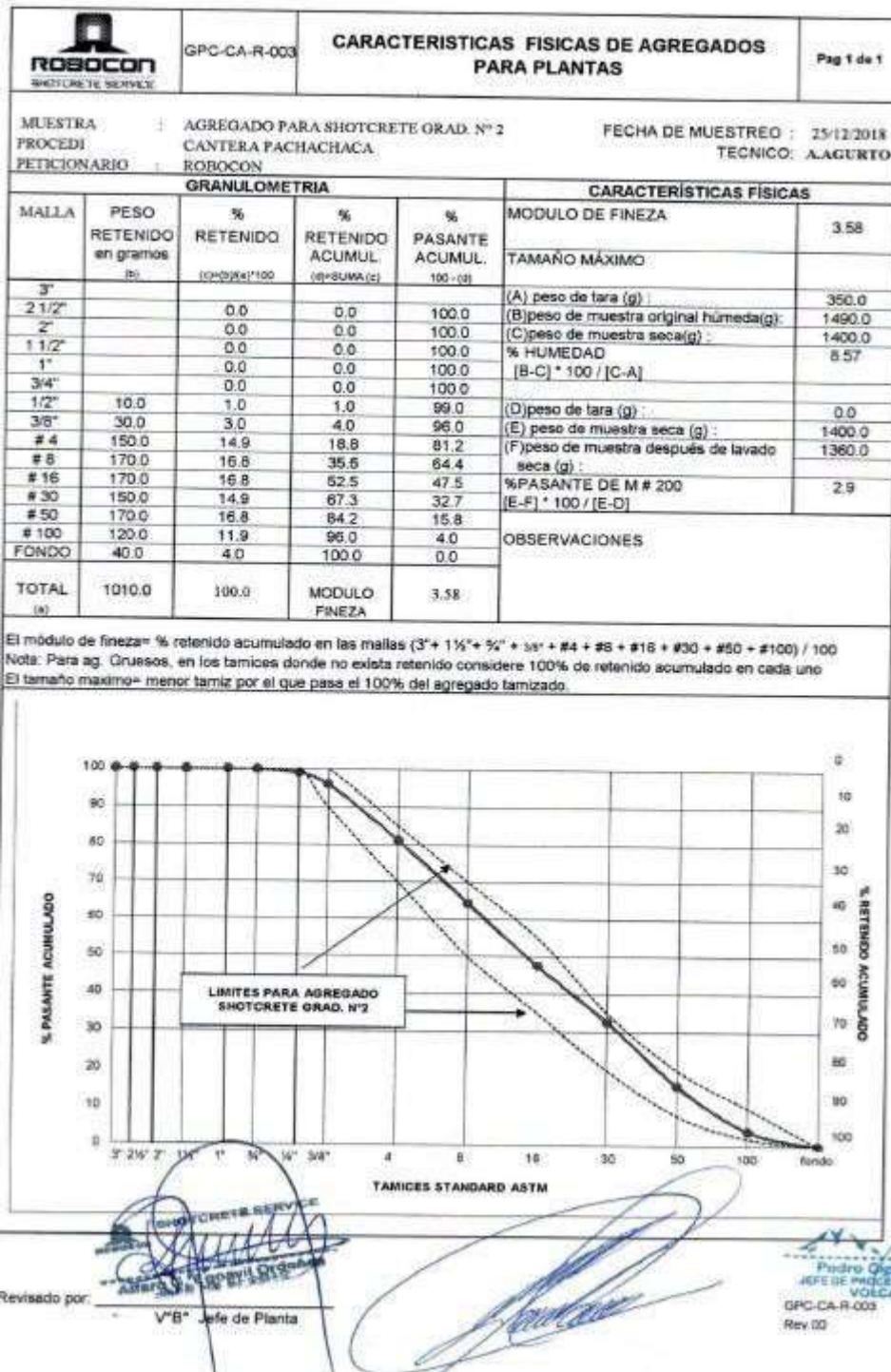
*Fuente.* Elaboración propia

### Anexo 13. Medición del slump



*Fuente.* Elaboración propia

Anexo 14. Ensayo granulométrico muestra 1

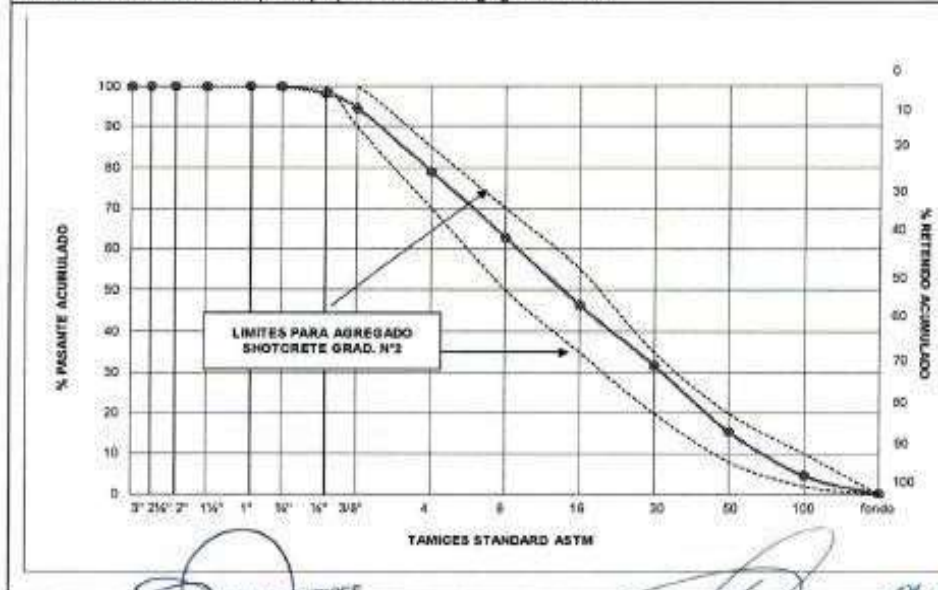


Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

## Anexo 15. Ensayo granulométrico muestra 2

		GPC-CA-R-003	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS PARA PLANTAS</b>		Pag 1 de 1	
MUESTRA	: AGRÉGADO PARA SHOTCRETE GRAD. N° 2	FECHA DE MUESTREO	27/12/2018			
PROCEDE	: CANTERA PACHACHACA	TECNICO:	A.AGURTO			
PETICIONARIO	: ROBOCON					
GRANULOMETRIA				CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (B)	% RETENIDO (C)/(B)*100	% RETENIDO ACUMUL. (D)/(SUMA (C))	% PASANTE ACUMUL. 100 - (D)	MODULO DE FINEZA	3.65
					TAMAÑO MÁXIMO	
3"					(A) peso de tara (g) :	350.0
2 1/2"		0.0	0.0	100.0	(B) peso de muestra original húmeda(g):	1570.0
2"		0.0	0.0	100.0	(C) peso de muestra seca(g) :	1470.0
1 1/2"		0.0	0.0	100.0	% HUMEDAD	8.93
1"		0.0	0.0	100.0	[B-C] * 100 / [C-A]	
3/4"		0.0	0.0	100.0		
1/2"	20.0	1.8	1.8	98.2	(D) peso de tara (g) :	0.0
3/8"	40.0	3.6	5.5	94.5	(E) peso de muestra seca (g) :	1470.0
# 4	170.0	15.5	20.9	79.1	(F) peso de muestra después de lavado seco (g) :	1440.0
# 8	180.0	16.4	37.3	62.7		
# 16	180.0	16.4	53.8	46.4	%PASANTE DE M # 200	2.0
# 30	180.0	14.5	68.2	31.8	[E-F] * 100 / [E-D]	
# 50	180.0	16.4	84.5	15.5		
# 100	120.0	10.9	95.5	4.5	OBSERVACIONES	
FONDO	50.0	4.5	100.0	0.0		
TOTAL (A)	1100.0	100.0	MODULO FINEZA	3.65		

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100  
 Nota: Para ag. 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.



Revisado por:

  
 Jefe de Planta



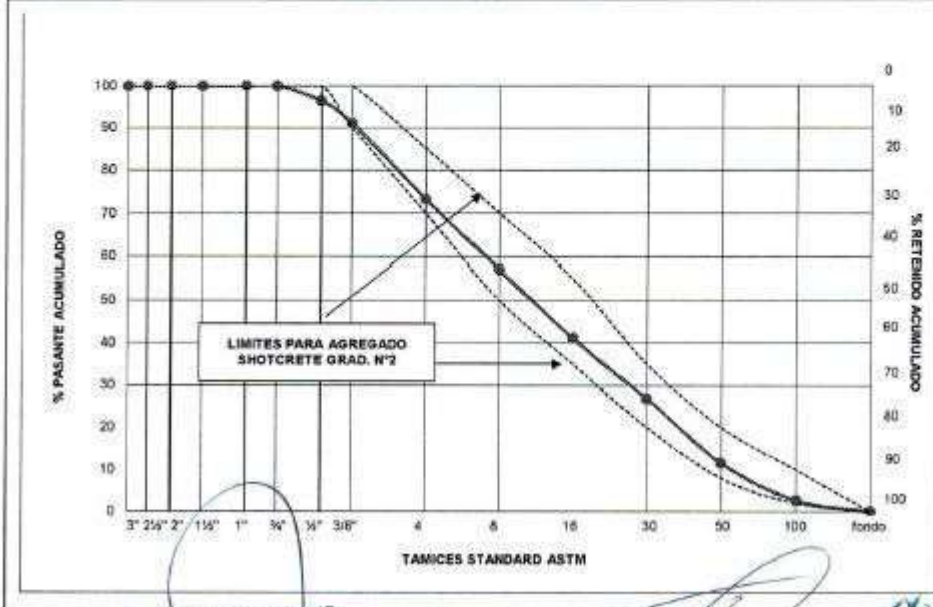
  
 Pedro Gerardo Porras  
 JEFE DE PROCESOS EN CONCRETO  
 VOLCAN S.A.S.  
 GPC-CA-R-003  
 Rev.00

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 16. Ensayo granulométrico muestra 3

		GPC-CA-R-003	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS PARA PLANTAS</b>		Pag 1 de 1
MUESTRA	AGREGADO PARA SHOTCRETE GRAD. N° 2			FECHA DE MUESTREO	05/01/2019
PROCEDE	CANTERA PACHACHACA			TECNICO	A. AGURTO
PETICIONARIO	ROBOCON				
GRANULOMETRIA				CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (a)	% RETENIDO (c)=(b)/a*100	% RETENIDO ACUMUL (d)=SUMA (c)	% PASANTE ACUMUL 100-(d)	MODULO DE FINEZA
					3.96
					TAMAÑO MÁXIMO
3"					(A) peso de tara (g) :
2 1/2"		0.0	0.0	100.0	(B) peso de muestra original húmeda(g):
2"		0.0	0.0	100.0	(C) peso de muestra seca(g) :
1 1/2"		0.0	0.0	100.0	% HUMEDAD
1"		0.0	0.0	100.0	[B-C] * 100 / [C-A]
3/4"		0.0	0.0	100.0	
1/2"	40.0	3.6	3.6	96.4	(D) peso de tara (g) :
3/8"	60.0	5.4	8.9	91.1	(E) peso de muestra seca (g) :
# 4	200.0	17.9	26.8	73.2	(F) peso de muestra después de lavado seca (g) :
# 8	180.0	16.1	42.9	57.1	
# 16	180.0	16.1	58.9	41.1	% PASANTE DE M # 200
# 30	160.0	14.3	73.2	26.8	[E-F] * 100 / [E-D]
# 50	170.0	15.2	88.4	11.6	
# 100	100.0	8.9	97.3	2.7	
FONDO	30.0	2.7	100.0	0.0	
TOTAL (h)	1120.0	100.0	MODULO FINEZA	3.96	

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3"+ 1 1/2"+ 3/4" + 1/2" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100  
 Nota: Para ag. 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.



Revisado por:   
 Jefe de Planta



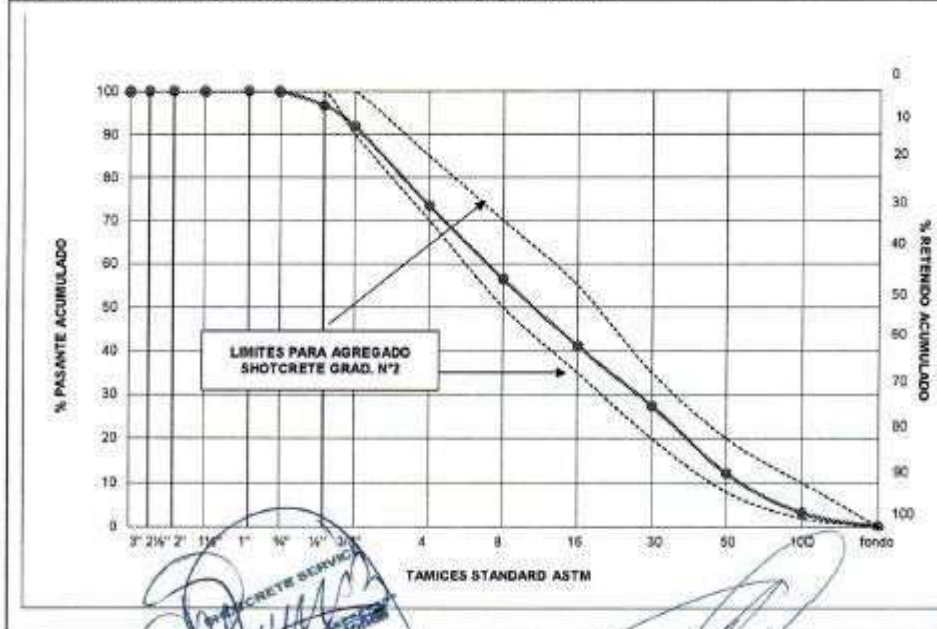
Pedro Grande Formis  
 JEFE DE PROCESOS EN CONCRETO  
 VOLCAN S.A.A.  
 GPC-CA-R-003  
 Rev 00

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 17. Ensayo granulométrico muestra 4

		GPC-CA-R-003	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS PARA PLANTAS</b>		Pag 1 de 1	
MUESTRA : AGREGADO PARA SHOTCRETE GRAD. N° 2 PROCEDE : CANTERA PACHACHACA PETICIONARIO : ROBOCON		FECHA DE MUESTREO : 07/01/2019 TECNICO: A.AGURTO				
GRANULOMETRIA					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO (c)=(b/a)*100	% RETENIDO ACUMUL (d)=SUMA(c)	% PASANTE ACUMUL. 100-(d)	MODULO DE FINEZA	3.94
					TAMAÑO MÁXIMO	
3"					(A) peso de tara (g) :	350.0
2 1/2"		0.0	0.0	100.0	(B) peso de muestra original húmeda (g) :	1760.0
2"		0.0	0.0	100.0	(C) peso de muestra seca (g) :	1650.0
1 1/2"		0.0	0.0	100.0	% HUMEDAD	8.46
1"		0.0	0.0	100.0	[B-C] * 100 / [C-A]	
3/4"		0.0	0.0	100.0		
1/2"	40.0	3.2	3.2	96.8	(D) peso de tara (g) :	350.0
3/8"	60.0	4.6	8.1	91.9	(E) peso de muestra seca (g) :	1650.0
# 4	230.0	18.5	26.6	73.4	(F) peso de muestra después de lavado seca (g) :	1800.0
# 8	210.0	16.9	43.5	56.5		
# 16	190.0	15.3	58.9	41.1	%PASANTE DE M # 200	3.8
# 30	170.0	13.7	72.6	27.4	(E-F) * 100 / (E-D)	
# 50	190.0	15.3	87.9	12.1		
# 100	110.0	8.9	96.8	3.2		
FONDO	40.0	3.2	100.0	0.0	OBSERVACIONES	
TOTAL (a)	1240.0	100.0		MODULO FINEZA		3.94

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100  
 Nota: Para ag. 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.



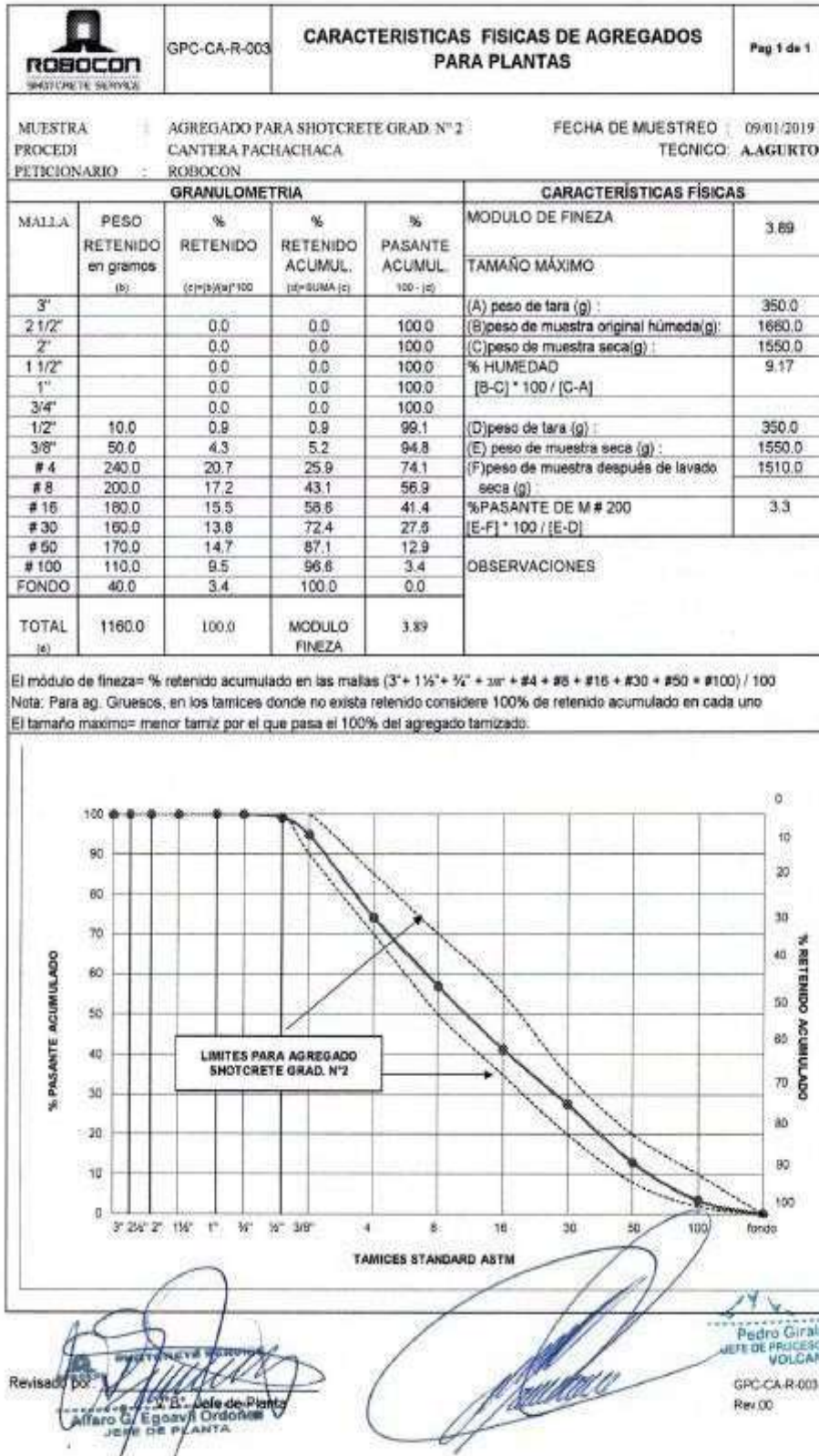
Revisado por:

V°B° Jefe de Planta

Pedro González Porras  
 JEFE DE PLANTA EN CONCRETO  
 VOLCAN S.A.A.  
 Rev. 01

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

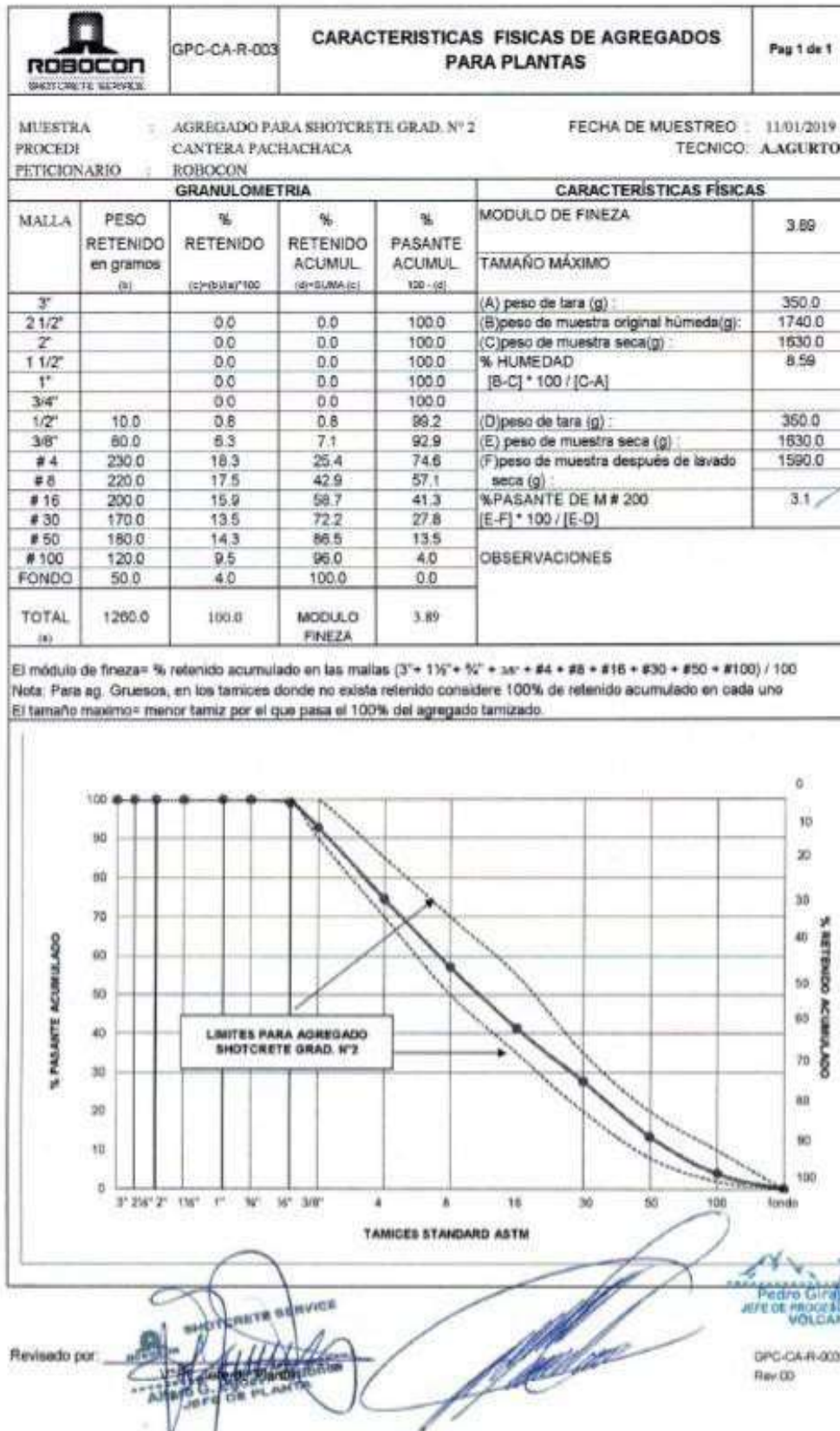
Anexo 18. Ensayo granulométrico muestra 5



Fuente. Laboratorio de concreto Volcan



Anexo 19. Ensayo granulométrico muestra 6



Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 20. Ensayo granulométrico del agregado en laboratorio



*Fuente.* Elaboración propia.

Anexo 21. Muestras en tara de los agregados



*Fuente.* Elaboración propia.

Anexo 22. Toma de temperatura del concreto



*Fuente.* Elaboración propia

Anexo 23. Extracción de muestra del mixer para prueba de slump



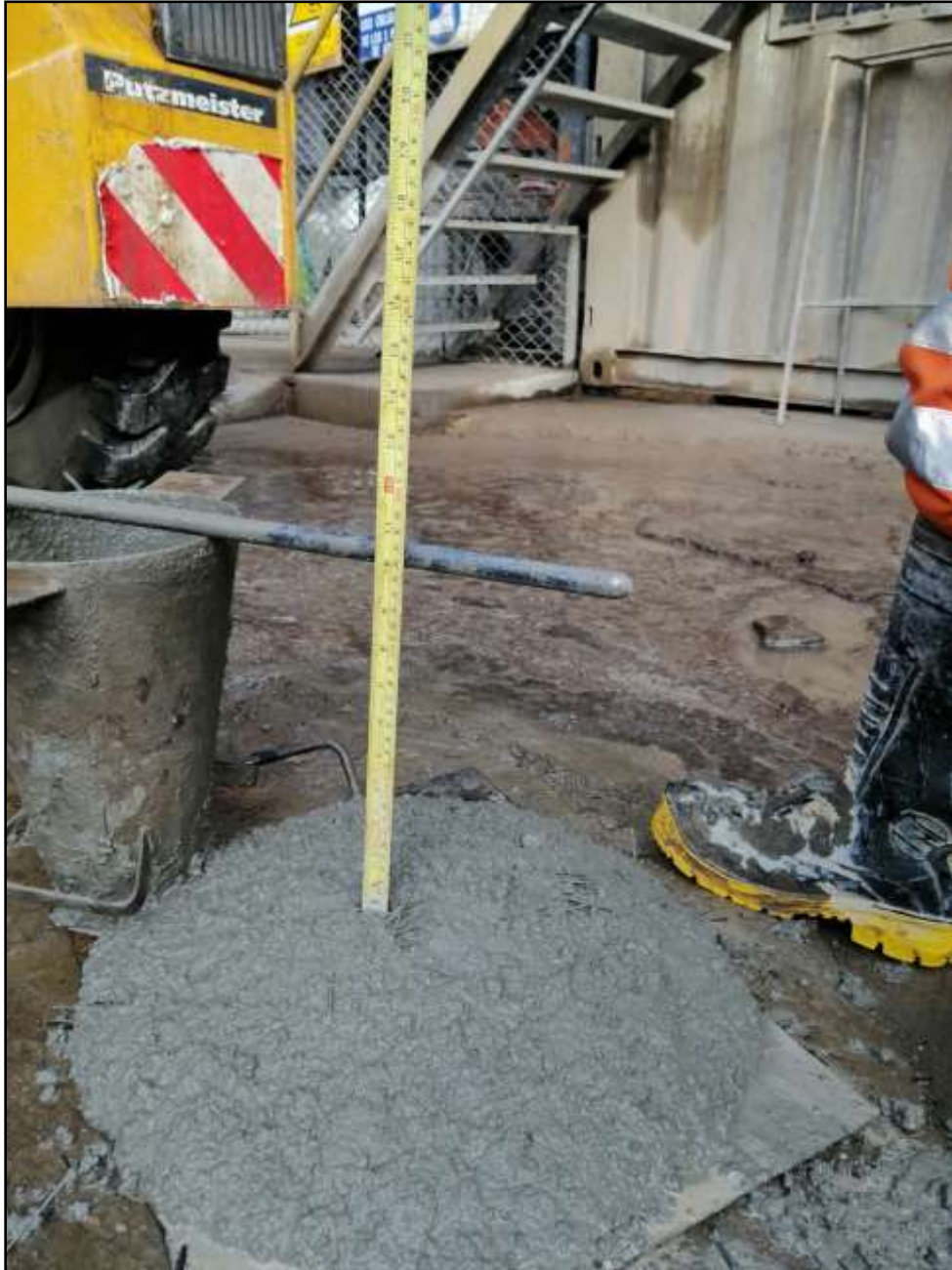
*Fuente.* Elaboración propia

Anexo 24. Realización de la prueba de slump



*Fuente.* Elaboración propia

Anexo 25. Prueba de slump a 10" en superficie



Fuente. Elaboración propia

Anexo 26. Solicitud de ensayos para resistencia al flexo tracción PUCP

LABORATORIO DE  
ESTRUCTURAS  
ANTISISMICAS



**INFORME DE ENSAYOS**

EXPEDIENTE                      **INF - LE 157.18**

SOLICITANTE                      **VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.  
Av. Manuel Olguin N°375 - Urb. Los Granados  
Santiago de Surco, Lima**

**Obra: UNIDAD MINERA YAULI - LA OROYA - JUNIN**

TITULO                                      **DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD DEL CONCRETO CON  
FIBRAS, USANDO LOSA CUADRADA EN FLEXIÓN, CON  
CARGA CENTRADA Y APOYO PERIMETRAL**

FECHA                                      **18 DE JUNIO DEL 2018**

  
  
**Ing. Daniel Torrealva D.**  
Jefe de Laboratorio de  
Estructuras Antisismicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Av. Universitaria 1801, San Miguel  
T: 51-1 626-2000 anexo 4640  
F: 51-1 626 2089  
lodi@pucp.edu.pe

[www.pucp.edu.pe](http://www.pucp.edu.pe)

*Fuente.* Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 27. 1er Ensayo al flexo tracción realizada en la PUCP

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y OBSERVACIONES PRE Y POST-ENSAYO**  
(FLEXIÓN CON CARGA CENTRADA EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, APOYADA EN SUS CUATRO EXTREMOS)

<b>NORMA DE ENSAYO:</b>	EFNARC 1998 (Acápite 10.4)	<b>Requisitos Norma:</b>	$l_{máx}$ : 610mm = (600+10)	$t_{máx}$ : 110mm = (100+10)	
<b>SOLICITANTE:</b>	VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	(Valores Admisibles)	$l_{mín}$ : 590mm = (600-10)	$t_{mín}$ : 100mm = (100-0)	
<b>MUESTRAS:</b>	06 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaboradas por el cliente:				
P-1 : P1	Fibra: Sintética	Dosificación: 4 kg/m <sup>3</sup>	P-4 : P4	Fibra: Sintética	Dosificación: 6 kg/m <sup>3</sup>
P-2 : P2	Fibra: Sintética	Dosificación: 4 kg/m <sup>3</sup>	P-5 : P5	Fibra: Sintética	Dosificación: 6 kg/m <sup>3</sup>
P-3 : P3	Fibra: Sintética	Dosificación: 4 kg/m <sup>3</sup>	P-6 : P6	Fibra: Sintética	Dosificación: 6 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROCEDENCIA:</b>	UNIDAD MINERA YAULI - LA OROYA - JUNIN				
<b>FECHA DE LANZADO:</b>	8 de mayo de 2018				
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	12 de junio de 2018				
<b>CONDICIONES MUESTRA:</b>	En condiciones de recepción.				
<b>COND. AMBIENTALES:</b>	Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T = 20°C y 84%H.R., aprox.)				

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS

Identific. del Espécimen	Tipo de Espéc.	Lado (mm)					Espesor "t" (mm) medido en:								"t" calculados (mm)		Fisura Radial (N°)	Validez del Resultado $\checkmark$	Observaciones: Antes, Durante y Después del Ensayo		
		$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	Prom	Perímetro				Interior (Sup. Rotura)				t c.l.	Prom				Adm. Máx Min	
							t1'	t2'	t3'	t4'	t1-1	t1-2	t1-3	t1-4							t2-1
P-1	Panel de Shotcrete Cuadrado	600	602	603	602	602	610	105	105	109	107	106	105	109	107	109	108.2	100	5	ok	-
P-2	Panel de Shotcrete Cuadrado	603	605	602	604	604	610	106	106	107	106	106	105	107	106	110	108.7	100	4	ok	-
P-3	Panel de Shotcrete Cuadrado	602	603	604	603	603	610	105	102	104	107	106	107	106	106	110	108.4	100	4	ok	-
P-4	Panel de Shotcrete Cuadrado	601	599	600	601	600	610	104	103	99	101	106	107	106	106	113	109.8	100	5	ok	-
P-5	Panel de Shotcrete Cuadrado	605	606	602	601	604	610	105	102	104	107	105	106	107	107	112	109.4	100	4	ok	-
P-6	Panel de Shotcrete Cuadrado	599	602	600	598	600	610	104	103	99	101	107	107	106	108	112	109.8	100	5	ok	-

INF-LE 157.18

VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.



**PUCP**

Pág. 2

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

## Anexo 28. 2do Ensayo al flexo tracción realizada en la PUCP

**TABLA 2. RESULTADOS DE ENSAYOS FLEXIÓN EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, (FLEXIÓN CON CARGA CENTRADA EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, APOYADA EN SUS CUATRO EXTREMOS)**

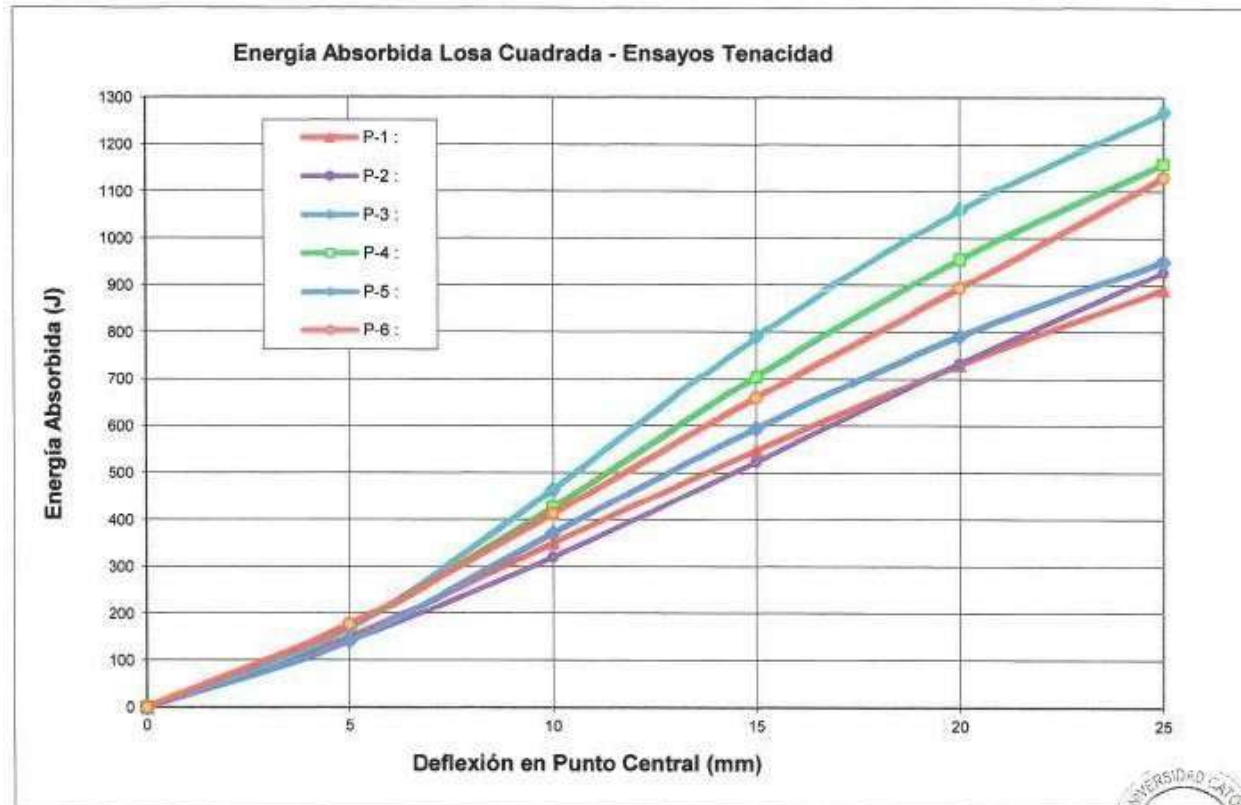
**NORMA DE ENSAYO:** EFNARC 1996 (Acápites 10.4)  
**SOLICITANTE:** VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.  
**MUESTRAS:** 06 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaboradas por el cliente.  
**PROCEDENCIA:** UNIDAD MINERA YAULI - LA OROYA - JUNIN  
**FECHA DE FABRICACIÓN:** 8 de mayo de 2018  
**FECHA DE ENSAYO:** 12 de junio de 2018  
**CONDICIONES MUESTRA:** En condiciones de recepción  
**COND. AMBIENTALES:** Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T= 20°C y 84%H.R., aprox.)

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados								
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima A alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-Final Ensayo*
P-1 :	Carga (kN)	43.826	44.755	29.705	39.875	40.689	38.405	34.072	30.374	29.705
	Deflexión (mm)	1.614	4.405	25.918	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.918
	Energ. Abs. (J)	22.913	124.624	918.043	149.143	348.784	546.924	730.066	890.433	918.043
P-2 :	Carga (kN)	48.440	48.440	35.303	32.375	36.891	42.310	41.567	35.803	35.303
	Deflexión (mm)	1.317	1.317	25.567	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.567
	Energ. Abs. (J)	22.109	22.109	947.811	141.042	319.092	523.029	733.129	927.655	947.811
P-3 :	Carga (kN)	39.675	47.400	28.353	41.772	47.198	42.896	35.254	29.160	28.353
	Deflexión (mm)	1.447	8.826	25.582	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.582
	Energ. Abs. (J)	15.884	314.269	967.481	140.747	369.831	593.751	791.006	950.753	967.481
P-4 :	Carga (kN)	62.014	62.014	37.062	46.105	54.026	54.330	45.418	37.667	37.062
	Deflexión (mm)	2.146	2.146	25.749	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.749
	Energ. Abs. (J)	37.356	37.356	1186.412	170.141	425.119	704.734	955.147	1158.416	1186.412
P-5 :	Carga (kN)	58.221	68.064	35.142	44.099	67.260	60.799	47.882	36.499	35.142
	Deflexión (mm)	1.831	9.690	25.688	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.688
	Energ. Abs. (J)	36.227	442.577	1293.723	167.571	463.488	790.353	1061.557	1289.038	1293.723
P-6 :	Carga (kN)	54.258	54.258	42.961	42.731	49.414	48.376	48.500	43.576	42.961
	Deflexión (mm)	1.505	1.505	25.861	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.861
	Energ. Abs. (J)	29.138	29.138	1165.816	175.584	411.400	659.351	892.929	1128.611	1165.816





Anexo 29. Ensayo al flexo tracción evolución energía absorbida



INF-LE 157.18

LOSA CUADRADA DE CONCRETO



LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS

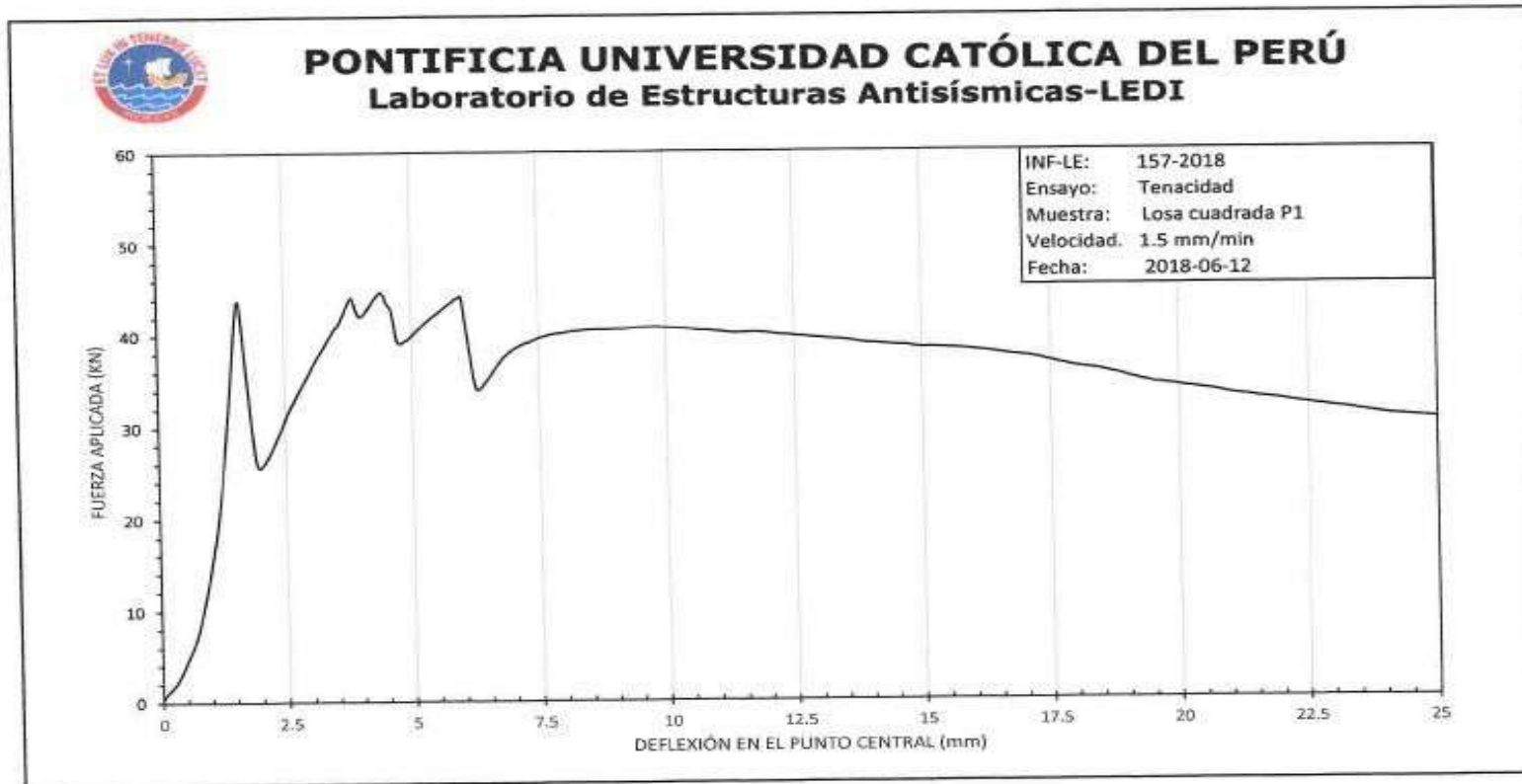


**PUCP**

Pág. 6

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 30. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 1



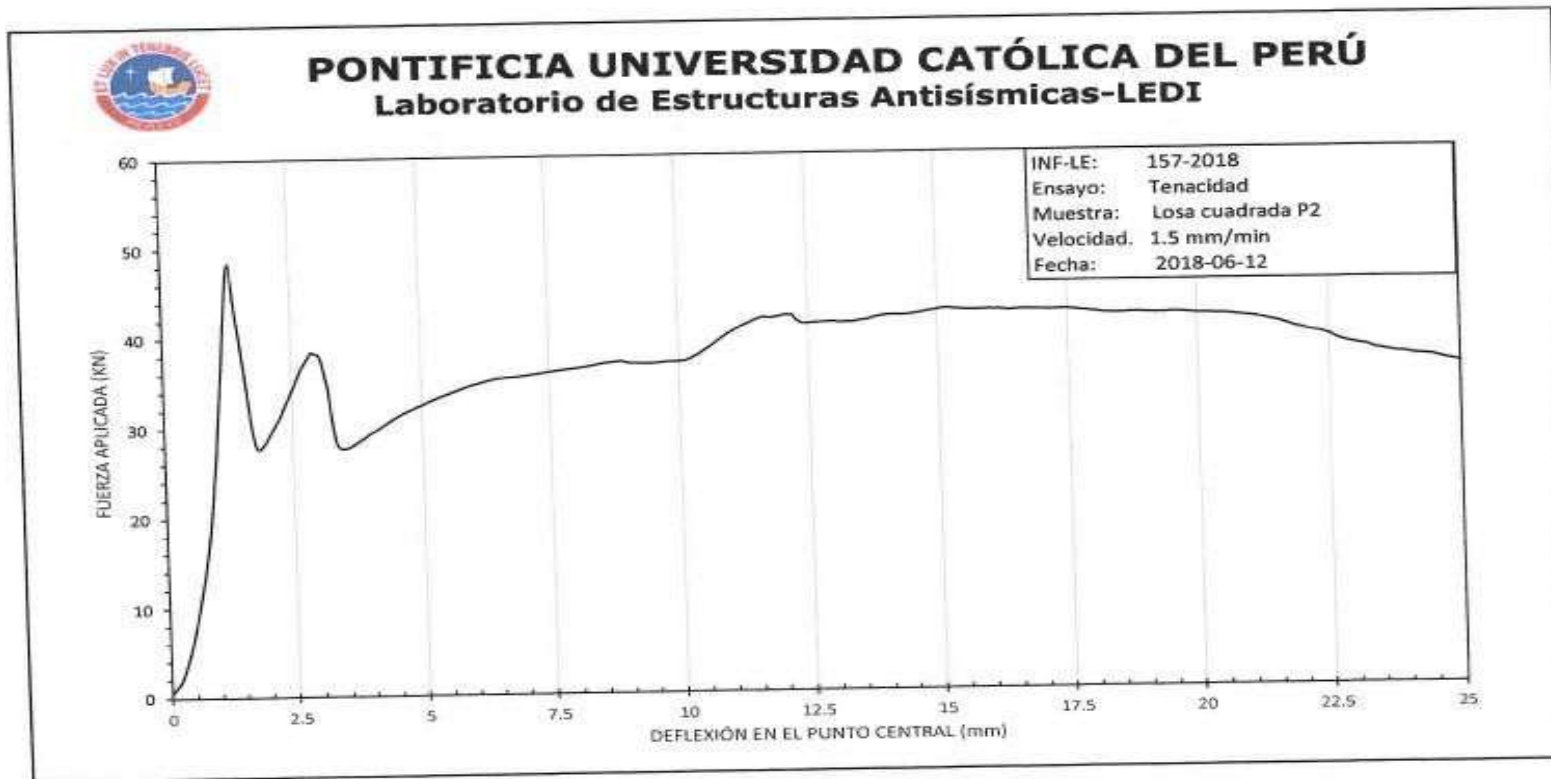
INF-LE: 157-2018

CURVAS CARGA - DESPLAZAMIENTO



Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 31. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 2



INF-LE: 157-2018

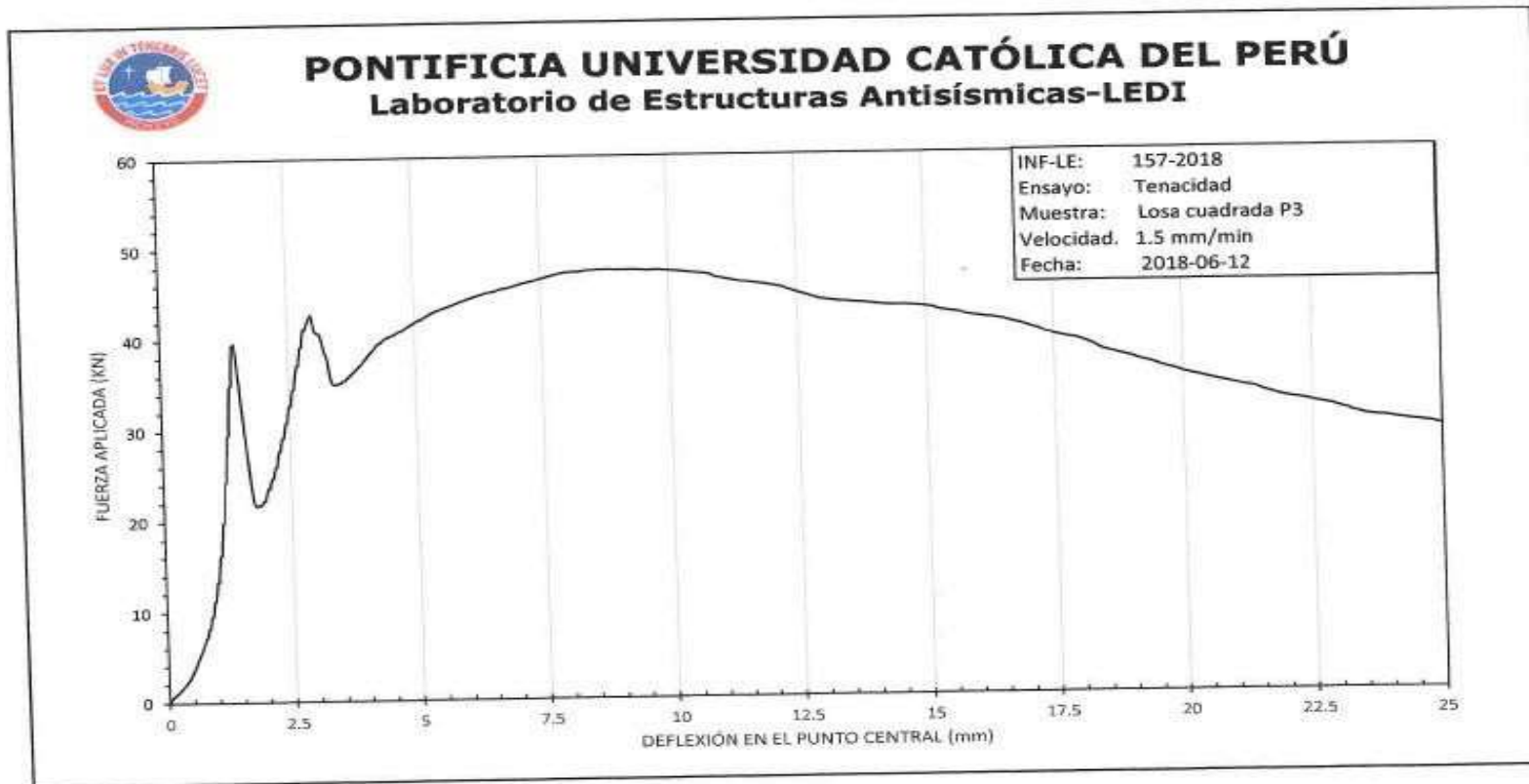
CURVAS CARGA - DESPLAZAMIENTO



Pag. 8

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 32. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 3



INF-LE: 157-2018

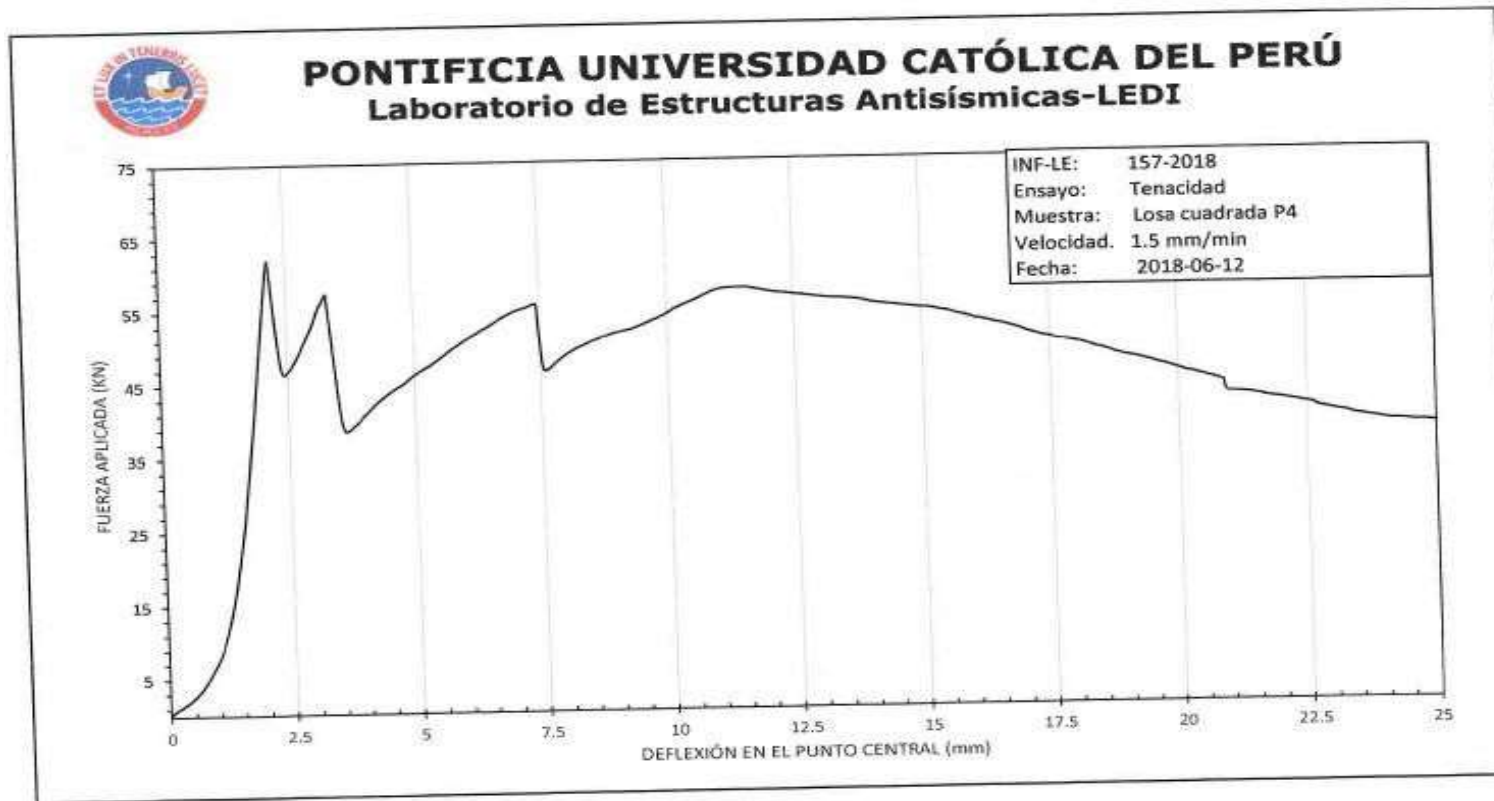
CURVAS CARGA - DESPLAZAMIENTO



Pag. 9

Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 33. Ensayo fuerza aplicada KN vs deflexión muestra 4



INF-LE: 157-2018

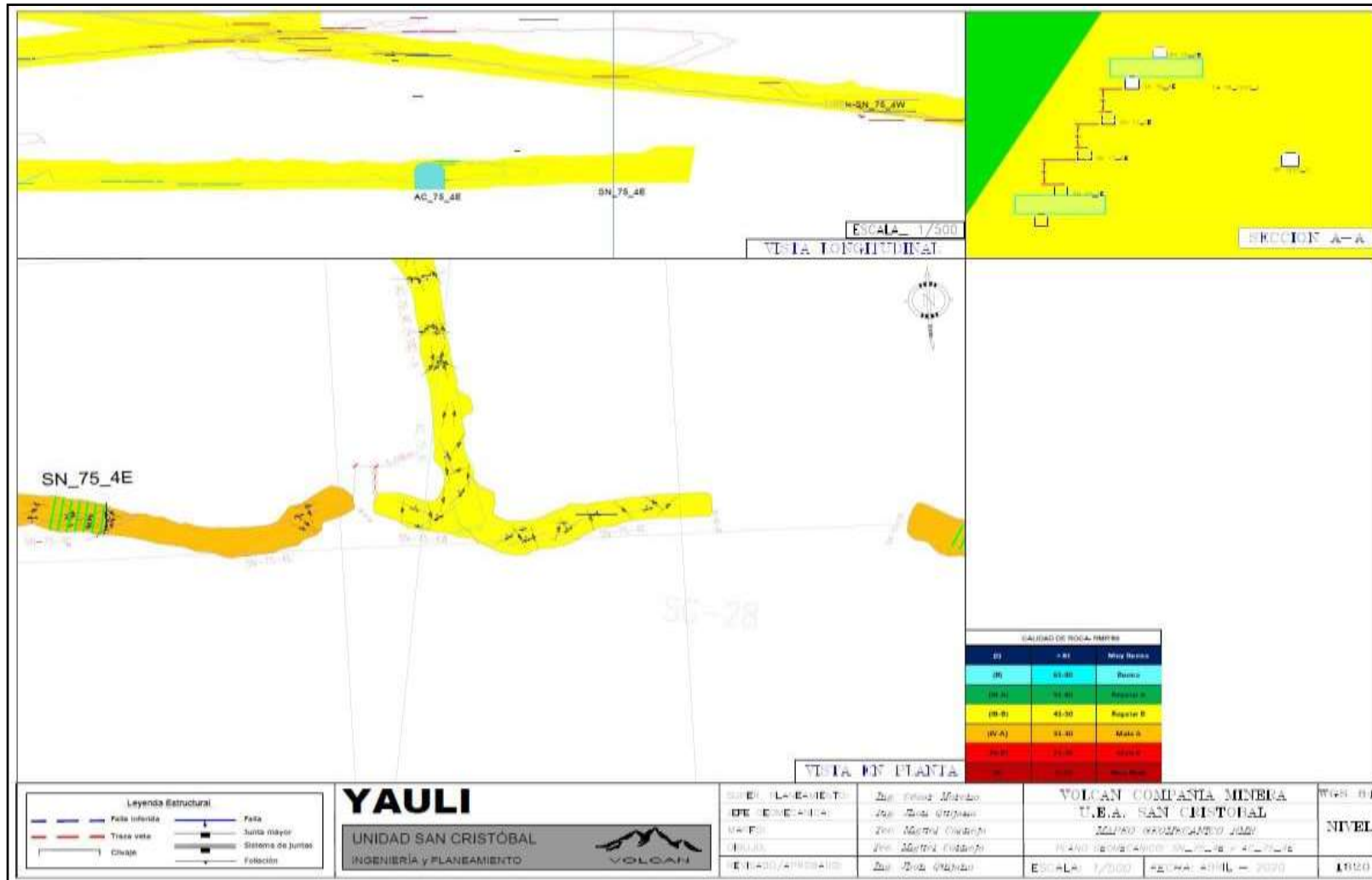
CURVAS CARGA - DESPLAZAMIENTO



Pag. 10

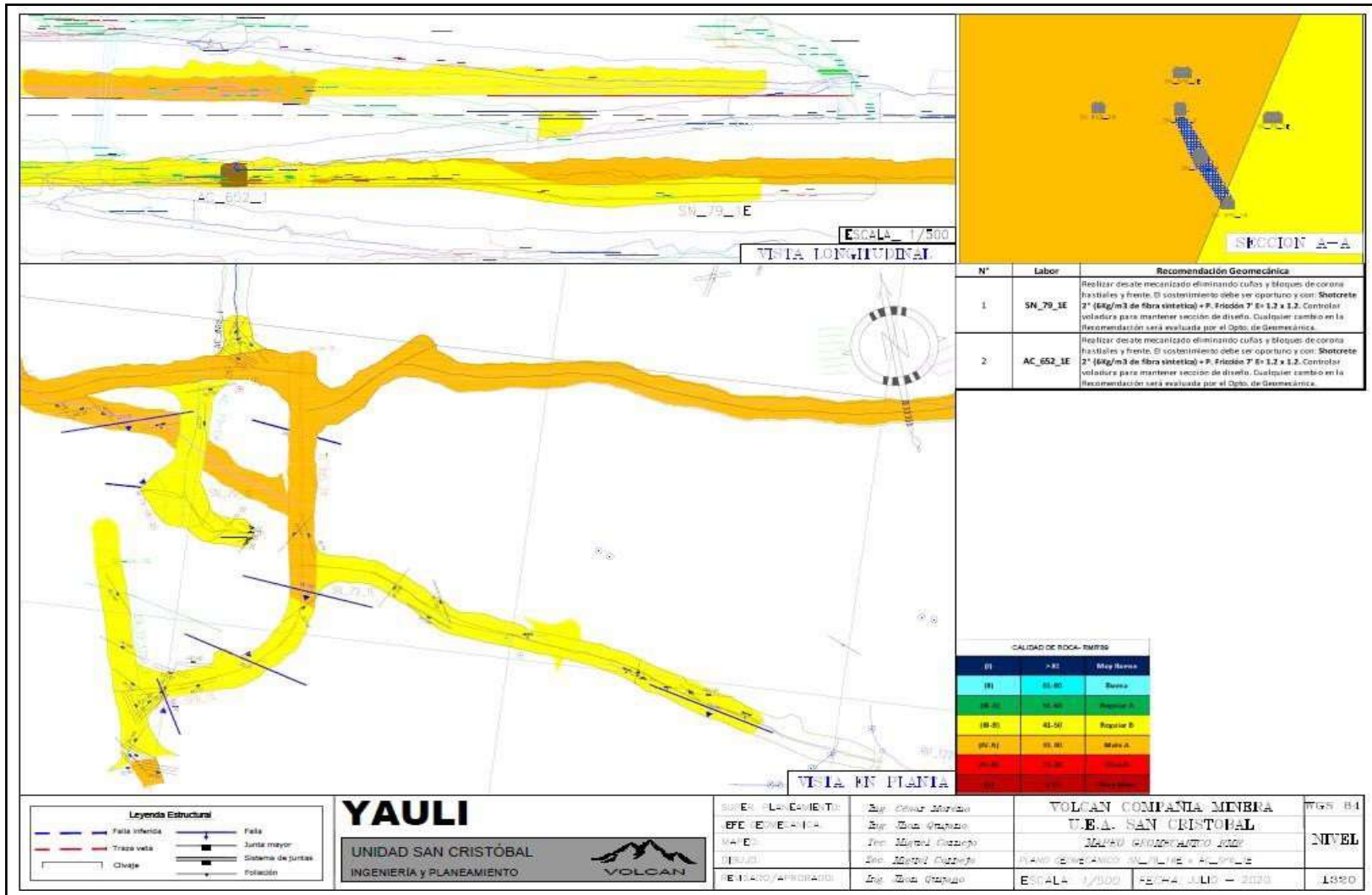
Fuente. Laboratorio de concreto Volcan

Anexo 34. Plano geomecánico zonificación calidad de roca SN\_75\_4E



Fuente. Elaboración propia

Anexo 35. Plano geomecánico zonificación calidad de roca SN\_79\_1E



Fuente. Elaboración propia

Anexo 36. Validación de instrumento I


**Encuesta de juicio de experto N° 1**

**INSTRUCCIONES**

Marque con un aspa (X) en cada casilla de acuerdo a la siguiente manera:

- (1) Totalmente en desacuerdo    (2) En desacuerdo    (3) Ni de acuerdo  
 (4) De acuerdo    (5) Totalmente de acuerdo

N°	PREGUNTAS	1	2	3	4	5
1	¿Usted cree que incrementando fibra metálica / m3 se eleva la resistencia a la compresión del concreto?				X	
2	¿Usted cree que incrementando fibra metálica / m3 se eleva la resistencia al flexo tracción?					X
3	¿Usted cree que con la granulometría recomendada por el ASTM -136 se tiene buena adherencia del shotcrete?				X	
4	¿Usted cree que el sostenimiento dependerá de la calidad de roca que se tiene en una excavación?				X	
5	¿Usted cree que antes de realizar el lanzado del shotcrete sobre la superficie de la roca es necesario regar con agua para polvo y otras impurezas?					X
6	¿Usted cree que antes de realizar el lanzado del shotcrete se debe realizar el desatado de rocas sueltas?					X
7	¿Usted cree que el uso de calibradores uniformiza el espesor adecuado del shotcrete al momento de lanzar?				X	
8	¿Usted cree que es necesario realizar la prueba del slump antes de realizar el lanzado del shotcrete sobre la superficie de la roca?					X
9	¿Usted cree que con muchos finos mas de 5% se altera la relación de agua/cemento				X	
10	¿Usted cree que realizar un lanzado con deficiente aire genera un mayor rebote y la adherencia es deficiente?					X

Ing. José Luis Paucar  


Fuente. Elaboración propia



Anexo 37. Validación de instrumento II

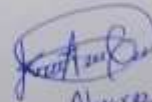
**Encuesta de juicio de experto N° 2**

**INSTRUCCIONES**

Marque con un aspa (X) en cada casilla de acuerdo a la siguiente manera:

- (1) Totalmente en desacuerdo    (2) En desacuerdo    (3) Ni de acuerdo  
 (4) De acuerdo    (5) Totalmente de acuerdo

N°	PREGUNTAS	1	2	3	4	5
1	¿Usted cree que incrementando fibra metálica / m3 se eleva la resistencia a la compresión del concreto?				X	
2	¿Usted cree que incrementando fibra metálica / m3 se eleva la resistencia al flexo tracción?					X
3	¿Usted cree que con la granulometría recomendada por el ASTM -136 se tiene buena adherencia del shotcrete?				X	
4	¿Usted cree que el sostenimiento dependerá de la calidad de roca que se tiene en una excavación?					X
5	¿Usted cree que antes de realizar el lanzado del shotcrete sobre la superficie de la roca es necesario regar con agua para polvo y otras impurezas?				X	
6	¿Usted cree que antes de realizar el lanzado del shotcrete se debe realizar el desatado de rocas sueltas?					X
7	¿Usted cree que el uso de calibradores uniformiza el espesor adecuado del shotcrete al momento de lanzar?					X
8	¿Usted cree que es necesario realizar la prueba del slump antes de realizar el lanzado del shotcrete sobre la superficie de la roca?				X	
9	¿Usted cree que con muchos finos mas de 5% se altera la relación de agua/cemento					X
10	¿Usted cree que realizar un lanzado con deficiente aire genera un mayor rebote y la adherencia es deficiente?					X

  
 Jon Kammy Alvarez Contreras.

Fuente. Elaboración propia