

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación del uso de fibra sintética versus fibra  
metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda  
en la galería 651, NV. 100 Unidad Minera Raura - 2018**

Geordy Nerhu Neira Perez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# **ASESOR**

Ing. Julio Fredy Porras Mayta

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios en primer lugar por la vida y la salud que me concede para realizar la tesis.

A la Universidad Continental que abrió sus puertas para poder albergarme y aprender de sus docentes, valiosos conocimientos que sin duda me servirán a lo largo de la vida en el desempeño de mi carrera profesional.

A la facultad de Ingeniería, por la calidad de formación que ha sido impartida durante cinco años de estudios universitarios.

A mi asesor Ing. Julio Fredy Porras Mayta, por haberme brindado valiosa información y conocimientos, por ser apoyo y guía en el desarrollo de la tesis.

Al gerente de la unidad minera Raura, por haber permitido recabar información valiosa de su prestigiosa empresa.

Agradecer también a todas las personas, familiares y amigos, que contribuyeron al logro de esta meta.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Julio y Elma por ser apoyo y soporte en mi formación profesional.

A mi novia quien estuvo conmigo en todo momento alentándome a culminar mi tesis.

# ÍNDICE

Asesor .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Índice.....	v
Índice de tablas .....	viii
Índice de figuras .....	ix
Resumen .....	xi
Abstract .....	xii
Introducción.....	xiii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	15
1.1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.2. Formulación del problema .....	15
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo general .....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Justificación e importancia .....	17
1.3.1. Justificación práctica.....	17
1.3.2. Justificación metodológica.....	17
1.4. Hipótesis de la investigación.....	17
1.4.1. Hipótesis general.....	17
1.4.2. Hipótesis específicas.....	17
1.5. Identificación de variables.....	18
1.5.1. Variables independientes .....	18
1.5.2. Variable dependiente.....	18
1.6. Matriz de operacionalización de variables .....	19
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>20</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	20
2.2. Generalidades de la unidad minera .....	23
2.2.1. Ubicación.....	23

2.2.2. Accesibilidad .....	24
2.2.3. Clima, vegetación y relieve.....	24
2.2.4. Recursos humanos.....	25
2.2.5. Recursos energéticos.....	25
2.2.6. Planta concentradora .....	25
2.2.7. Medio ambiente .....	26
2.2.8. Geología.....	28
2.3. Bases teóricas .....	32
2.3.1. Fibra .....	32
2.3.2. El hormigón proyectado o <i>shotcrete</i> .....	44
2.3.2.1. Método por vía seca .....	46
2.3.2.2. Método por vía húmeda .....	47
2.3.2.3. Operación y calidad .....	52
2.4. Definición de términos básicos .....	61
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>64</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>64</b>
3.1. Método y alcances de la investigación.....	64
3.1.1. Método de la investigación .....	64
3.1.2. Alcances de la investigación .....	64
3.2. Diseño de la investigación .....	65
3.2.1. Diseño general .....	65
3.2.2. Diseño específico .....	65
3.2.3. Tipo de investigación.....	65
3.2.4. Nivel de investigación.....	65
3.3. Población y muestra .....	66
3.3.1. Población.....	66
3.3.2. Muestra .....	66
3.3.3. Ámbito de estudio.....	66
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	67
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	67
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	67
3.5. Técnicas de tratamiento de datos .....	67
3.5.1. Ensayos de laboratorio.....	67
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>69</b>

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	69
4.1.1. Ensayo de resistencia a la compresión de núcleos cilíndricos de concreto.....	70
4.1.2. Ensayo de absorción de energía con paneles cuadrados .....	76
4.1.3. Diseño de mezcla del concreto .....	80
4.1.3.1. Análisis de los costos.....	81
4.2. Discusión de resultados .....	83
4.2.1. Resistencia a la compresión.....	83
4.2.2. Resultados de la tenacidad –absorción de energía.....	84
4.2.3. Dosificación de fibra .....	85
4.2.4. Resultado de costos .....	85
Conclusiones.....	87
Recomendaciones.....	88
Lista de referencias .....	89
Anexos .....	91



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	19
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las fibras de polipropileno en pavimentos de hormigón.....	44
Tabla 3. Comparación de método vía seca/vía húmeda .....	52
Tabla 4. Resultado de tenacidad de paneles .....	68
Tabla 5. Factores de corrección .....	72
Tabla 6. Resumen de ensayos a la compresión de testigos diamantinos .....	73
Tabla 7. Resumen de ensayos a la compresión de testigos diamantados con fibra sintética .....	74
Tabla 8. Resultados de tenacidad .....	78
Tabla 9. Diseño de mezcla de concreto fibra metálica .....	80
Tabla 10. Diseño de mezcla con fibra sintética .....	81
Tabla 11. Precio unitario de materiales .....	82
Tabla 12. Precio unitario por metro cúbico con fibra sintética .....	82
Tabla 13. Precio unitario por metro cúbico con fibra metálica .....	82
Tabla 14. Resistencia a la compresión.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y accesos a la mina Raura .....	24
Figura 2. Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB para refuerzo del shotcrete. ....	33
Figura 3. Características geométricas de las fibras de acero.....	34
Figura 4. Microfibra de polipropileno. ....	40
Figura 5. Macrofibra de polipropileno Tipo I. ....	41
Figura 6. Macrofibra de polipropileno Tipo II. ....	41
Figura 7. Erizo de fibra de polipropileno.....	42
Figura 8. Método de shotcrete vía seca. ....	47
Figura 9. Método de shotcrete vía húmeda.....	51
Figura 10. Materiales de shotcrete. ....	54
Figura 11. Preparación de labor. ....	55
Figura 12. Planta de concreto – CJ Netcom.....	55
Figura 13. Gradación de agregado.....	57
Figura 14. Proceso de lanzado de concreto perpendicular. ....	58
Figura 15. Proceso de lanzado de concreto en molde de panel para ensayos	58
Figura 16. Penetrómetro y rangos aceptables de fraguado inicial.....	59
Figura 17. Proceso de lanzado de concreto en molde de panel para ensayos	60
Figura 18. Galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. ....	66
Figura 19. Extracción de muestra con fibra metálica.....	69
Figura 20. Extracción de muestra con fibra sintética.....	69
Figura 21. Equipo de extracción diamantina .....	70
Figura 22. Dimensiones de un núcleo cilíndrico de concreto. ....	71
Figura 23. Fallas típicas en cilindros sometidos a compresión ASTM C39 .....	71
Figura 24. Fallas típicas en el ensayo de compresión ASTM C39 .....	72
Figura 25. Resistencia a la compresión con fibra metálica (14 días) .....	73
Figura 26. Resistencia a la compresión en 28 días con fibra metálica.....	74
Figura 27. Resistencia a la compresión de 14 días con fibra sintética .....	75
Figura 28. Resistencia a la compresión a los 28 días con fibra sintética .....	75
Figura 29. Aplicación de cargas en paneles cuadrados. ....	76
Figura 30. Panel cuadrado .....	77
Figura 31. Colocación de panel cuadrado.....	77
Figura 32. Curva de tensión en vigas al centro del panel.....	78

Figura 33. Energía absorbida – fibra sintética .....	79
Figura 34. Energía absorbida – metálica.....	79
Figura 35. Comparación de resistencia.....	84
Figura 36. Comparación de absorción energía fibra metálica vs fibra sintética	84
Figura 37. Comparación de cantidad de fibra sintética vs fibra metálica.....	85
Figura 38. Costo por m <sup>3</sup> de fibra sintética vs fibra metálica.....	86

## RESUMEN

La tesis se centra en la realidad problemática donde el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda con fibra metálica que se viene aplicando de forma mecanizada, presentan algunas dificultades en cuanto a la absorción de energía, durabilidad y seguridad del sostenimiento en las labores. Es por lo que se ha planteado el siguiente problema ¿cuál es el resultado de la evaluación del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 - nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018?

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

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

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

**Palabras clave:** evaluación, fibra metálica, fibra sintética, sostenimiento con *shotcrete*

## ABSTRACT

The thesis focuses on the problematic reality where the support with wet shotcrete with metallic fiber that has been applied in a mechanized way, presents some difficulties in terms of energy absorption, durability, and security of the support in the work.

Therefore, the following problem has been raised: what is the result of the evaluation of the use of synthetic fiber versus metallic fiber in the support with wet shotcrete in the gallery - 651 - level 100, mining unit Raura S. A. 2018?

The main objective of this thesis is to evaluate the result of the use of synthetic fiber versus metallic fiber in the support of wet shotcrete in the gallery - 651 - level 100, mining unit Raura S. A. 2018.

The main hypothesis is that, with the use of synthetic fiber, favorable results are shown versus metallic fiber in the support of wet shotcrete in the gallery - 651 - level 100, mining unit S. A. 2018.

In the development of the research, the methodology used is applied, the level is descriptive - explanatory, and the design is experimental; is applied as population at level 100, mining unit Raura S. A. and as sample to gallery - 651 - level 100, mining unit Raura S. A.

With the contrast of hypotheses, the following results were obtained: the synthetic fiber had better result in relation to the metallic fiber, being better in compression resistance and tenacity with lower dosage, considering that the cost of the synthetic fiber is higher than the metallic fiber; therefore, synthetic fiber is a good option for improving wet shotcrete spraying.

**Keywords:** evaluation, metallic fiber, synthetic fiber, support with shotcrete

## INTRODUCCIÓN

En busca de mejoras, la unidad minera Raura se ha orientado en la implementación del tipo de sostenimiento *shotcrete* vía húmeda, teniendo un impacto favorable, el estudio geomecánico y condiciones geológicas permiten el trabajo bajo este tipo de sostenimiento. Se ha planteado el siguiente problema ¿cuál es el resultado de la evaluación del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018?

El objetivo principal de la tesis es evaluar el resultado del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018.

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

Para lo que, la tesis se ha desarrollado en cuatro capítulos, de la siguiente manera:

El capítulo I contiene el planteamiento y formulación del problema, que incluye el problema general y los específicos, los objetivos, la justificación, el objetivo, utilizando los verbos de investigación, justificación y la delimitación de la investigación.

El capítulo II contiene el marco teórico, que incluye los antecedentes de cinco autores de tesis, las bases teóricas, la definición de conceptos, las hipótesis y las variables de estudio, y la operacionalización de variables.

El capítulo III está referido a la metodología de la investigación: método, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y los procedimientos de recolección y análisis de los datos.

El capítulo IV contiene los resultados de la presente investigación que está compuesta por el análisis de los datos, la presentación de los resultados en tablas, gráficos y figuras, referidas al uso de las técnicas de procesamiento y análisis de los datos, presentación de resultados y la discusión de los resultados de la investigación.

Finalmente, se presenta las conclusiones como producto de contrastar las hipótesis y plantear las recomendaciones, asimismo incluir las referencias bibliográficas y los anexos que se adjuntan en la tesis según la estructura oficial.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema**

El sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda con fibra metálica que se viene aplicando de forma mecanizada, presenta algunas dificultades en cuanto a la absorción de energía, durabilidad y seguridad del sostenimiento en las labores. Si bien es cierto que la ley y la recuperación son altas, se tiene un margen operativo positivo, con la aplicación de sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda; con fibra sintética el sostenimiento obtendrá mayor absorción de energía, durabilidad y buenos resultados en la seguridad de las labores.

#### **1.1.2. Formulación del problema**

##### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el resultado de la evaluación del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018?



### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el resultado de la resistencia a la compresión uniaxial con uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda?
- ¿Cuál es el resultado de la tenacidad con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda?
- ¿Cuál es la dosificación de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda?
- ¿Cuál es la diferencia de costos con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar el resultado del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el resultado de la resistencia a la compresión uniaxial con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.
- Evaluar el resultado de la tenacidad con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.
- Evaluar la dosificación de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.

- Evaluar la diferencia de costos en el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Justificación práctica**

La tesis tiene una justificación práctica, ya que, por medio de los resultados, fruto de la siguiente investigación se pretende solucionar los problemas que se presenta en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018.

#### **1.3.2. Justificación metodológica**

La tesis se justifica en la parte metodológica, ya que, el autor usó metodologías propias para la toma de datos y procesamiento, que pueden servir para otras futuras investigaciones similares.

### **1.4. Hipótesis de la investigación**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

Con empleo de la fibra sintética se evidencian resultados favorables versus la fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100 de la unidad minera Raura S. A. 2018.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La resistencia a la compresión uniaxial con el uso de fibra sintética es mayor versus la fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.
- El resultado de la flexotracción con el uso de fibra sintética es mayor versus la fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.
- La dosificación de la fibra sintética es menor versus la fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100 de la unidad minera Raura S. A. 2018.

- Los costos con la incorporación de la fibra sintética son menores versus la fibra metálica en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.

## **1.5. Identificación de variables**

### **1.5.1. Variables independientes**

Pertenecen a este grupo las que ejercen influencia o causan efecto o determinan a otras variables llamadas dependientes, y son las que permiten explicar a estas.

**X:** fibra sintética, fibra metálica

### **1.5.2. Variable dependiente**

**Y:** sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda

## 1.6. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición de variable	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
<b>Fibra sintética - fibra metálica</b>				
<b>VI</b>	Filamento alargado y esbelto en forma de manojo, malla o hebra de material natural o manufacturado que puede ser sintético o metálico, distribuido a través del concreto fresco, según la dosificación y el tipo de fibra a usar según análisis de costos y resistencia.	Fibra sintética	Dosificación	- kg
<b>Fibra sintética</b>		Fibra metálica	- Costos	- S/
<b>Fibra metálica</b>				
<b>VD</b>	El <i>shotcrete</i> consiste en hormigón o mortero diseñados para ser proyectados mediante equipos mecánicos con aire a presión, con resistencias y trabajabilidades, según requerimientos. Algunas propiedades importantes del <i>shotcrete</i> son la consistencia adecuada y la resistencia temprana en su estado fresco (sobre todo para el soporte de excavaciones subterráneas), y la resistencia a la compresión y durabilidad en su estado endurecido, sus componentes son áridos, cemento y agua, y se puede complementar con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.	Propiedades de <i>shotcrete</i> vía húmeda	Resistencia a la compresión	- %
<i>Shotcrete</i>			Absorción de energía – tenacidad	- kg/cm <sup>2</sup> - Joules

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

En la tesis “*Sostenimiento con shotcrete vía húmeda – mina Cobriza*” (1), se tiene como objetivo “determinar el uso del *shotcrete* con fibras como un método seguro para el sostenimiento a corto plazo”, y como conclusiones: “de los cuadros de ensayo de las muestras se concluye que para ambas fibras se usaron las mismas propiedades (la dosificación, el *slump*) y se ensayaron las muestras el mismo día, asegurándose que las condiciones climáticas eran las mismas, cumpliendo así con las condiciones de ensayo” (1).

La presente tesis muestra de manera comparativa los distintos tipos de sostenimiento que se usan actualmente en la mina Cobriza. Se toma como referencia, además, el uso del *shotcrete* vía húmeda como método de ensayo, por ser este un sistema de sostenimiento relativamente nuevo usado por *Doe Run* desde el año 1999, en la actualidad se utilizan equipos modernos para la aplicación del tipo de sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda en las labores de la mina Cobriza (1).

En la tesis “*Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal - minera Bateas*” (2), el objetivo fue el diseño y aplicación correcta del *shotcrete* por vía húmeda

optimizará el sostenimiento, logrando así beneficios económicos como también un considerable ahorro de tiempo y logrando mayor seguridad para los trabajadores de operaciones de mina en la minera Bateas. Llegando a la conclusión que, la aplicación del método por vía húmeda favorece la operación de mina, ya que presenta niveles bajos de polución, debiendo utilizarse en todas las labores mineras, siempre y cuando se tenga las condiciones necesarias, como es el caso de la unidad minera San Cristóbal (2).

La tesis se ha realizado en la mina Bateas, unidad San Cristóbal, distrito minero de Caylloma; esta unidad pertenece a la unidad minera Bateas, de *Fortuna Silver Mines Inc.* Su mineralización, principalmente de plata, se encuentra hospedada en vetas de rumbo predominante noreste. La aplicación de *shotcrete* como sostenimiento definitivo en las labores fue debido a la calidad de la roca, por lo que la minera Bateas busca optimizar los métodos de sostenimiento que se utilizan en la mina. Para la optimización de la aplicación de *shotcrete* vía húmeda, se tomaron en cuenta las características geométricas, geomecánicas y sostenimiento, lo que dio como resultados el diseño óptimo de aplicación en interior de mina para mejorar el avance de las labores de exploración, desarrollo y preparación de la mina (2).

En la tesis “*Uso de shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en la sociedad minera Corona S. A. – Yauricocha*” (3), se tiene como objetivo general “determinar la influencia del uso de sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda con fibra metálica en la ocurrencia de caída de rocas en la sociedad minera Corona – Yauricocha”; se concluye que el uso de sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda con fibra metálica influye de una manera positiva en la ocurrencia de caída de rocas en la minera Yauricocha, esto teniendo en cuenta los muestreos realizados en dos labores de alto riesgo (3).

En la tesis se puede evidenciar con los muestreos realizados en la zona de Antacaca 920 y Antacaca 970 de la mina Yauricocha, que con fibra metálica se aprecia una buena resistencia y velocidad de compactación e influye de manera favorable en la reducción de caída de rocas, por lo tanto, mayor estabilidad del macizo rocoso y una mayor seguridad (3).

En la tesis "*Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión*" (4), el objetivo fue analizar la influencia de distintas dosificaciones de fibra sintética y metálica en el *shotcrete*, observando su comportamiento estructural - mecánico al someterlo a ensayos para determinar su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión (4).

Como conclusión, el asentamiento del *shotcrete* disminuye conforme se adiciona más fibras, con la máxima dosificación de fibra metálica ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) se reduce un 30.5% y con la máxima dosificación de fibra sintética ( $8 \text{ kg/m}^3$ ) un 32.9% respecto al diseño sin fibra, lo que dificulta la trabajabilidad y bombeabilidad, por lo que, valores entre 8 pulgadas y 10 pulgadas son los adecuados (4).

Por lo tanto, a un menor costo utilizando fibra sintética que fibra metálica en el *shotcrete*, se obtienen mismos valores de resistencia a la compresión de núcleos, en cuanto al comportamiento de las fibras metálicas en el deterioro de la resistencia es mejor que el de las fibras sintéticas. Por lo tanto, el diseño es óptimo considerando factores de trabajabilidad, resistencia a la compresión de núcleos de concreto, resistencia a la flexión de vigas aserradas, absorción de energía de paneles de *shotcrete*, donde se obtiene, 30 kg de fibra metálica y con 6 kg de fibra sintética por metro cúbico de concreto. Las condiciones hiperestáticas del ensayo del panel cuadrado permiten la redistribución de la carga en comparación al ensayo isostático del panel circular (4).

En la tesis "*Influencia de las fibras de polipropileno en fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014*" (5), el objetivo fue determinar la influencia de las fibras de polipropileno para controlar las fisuras asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto. Y como conclusión, la investigación ha logrado determinar que el empleo de fibras de polipropileno en las mezclas de concreto modifica su consistencia medida a través del asentamiento con el cono de Abrams, existe una reducción del 10% (de  $1/2''$ ) con la dosis mínima (del orden de  $400 \text{ g/m}^3$ ) para ambos tamaños de fibra, en tanto la reducción máxima es del 40% (de  $2''$ ) y 45% (de  $2''$ ) con la

dosis mayor (del orden de  $1500 \text{ g/m}^3$ ) para 19 mm y 50 mm de tamaño de fibra respectivamente. Esto hace que influya en la trabajabilidad del concreto al momento de su colocación (5).

Al incorporar fibras de polipropileno en las mezclas de concreto en las diferentes dosis generan un ligero incremento, no significativo, en la resistencia a la compresión entre el 1% al 10% a los 7, 28 y 45 días con respecto a la mezcla patrón. La dosis de  $900 \text{ g/m}^3$ , para ambos tamaños de fibra tiene mejor respuesta en esta propiedad, puesto que a los 7, 28 y 45 días se comporta de manera favorable (5).

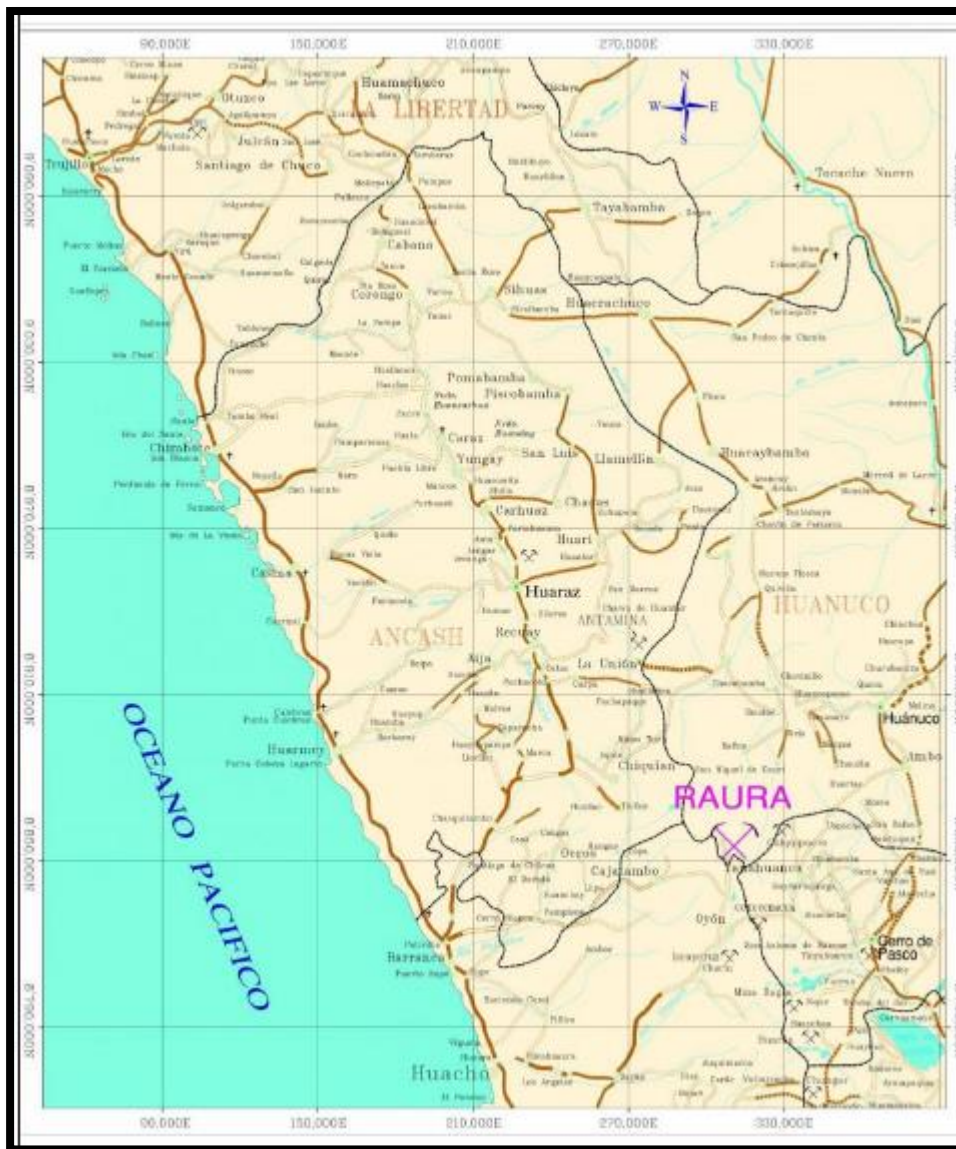
## **2.2. Generalidades de la unidad minera**

### **2.2.1. Ubicación**

El yacimiento minero de Raura se ubica en la cima de la Cordillera Occidental, políticamente entre los departamentos de Huánuco (provincia de Lauricocha) y Lima (provincia de Oyón) a una altitud de 4 500 a 4 800 m s. n. m. Coordenadas UTM son:

- 8 845 500 Norte
- 309 700 Este





**Figura 1. Ubicación y accesos a la mina Raura**

### 2.2.2. Accesibilidad

Raura es accesible desde la ciudad de Lima por una carretera asfaltada y afirmada, cubriéndose una ruta de: Lima - Huacho = 157 km asfaltada; Huacho - Sayán = 40 km asfaltada en buenas condiciones; Sayán - Churín = 60 km carretera afirmada; Churín - Oyón = 40 km afirmada; Oyón - Raura = 55 km carretera afirmada. El tiempo de viaje desde la ciudad de Lima es aproximadamente 10 horas.

### 2.2.3. Clima, vegetación y relieve

La mina Raura presenta un clima frío y seco, característico de la región Puna y cordillera. La temperatura varía entre los 13 °C y -10 °C

entre el día y la noche. El clima está dividido en dos estaciones marcadamente diferentes durante el año. Una seca y fría entre abril y noviembre, donde se producen las más bajas temperaturas, la otra estación húmeda y lluviosa se presenta entre los meses de diciembre y marzo, originando el incremento de las aguas debido a las precipitaciones sólidas y líquidas. La vegetación es restringida debido al clima frígido, es típica de la región Puna y cordillera, y constan de icho, yareta, huila - huila y pastos silvestres. La topografía de la región es accidentada y abrupta, con fuertes pendientes y quebradas profundas. Por su altitud, la zona se encuentra ubicada en las regiones Puna a Janca, 4 500 y 4 800 m s. n. m., respectivamente.

#### **2.2.4. Recursos humanos**

Circundantes al asiento minero de Raura, existen pueblos y comunidades pertenecientes tanto al departamento de Lima, Huánuco y Pasco. Raura da trabajo a cerca de 1 200 personas, todas pertenecientes a comunidades aledañas.

#### **2.2.5. Recursos energéticos**

La unidad minera Raura dispone de una central hidroeléctrica, que además está interconectada con el Sistema Interconectado del Centro (SIC). La central hidroeléctrica de Cashaucro, dispone de 2 turbinas hidráulicas, las que generan a plena carga 3 800 kW en forma continua. Esta hidroeléctrica dispone de 25 millones de metros cúbicos de agua almacenada como reserva, dicho volumen es administrado y dosificado mensualmente. Electrocentro es la empresa que suministra energía eléctrica contratada de 3 000 kW, cubriendo de esa manera la demanda a través del SIC. Con estas obras de infraestructura de energía eléctrica la empresa garantiza sus operaciones mineras

#### **2.2.6. Planta concentradora**

La planta concentradora de Raura trata minerales polimetálicos por el método de flotación como plata, cobre, plomo y zinc; obteniendo un concentrado de *Bulk*. La capacidad instalada es de 2200 TM/día. La

unidad minera Raura, debido a la complejidad del mineral extraído de la mina, ha optimizado la performance metalúrgica de la flotación, con buenos resultados, incrementando el valor del mineral y reduciendo significativamente el consumo de reactivos, entre otros. Uno de los logros que convierten a esta planta en una de las de más alto grado de optimización fue introducir por primera vez en el Perú un nuevo método y circuito de flotación de zinc en la planta concentradora, eliminando el relave de la primera limpieza como relave final, que significó la apertura de una puerta para el rechazo de pirita, la que normalmente era reciclada y retornaba a las desbastadoras de zinc, obteniéndose una mejora excelente en los resultados metalúrgicos. Se subió el grado del concentrado de zinc de 53.7% a 57.8% con una recuperación superior a 88.5% para una ley de cabeza promedio de 3.31%. En cuanto al plomo, se incrementó la recuperación de 87% a 90% en promedio. Para el cobre, ha permitido subir la ley del concentrado de 23.5% a 30%. La flotación rápida está basada en el concepto de captar los valores de los elementos metálicos tan pronto son liberados, es por lo que en la unidad minera Raura S. A. se comenzaron a realizar pruebas hace aproximadamente 12 años atrás. En octubre del 2008 se inició la operación del nuevo sistema automático de dosificación de cal que permite visualizar y controlar la dosificación desde un *PLC Stardom* ubicado en la oficina de Jefes de Guardia. El *PLC Stardom* recibe la señal de los transmisores de pH y emite una señal de apertura o cierre de las válvulas *pinch* para regular el ingreso de la cal de acuerdo al valor de pH necesario. Con este sistema el control de la dosificación de cal en el circuito de flotación de zinc es más eficiente. Se ha logrado reducir el consumo de este reactivo de 1.43 £/TM a 1.04 £/TM. La planta concentradora de la compañía minera Raura ha logrado introducir la utilización del JIG modificado para el tratamiento de minerales polimetálicos, tecnología utilizada antes solo en la concentración gravimétrica de oro y estaño.

### **2.2.7. Medio ambiente**

La unidad minera Raura está muy comprometida con el cuidado del medio Ambiente, más aún desde el año 2004 cuando obtuvo la

certificación ISO 14001 y así ha continuado desarrollando actividades de prevención, control y mejoramiento del manejo ambiental en el entorno de las operaciones, que se describen a continuación:

- Se controla la disposición subacuática de relaves en la laguna Caballococha, como un objetivo del Plan de Manejo Ambiental, siguiendo los lineamientos del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el que ha cumplido 51 meses de operación sin alterar el hábitat de la cuenca de Lauricocha.
- Se mantiene el Programa de Monitoreo de la Red de Efluentes, Red de Cuerpos Hídricos y Red de Aguas Subterráneas, las que descargan en las lagunas de Caballococha y Tinquicocha, y de esta última a las aguas de la cuenca de Lauricocha, comprobándose que los parámetros metálicos ensayados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.
- Se ha llevado a cabo la quinta campaña de Monitoreo Biológico y de Cuerpos Hídricos del sistema de lagunas Lauricocha, en la que se comprobó una disminución en la concentración de los metales analizados, en el aspecto hidrobiológico se aprecia un incremento en la densidad del fitoplancton en todas las lagunas y las concentraciones de arsénico y mercurio en el músculo de las truchas analizadas procedentes de las lagunas Tinquicocha, Chuspí y Patarcocha, se encontraron por debajo de los límites máximos recomendados por los estándares ambientales de referencia (CFIA). Se ha continuado con el manejo ambiental de los 12 proyectos del PAMA, para mantener su sostenibilidad; se han realizado mejoras en el mantenimiento y control del tajo Niño Perdido, Relavera Nieve Ucrol y Tanque Imhoff.
- Se ha continuado con el Programa de Monitoreo de los efluentes líquidos minero-metalúrgicos según R. M. N.° 011-96-EMA/MM y el Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire según la R. M. N.° 315-96-EMA/MM, en cumplimiento a la normatividad ambiental.

- Se implementaron diversos controles y mejoras en la infraestructura y operación de los sedimentadores de Tinquicocha, nivel 380, Shucshapa nivel 300 y el desarenador de Hidro, nivel 590, lo que mejoró la eficiencia en el tratamiento del manejo de los efluentes. En el interior de mina se implementó un sedimentador en el nivel 355; debido a la profundización de las labores se cuenta con 10 sedimentadores.
- Se realizó el estudio de "Planta de Tratamiento de Agua por Filtración Lenta" del agua proveniente de la laguna Locacocha, para ser implementado el 2011 en los sistemas de abastecimiento de agua potable de los campamentos, estas mejoras garantizan la provisión de buena calidad para los trabajadores en general.
- Se continúa con el mantenimiento del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) de la norma ISO 14001, herramienta valiosa que permite un desempeño ambiental cada vez más eficiente, creando conciencia en los trabajadores sobre la explotación minera responsable, con un compromiso decidido a prevenir la contaminación.
- Se realizaron pruebas piloto de cobertura de pastos mejorados, con el objetivo de recuperar áreas impactadas por los finos colectados en los sedimentadores de superficie, casos Tinquicocha, Hidro y Shucshapa, con resultados favorables.

## **2.2.8. Geología**

### **2.2.8.1. Geología regional**

Las rocas sedimentarias que afloran en los alrededores de la mina Raura pertenecen a las secuencias estratigráficas del Cretáceo. Las más antiguas se exponen al Suroeste y Oeste, pertenecen al grupo Goyllarisquizga, representadas por las formaciones Chimú y Carhuáz. En contacto por sobre escurrimiento se presentan la franja calcárea de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín inferior con potencia total de 1 200 m. La formación Jumasha ocupa la mayor área aflorante

y tiene un espesor de 800 m. Es la más importante porque alberga los yacimientos minerales.

### **Formación Chimú**

De edad Neocomiano a Valanginiano inferior. Son cuarcitas blancas y grises blanquecinas de grano fino a medio, presentándose en capas delgadas intercaladas con lutitas grises o negras y lechos de carbón, regionalmente son importantes por ser parte de la cuenca carbonífera de Oyón.

### **Formación Carhuaz**

De edad Valanginiano superior a Aptiano. Es una fase continental compuesta de areniscas, lutitas y cuarcitas que sobreyacen a la formación Chimú. Están en contacto con las calizas Jumasha por sobre escurrimiento.

### **Formación Jumasha**

Están debajo de las rocas anteriormente descritas en contacto por sobreescurrimiento, que tiene el rumbo regional del plegamiento andino N 30° W, son calizas en capas medianas a gruesas de color gris que cambian a un gris claro por intemperismo, su edad es Albiano superior a Turoniano. En el distrito minero de Raura, estas calizas han sido instruidas por un stock de composición granodiorítica, por lo que han generado halos con diferentes grados de alteración metamórfica, que se manifiestan en el contacto con una aureola de silicatos verde amarillentos de grano muy fino (*hornfels*) luego un halo de mármol. Las calizas de esta formación son receptivos importantes en la formación de los cuerpos de *skarn* con emplazamientos de plomo, zinc y cobre.

### **Rocas ígneas**

Se considera tres fases de actividad ígnea en un lapso geológico comprendido entre 8 a 11 millones de años (6). La primera fase está representada por una fase volcánica explosiva de

andesitas, dacitas y riódacitas y tobas riódacíticas del tipo explosivo. En contacto con las calizas Jumasha tiene fragmentos asimilados de esta última, en el área de *Gretty Brunilda* existen reemplazamientos importantes de minerales económicos de plomo-zinc que han dado lugar a la formación de cuerpos mineralizados de importancia en el cuerpo Gretty. Una segunda fase lo constituye la intrusión de granodiorita que viene a ser la roca intrusiva más antigua del área con una edad radiométrica de 11 millones de años. En sus contactos con la caliza se ha producido un halo de alteración metamórfico (*hornfels*), seguido de mármol.

En la superficie los afloramientos presentan superficies limonitizadas con tonalidades ocreamarillentas por efecto del intemperismo y procesos de oxidación - lixiviación. Finalmente, la última fase lo representa la intrusión del pórfido cuarífero-monzonítico de una edad radiométrica de 7 millones de años que originó también la formación de columnas de brecha y diques asociados al sistema de fallas Este - Oeste. Esta última fase está relacionada a la formación de cuerpos de *skarn* con reemplazamientos de zinc - plomo y vetas.

#### **2.2.8.2. Geología estructural**

Teniendo como patrón estructural los Andes centrales del Perú, el anticlinal Santa Ana y el sinclinal Caballococha son los plegamientos más importantes del área con rumbo N 20° -30 °W. El sobreescurrecimiento al Suroeste pone en contacto areniscas y cuarcitas del grupo Goyllarisquizga con las calizas Jumasha. Debido a fuerzas compresivas E-W se han producido varios sistemas de fracturas en N 65° - 80 °W (vetas Gianina, Abundancia, Roxana, Torre de Cristal, Flor de Loto). Fallas locales en bloques es un patrón estructural importante en Catuva.

Las últimas etapas de actividad tectónica por acción de estas mismas fuerzas originan fallas regionales que atraviesan el distrito

minero de Raura, representando una reactivación del sistema NE, desplazando a los sistemas NW y N.

### **2.2.8.3. Geología económica**

El período de mineralización en el distrito minero de Raura, se produjo probablemente entre los 8 a 10 millones de años con formación de minerales de cobre, zinc, plomo y plata. La mineralización se presenta principalmente como relleno de fracturas preexistentes (vetas), reemplazamientos metasomáticos de contacto (bolsonadas en *skarn*) y depósitos tipo *stock work*.

#### **Mineralización en vetas de dos sistemas de fracturas**

Son los que contienen toda la mineralización en vetas en Raura. El sistema más importante tiene rumbo N 60 °W a E-W. El otro sistema tiene rumbo N 65° - 80 °E. Existe un zoneamiento marcado en la mineralización de Raura, al norte, las vetas tienen minerales de cobre y plata, (freibergita) al sur se incrementan los minerales con contenido de plomo y zinc (galena y esfalerita).

#### **Mineralización en cuerpos en la zona de contacto metasomático (*exoskarn*) de las calizas Jumasha y los intrusivos pórfido cuarcíferos**

Se presentan cuerpos o bolsonadas con minerales de zinc, plomo y plata. El cuerpo de *skarn* con reemplazamiento de zinc - plomo más importante en el distrito minero de Raura tiene rumbo N 30 °W y buzamiento de 70 °W. El halo de alteración metasomático (*exoskarn*) tiene una potencia de 50 - 60 m y una longitud de 900 - 1,000 m, a lo largo de esta alteración se emplazan los cuerpos de Sur a Norte: Primavera, Betsheva, Catuva y Niño Perdido, la mineralización se presenta con reemplazamiento de esfalerita, marmatita, galena, calcopirita y diseminación de pirita. Hacia la caja techo en contacto con el intrusivo se forman cuerpos de pirita sacaroidea. La mineralización en este cuerpo presenta un zoneamiento vertical, en la parte alta se observa mayor contenido



de valores de zinc, plomo, plata y en el centro (nivel 490) se observan mayores valores de zinc, disminuyendo los valores de plomo. Y en profundidad (nivel 380) se incrementan los valores de cobre.

### **Mineralización tipo *stock work***

Son estructuras que encierran mineralización como relleno de fracturas menores irregulares, con diseminación y ligeros reemplazamientos masivos; como por ejemplo, el cuerpo Gayco que se emplaza en rocas metamórficas (*hornfels* de diópsida).

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Fibra**

Filamento alargado y esbelto en forma de manojo, malla o hebra de material natural o manufacturado que puede ser distribuido a través del concreto fresco (7).

#### **2.3.1.1. Fibra metálicas**

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

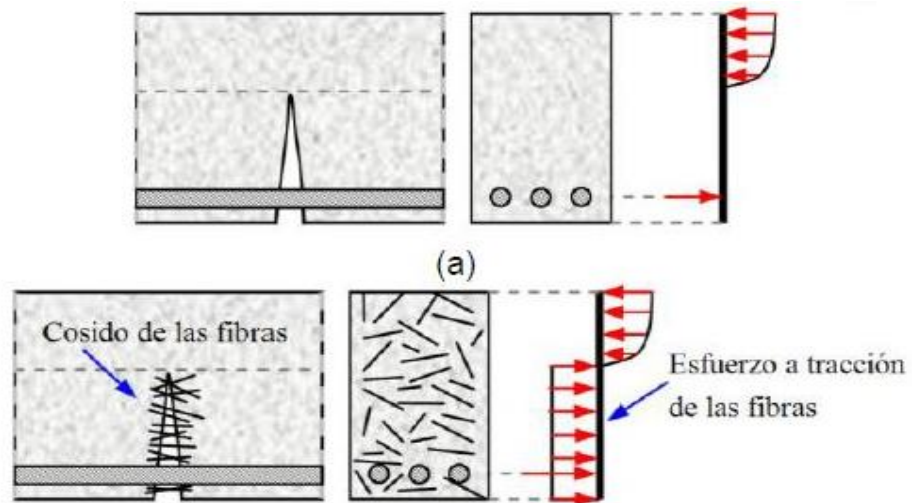
Las fibras metálicas son elementos delgados de longitud corta y de diámetro pequeño, que sirven para formar hilos del material para el refuerzo de concreto. Dependiendo del diseño del firme, permiten incluso sustituir por completo el armado tradicional del hormigón a base de malla y acero corrugado (8).



**Figura 2. Fibras de acero Sika LHO 45/35 NB para refuerzo del shotcrete. Tomada del Manual técnico de fibras como elemento estructural para el refuerzo de hormigón**

La función principal de las fibras de acero o fibras metálicas en el *shotcrete* es aumentar su ductilidad. Si bien es posible obtener una elevada resistencia a la flexión sin necesidad de fibras, la ductilidad está directamente relacionada con el tipo y la cantidad de las fibras de acero.

Las fibras de acero están caracterizadas geoméricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del *shotcrete*, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas, es decir la longitud  $L$ , la forma y el diámetro  $D$ . De la relación entre longitud  $L$  y el diámetro  $D$  se obtiene la relación de aspecto o esbeltez  $L/D$  (8).



**Figura 3. Características geométricas de las fibras de acero. Tomada del Manual técnico de fibras como elemento estructural para el refuerzo de hormigón**

Para poder definir las especificaciones del concreto reforzado con fibras de acero, debe realizarse un análisis que consta de tres pasos, que se detallan a continuación:

### **Dosificación mínima necesaria para el traslape de la fibra**

De acuerdo a la Norma Europea EN 14487-1, la distancia media entre las fibras de acero debería ser menor de  $0.45 l_f$ , para asegurar el traslape mínimo entre ellas.

El valor de un traslape mínimo entre las fibras podría estimarse como:

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \times (d_f)^2 \times l_f}{4p_f}}$$

**Donde:**

- $l_f$  es la longitud de fibra
- $d_f$  es el diámetro equivalente de la fibra
- $p_f$  es el porcentaje de la fibra

- s debe ser menor de 0.45 lf para asegurar un traslape mínimo. Mc Kee (1969) en (9) Para el caso de la fibras de acero Sika LHO 45/35 NB, se tienen los siguientes datos:
- lf = 35 mm
- df = 78 mm
- pf = ¿?

Consecuentemente, la dosificación mínima de fibra será:

- pf = 18.64 kg/m<sup>3</sup>

### **Longitud total mínima de la fibra**

De acuerdo a la teoría de Mc Kee, también se recomienda una longitud mínima total de fibra de alambre (9). A fin de asegurar el efecto de red mínimo para proporcionar un proceso específico de varias trayectorias que genere la redistribución de las cargas mediante puentes de acero en las fibras, se recomienda una longitud mínima de fibra de acero de 10 000 m por metro cúbico de concreto.

La adición de fibras a los morteros y hormigones mejora sus características notablemente. Aunque hay fibras de distintas naturalezas (nylon, fibras de vidrio, polipropileno, polietileno, acero, etc.). Los más divulgados, conocidos y de mejores rendimientos son las metálicas.

Además, de la ventaja del acero de tener un módulo de elasticidad 10 veces superior al hormigón; están las cualidades de una buena adherencia de estas a la mezcla, un alto alargamiento de rotura y una gran facilidad de mezclado.

Las fibras metálicas en los morteros y hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas, esto hace que disminuya su fragilidad y aumenta su ductilidad después

de la fisuración; aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía; disminuye la tendencia a las roturas por retracción; aumenta la resistencia a la aparición y propagación de grietas; aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura; mejora el comportamiento a la flexo-tracción y aumenta la durabilidad.

Al iniciarse la fisuración, las fibras metálicas ancladas a ambos lados de la fisura actúan de tirantes, resistiendo a la propagación y aumento de esta. Así continúan hasta que se rompe la tracción o se deslizan al perder la adherencia.

Las formas más frecuentes de las fibras son:

- Sección circular, rectas
- Sección rectangular y ganchos en sus extremos
- Sección redonda y dobles ganchos en sus extremos
- Sección redonda y extremos aplastados
- Sección rectangular y extremos ovalados y girados
- La utilización más común es de fibras de 30 o 40 mm de longitud y 0.50 mm de diámetro.

El uso de las fibras se justifica porque aumentan la resistencia a la tracción, impiden el desarrollo de las grietas y fisuras producidas por contracción plástica, remplazan a las mallas electrosoldadas, disminuye el rebote, mejoran la dureza y resistencia al impacto.

En el caso del uso de las fibras de acero el rendimiento depende de la dosificación ( $\text{kg/m}^3$ ) y de los parámetros de fibras (resistencia a la tensión, longitud, diámetro, anclaje). El factor clave para la calidad del hormigón con fibras es la relación entre la longitud y el diámetro de las fibras: cuanto más alta sea la relación  $l/d$ , mejor será el rendimiento.

En el caso de fibras de acero Dramix, en el mercado existen diferentes longitudes (20, 25, 30, 35, 40, 50, 60 mm) y en diferentes clases de l/d (45, 65, 80).

Para la mina se recomienda utilizar fibras de acero Dramix RL45/30BN que tiene una longitud de 30 mm y 0.62 mm de diámetro que da una relación de  $l/d = 48$ . Esta fibra tiene aproximadamente 13,000 fibras por kilogramo y la dosificación mínima deber ser  $30 \text{ kg/m}^3$  (según la teoría de espaciamento de Mc Kee) (9).

### **Dosificación en base al comportamiento**

La Norma Europea EN 14487-1 menciona las diferentes formas de especificar la ductilidad del concreto reforzado con fibras de acero en términos de resistencia residual y la capacidad de absorción de energía. También hace mención que ambas formas no son exactamente comparables (7).

El valor de absorción de energía medido en un panel se puede establecer cuando se enfatiza la cantidad de energía que ha de absorberse durante la deformación del macizo rocoso. El propósito de usar fibras de acero 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 (7).

#### **2.3.1.2. Fibras sintéticas (polipropileno)**

En la historia de la construcción las fibras se han utilizado para mejorar y reforzar diferentes tipos de construcción con hormigón. Durante años, la tendencia del hormigón a agrietarse ha sido aceptada como un hecho natural, esto ocurre porque existen tensiones de tracción que exceden la resistencia del hormigón cuando este se acaba de verter y comienza a fraguar.

Son fibras, por lo general, del tipo multifilamento, compuestas por polipropilenos vírgenes, que al aplicarlas generan una mayor ductilidad, contienen secciones que se distribuyen aleatoriamente dentro del hormigón. Hay diversos tipos de fibras sintéticas; por ejemplo el acrílico, aramid, carbón, poliestileno, nylon, poliéster, etc.

Una de las ventajas principales de las fibras sintéticas es que proporcionan un sistema de soporte interno al hormigón, lo que lleva a una exudación más uniforme y a evitar la segregación de los materiales, además de disminuir la posibilidad de agrietamiento por retracción plástica durante la etapa de rigidización y contracción inicial del hormigón, que es justamente cuando se llega a presentar la formación de microfisuras. En la etapa plástica, las fibras sintéticas mantienen estas microfisuras más cerradas debido a la fricción que existe entre las fibras y los áridos.

Las grietas más comunes aparecen en el estado plástico y son ocasionadas por la retracción al ocurrir el endurecimiento del hormigón, específicamente cuando el agua se evapora, donde se generan tensiones dentro del hormigón, para ocupar el espacio que deja la pérdida de agua. Se forman dentro de las primeras horas posteriores a la colocación del hormigón; en muchas ocasiones, dichas grietas no se observan sino hasta que transcurre un tiempo. Con frecuencia son selladas en la superficie al llevar a cabo la operación de terminado o, simplemente, no son lo suficientemente anchas para ser observadas.

### **Según funcionalidad, dosificación y geometría**

#### **Microfibras**

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

Son fibras que están destinadas a evitar la fisuración del hormigón en estado fresco o antes de las 24 horas. Las microfibras, según proveedores, se dosifican en el hormigón para volúmenes de  $600 \text{ gr/m}^3$ . Son dosificaciones extremadamente bajas, pero muy eficientes para prevenir la fisuración en el hormigón (por retracción plástica).

Las fibras de polipropileno son las más frecuentes, cuya dosificación en peso oscila entre  $0.3$  a  $1.2 \text{ kg/m}^3$  de hormigón. Estas fibras tienen un diámetro entre  $0.023$  a  $0.050 \text{ mm}$ , tan pequeños que se clasifican con un parámetro denominado Denier. Es el peso en gramos de  $9000$  metros de una sola fibra.

Las microfibras tienen diversos beneficios:

- Aumenta la capacidad de ductilidad.
- Reduce el agrietamiento por retracción plástica.
- Reduce el agrietamiento por asentamiento plástico.
- Exudación uniforme.

Se utilizan especialmente en pavimentos y soleras, pero no pueden asumir ninguna función estructural. También se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego, tanto la microfibra como la macrofibra pueden reducir el riesgo de desprendimiento explosivo, desde una cantidad de  $1 \text{ kg/m}^3$  reduce de manera significativa el riesgo de desprendimiento explosivo en hormigones de alta presión y baja permeabilidad, siendo conveniente en este caso que el número de fibras por kg sea elevado.





**Figura 4. Microfibra de polipropileno. Tomada de Análisis técnico económico de la incorporación de macrofibras de polipropileno en reemplazo de malla electrosoldada en hormigones para pavimentos industriales (10)**

### **Macrofibras**

Las macrofibras más usadas son las de polipropileno, que cumplen con la norma ASTM C 1116, cuyos diámetros varían entre 0,2 a 0,8 mm, estas fibras cumplen la función de prevenir la fisuración en estado endurecido (antes de las 24 horas no tienen mayor efecto), a reducir el ancho de la fisura si esta se presenta y permite la correcta función de la estructura fisurada, entregando propiedades estructurales al hormigón, hasta reemplazar el refuerzo de malla electrosoldada.

Por efecto, las macrofibras se incluyen en el hormigón para aumentar la tenacidad del material, en consecuencia, la matriz después de ser agrietada puede seguir siendo cargada; la tenacidad es la capacidad que tiene un material para soportar cargas antes de colapsar.

A diferencia de un hormigón sin fibras, el hormigón fibrorreforzado tiene una tenacidad superior, sin embargo, si ambas tienen la misma resistencia, el hormigón fibrorreforzado tiene una capacidad amplia de deformarse; por lo que la falla y el colapso tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal. Luego de la fisuración, el hormigón con fibras le permite seguir

recibiendo cargas sin colapsar, en consecuencia, le permite a la estructura seguir funcionando. Las macrofibras en pisos y pavimentos reemplazan la malla electrosoldada que se coloca en el espesor de estos (la localización depende de los autores), destinada a absorber los esfuerzos de temperaturas y retracción en dichos elementos.



**Figura 5. Macrofibra de polipropileno Tipo I. Tomada de Análisis técnico económico de la incorporación de macrofibras de polipropileno en reemplazo de malla electrosoldada en hormigones para pavimentos industriales (10)**



**Figura 6. Macrofibra de polipropileno Tipo II. Tomada de Análisis técnico económico de la incorporación de macrofibras de polipropileno en reemplazo de malla electrosoldada en hormigones para pavimentos industriales (10)**

### **Mezclado**

Las fibras de polipropileno vienen de forma suelta y empaquetada con facilidad en el traslado de estas. Se realiza un mezclado mecánico, donde las fibras se incorporan al hormigón en la planta hormigonera o en la betonera de mezclado, como si fueran un agregado más, luego se prolonga el mezclado de 3 a 5 minutos, o en su efecto 70 vueltas después de agregar la fibra para garantizar su completa dispersión. Por esto, los fabricantes recomiendan que las fibras sean incorporadas en las plantas hormigoneras, ya que necesitan una agitación mecánica apropiada para asegurar la separación de las fibras, imposibilitando así la formación de bolas o también llamados erizos en el hormigón. Es fundamental que las fibras se distribuyan de manera uniforme.



*Figura 7. Erizo de fibra de polipropileno*

### **Especificaciones**

#### **Aplicación**

Según proveedores de fibras, se recomienda el uso de macrofibras de polipropileno en todo tipo de hormigones, tanto para aplicaciones horizontales, como verticales sujetos a impacto, abrasión y desgaste (radieres, losas, vías de acceso, pavimentos, etc.) (10).

Al aplicarlas en estucos y morteros permite obtener un excelente acabado y calidad, reduciendo de forma importante la fisuración.

Al aplicarse en la mezcla se dispersan tridimensionalmente y de forma homogénea, alcanzando una compactación máxima del hormigón; dicha distribución tiene un efecto inmediato en la reducción del agrietamiento en el hormigón, manteniendo su estabilidad estructural frente a la retracción plástica, reduciendo la aparición de microgrietas.

### **Características físicas**

Las fibras de polipropileno tienen un aspecto de fibras monofilares, son incoloras, de entretejidos miniatura de malla de una película de polipropileno virgen, con un diámetro del filamento 23 micrones (CAVE fibras), que se distribuyen en forma uniforme en la mezcla del hormigón.

### **Dosificación y recomendaciones**

Tiene una mejor distribución en la mezcla y una terminación limpia y sin pelos. A diferencia de las fibras metálicas, las macrofibras de polipropileno tiene un menor atascamiento, facilita el bombeo de las mezclas.

Las fibras de polipropileno no sufren degradación por las radiaciones ultravioletas y permite una mejor adición de la matriz del hormigón con estructuras metálicas o de maderas (con respecto al moldaje).

Tiene un rendimiento de 600 gr/m<sup>3</sup>, en el caso de microfibra sintética y entre 1 a 2 kg/m<sup>3</sup> de macrofibra sintética.

### Vida útil

Las fibras de polipropileno deben almacenarse en su paquete original, herméticamente cerrado y en lugares secos; bajo estas condiciones tiene una vida útil de 3 años, en su envase original, sin abrir.

**Tabla 2. Ventajas y desventajas de las fibras de polipropileno en pavimentos de hormigón**

Ventajas	Desventajas
1. Las macrofibras pueden reemplazar la malla electrosoldada empleadas en pavimentos.	1. No reemplazan el acero estructural como las barras de acero a flexión.
2. Las microfibras disminuyen la permeabilidad en el hormigón que está relacionado al ancho de la fisura.	2. Reduce el asentamiento de cono, donde depende directamente de la cantidad y composición de la fibra.
3. En el estado endurecido aumenta la tenacidad y resistencia al impacto.	3. En el estado fresco, el mezclado se torna más dificultoso y se puede incorporar cierta cantidad de aire.
4. En el estado fresco, aumenta el control de la contracción plástica.	4. Las fibras de polipropileno tienen un bajo módulo de elasticidad.
5. La baja densidad de las fibras logra que se queden embebidas en el hormigón durante el vibrado, de manera que no afloran a la superficie.	

*Nota:* Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)

### 2.3.2. El hormigón proyectado o *shotcrete*

Según el Instituto Americano del Concreto, *shotcrete* significa “mortero o concreto aplicado neumáticamente y proyectado a alta velocidad”; según la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras, *shotcrete* es el concreto lanzado, en conclusión, es una mezcla de cemento agregado y agua, proyectado neumáticamente desde una boquilla a un determinado sitio, para producir una masa densa y homogénea.

Este concreto lanzado incluye aditivos y también adiciones de fibras que pueden ser metálicas o sintéticas o las dos juntas. Los términos, concreto lanzado o *shotcrete*, se refieren básicamente al mismo material. En Europa se refieren al producto como concreto lanzado. En nuestro medio se prefiere usar la terminología americana de *shotcrete*.

Los principios aplicados a la tecnología del concreto son los mismos en el *shotcrete*, esto significa que debería ser diseñado aplicando los desarrollos y recursos de la tecnología del concreto para lograr una mezcla con costos efectivos y optimizados.

Quiere decir que los siguientes aspectos técnicos deberían ser considerados:

- Los materiales componentes y su composición
- Las condiciones de aplicación (incluidos accesos y la viabilidad de los servicios, agua, aire, iluminación y ventilación)
- El método de aplicación (vía seca o vía húmeda)
- Los aspectos logísticos (principalmente su influencia en el manejo del material)
- Requerimientos de seguridad y salud

En la actualidad se utilizan dos métodos: la proyección por vía seca y la proyección por vía húmeda, posteriormente se explicarán cada uno de ellos.

Los dos métodos tienen sus ventajas y desventajas, y la elección de uno u otro dependerá de los requisitos del proyecto y de la experiencia del personal encargado de ejecutarlo. El método más utilizado hace unos años era el de proyección por vía seca, pero en estos momentos la tendencia ha cambiado, especialmente en *shotcrete* para soporte de rocas. El método que se utilizará en el futuro será el de proyección por vía húmeda, debido a que ofrece un mejor ambiente de trabajo, mayor calidad, uniformidad y producción. Los desarrollos en la tecnología del *shotcrete* están relacionados con el proceso de vía húmeda.

Entre algunos ejemplos de adelantos recientes figuran las nuevas generaciones de adiciones y aditivos, tales como el sistema de control de hidratación DELVO CRETE, el sistema de acelerantes libres de álcalis inocuos para el medio ambiente, y los métodos de última generación

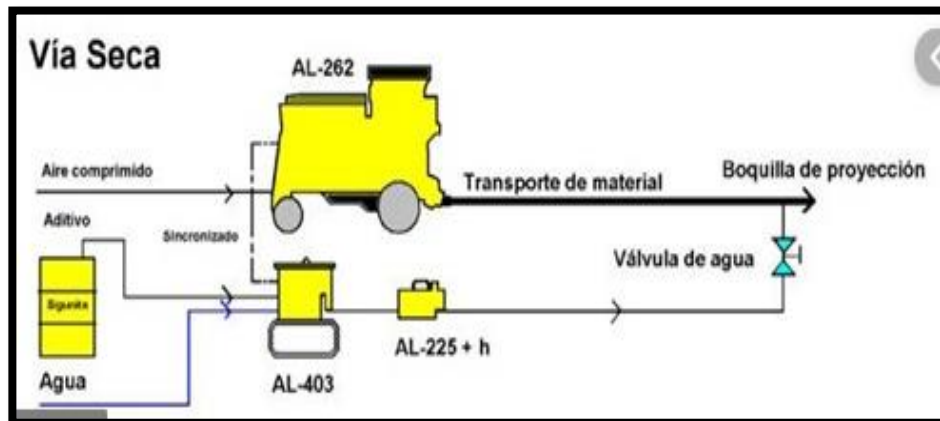
MEYCO ACC, el curador interno de concreto MEYCO TCC, microsílíce y nanosilicatos, y fibras plásticas.

En la actualidad, un 70% del *shotcrete* se aplica mediante vía húmeda (más de 8 millones de metros cúbicos al año en todo el mundo), mientras que el 30% restante se aplica por vía seca. En algunas regiones del mundo predomina el método por vía húmeda (casi 100% en Escandinavia e Italia). En Perú, el método predominante es el de vía seca. Sin embargo, la brecha se va acortando, estimándose, ya que no existen registros al respecto, que aún el 60% corresponde a la aplicación por vía seca, correspondiendo un importante 40% a la vía húmeda. Es importante resaltar que la primera mina en el país que apostó por el soporte de rocas por vía húmeda en sus operaciones cotidianas fue la mina Cobriza de *Doe Run* en mayo del 2000 (12).

Existen dos métodos de *shotcrete*: seco y húmedo; a continuación, se definen cada uno de ellos.

#### **2.3.2.1. Método por vía seca**

Las primeras aplicaciones del *shotcrete* se hicieron mediante la vía seca; en este método, los componentes del *shotcrete* seco o ligeramente prehumedecidos, son alimentados a una tolva con agitación continua. El aire comprimido es introducido a través de un tambor giratorio o caja de alimentación para transportar los materiales en un flujo continuo hacia la manguera de suministro. El agua es adicionada a la mezcla en la boquilla. Este método genera altos costos operativos debido al desgaste y daños en las máquinas de rotor. Para mantener estos costos dentro de límites razonables, es necesario configurar bien las máquinas, hacer cambios oportunos de piezas y utilizar procedimientos adecuados de pulverización (11).



**Figura 8. Método de shotcrete vía seca. Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)**

### 2.3.2.2. Método por vía húmeda

Este método es utilizado en diferentes minas mecanizadas del Perú y el mundo, ejemplo, Escandinavia, Italia y en un gran número de importantes proyectos subterráneos en todo el mundo. El uso del *shotcrete* para aplicaciones de soporte de rocas ha aumentado en forma exponencial en los últimos 10 a 20 años, lo que ha impulsado un intenso desarrollo.

En los años 1971 y 1980 se produjo un desarrollo impresionante del método por vía húmeda en Escandinavia, se ha transformado totalmente en su mercado de *shotcrete*. Cambió totalmente de vía seca a vía húmeda, y la aplicación pasó de manual a robótica.

En la actualidad las diferentes minas mecanizadas utilizan equipos robots del lanzamiento de concreto que son muy usables en los sostenimientos de las labores, como también en obras civiles, ya sea en revestimientos de túneles u otros proyectos que se requieran.

Para que la mezcla circule por el equipo, se utilizaban contenidos muy altos de agua, con una relación de agua/cemento hasta de 1,0. Gracias a la tecnología actual de la industria del



concreto, es totalmente factible producir *shotcrete* por vía húmeda que tenga una resistencia a la compresión a los 28 días superior a 60 MPa.

#### **a) Economía**

El *shotcrete* vía húmeda con los equipos robots modernos ha aumentado la capacidad del lanzado con respecto al mezclado en seco. En un turno de 8 horas, la capacidad promedio de proyección del método por vía húmeda es usualmente de 4 a 5 veces mayor que la del método por vía seca.

Si bien los costos de inversión en los nuevos robots de vía húmeda aumentaron significativamente, hubo una mejora en la preparación de labores, que influye mucho en el proceso de minado, teniendo más labores sostenidas en poco tiempo.

Debido a los sistemas robóticos integrados, la aplicación del *shotcrete* puede comenzar a los pocos minutos de la llegada de los equipos al frente. La introducción de los perforadores hidráulicos aumentó la capacidad de perforación en un 100%. El aumento de la inversión se tradujo en menores tiempos por ciclo de perforación y voladura.

#### **b) Ambiente de trabajo**

El método por vía húmeda mejoró sustancialmente las condiciones del ambiente de trabajo, trayendo consigo mayor seguridad para los trabajadores de túneles. Los riesgos a la seguridad eran frecuentemente inaceptables sin un robot y sin utilizar fibras metálicas para refuerzo. Con el control remoto de los equipos era posible que el operador estuviera bajo un área previamente protegida, por lo que los riesgos de caídas de rocas involucrarían solo equipos, mas no vidas humanas.

### **c) Calidad**

Todavía se piensa equivocadamente que el método por vía húmeda no ofrece resultados de alta calidad. Lo cierto es que si se utilizan adiciones y aditivos reductores de agua (baja relación agua/cemento) y microsílíce, se pueden obtener resistencias a la compresión de hasta 100 MPa aplicando en el concreto fabricado por vía húmeda. A diferencia del método por vía seca, el de vía húmeda ofrece una calidad constante.

### **d) Aplicación**

Con el método húmedo se utiliza un concreto ya mezclado en planta de concreto o un mortero premezclado. El concreto se prepara de la misma forma que el concreto normal. En cualquier momento del proceso es posible inspeccionar y controlar la relación agua/cemento y, por tanto, la calidad. La consistencia puede ser ajustada por medio de aditivos.

Con el método de vía húmeda es más fácil producir una calidad constante a lo largo del proceso de proyección. La mezcla ya lista se descarga en una bomba y se transporta a presión a través de la manguera. Al principio, se utilizaban principalmente bombas helicoidales, ahora predominan las bombas de pistón. En la boquilla del extremo de la manguera, se agrega aire al concreto, a razón de 7-15 m<sup>3</sup>/min, y a una presión de 7 bares según el tipo de aplicación (manual o robot).

El aire tiene la función de aumentar la velocidad del concreto a fin de lograr una buena compactación y adherencia a la superficie. Un error común que se comete con el método de vía húmeda es utilizar cantidades insuficientes de aire. Generalmente, se agregan entre 4 y 8 m<sup>3</sup>/min, lo que lleva a menores resistencias a la compresión, así como también a la adherencia deficiente y rebote.

Para la proyección robotizada se requieren hasta de 15 m<sup>3</sup>/min de aire. Además de aire, se añaden acelerantes de fraguado en la boquilla. Todavía hay quien cree que no es posible obtener concreto resistente a la congelación, y que los acelerantes de fraguado empeoran la adherencia del *shotcrete*. Los resultados de varios estudios, aunados a la experiencia práctica, demuestran que los acelerantes logran una mejor resistencia a la congelación debido a que producen un concreto más compacto y duradero. Asimismo, mejoran la adherencia porque evitan el escurrimiento del concreto sobre el terreno, y este se adhiere inmediatamente a la superficie.

#### **e) Ventajas**

A continuación, se expone un resumen de las ventajas del método de vía húmeda en comparación al de vía seca:

Rebote mucho menor. Con el uso de equipos apropiados y de personal capacitado, se obtienen pérdidas normales que oscilan entre 5 y 10%, incluso para el caso de proyección de concreto reforzado con fibras.

- Mejor ambiente de trabajo debido a la reducción del polvo.
- Capas más gruesas gracias al uso eficiente de los materiales de mezcla.
- Dosificación controlada de agua (constante, relación agua/cemento definida).
- Mejor adherencia.
- Superior resistencia a la compresión, poca variación en los resultados.
- Producción muy superior, por lo tanto, más economía.
- Uso de fibras plásticas y nuevos aditivos.

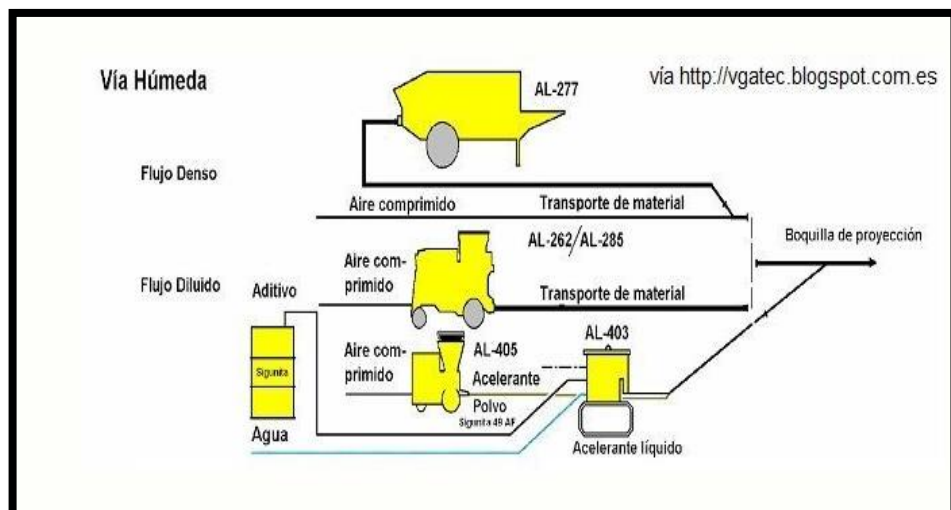
#### **f) Desventajas**

- Distancia de transporte limitada (máximo 300 m).

- Mayores demandas en la calidad del agregado.
- Solo se permiten interrupciones limitadas.

### g) Resumen del método por vía húmeda

Con la proyección a robot de superficies suficientemente grandes por vía húmeda, es posible lograr (con un operario) una producción promedio de 60 a 100 m<sup>3</sup> con rebote inferior al 10%, en un turno de trabajo de 8 horas. Al comparar los métodos seco y húmedo, puede concluirse que el primero debe ser utilizado para aplicaciones de volúmenes pequeños (por ejemplo, reparaciones) y en condiciones muy especiales (distancias largas, interrupciones repetidas, etc.), mientras que el método por vía húmeda debe utilizarse en todo trabajo de soporte de rocas (4).



**Figura 9. Método de shotcrete vía húmeda. Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)**

Después de definir cada método se hace una comparación:

**Tabla 3. Comparación de método vía seca/vía húmeda**

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

*Nota:* Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)

### 2.3.2.3. Operación y calidad

#### **Refuerzo: también se le denomina “Sostenimiento Activo”**

Es el refuerzo de la roca donde los elementos de sostenimiento son una parte integral del macizo rocoso mejorando las propiedades mecánicas de este. El principal objetivo es conservar la resistencia inherente del macizo rocoso, de tal forma que se autososte; por ejemplo, pernos de anclaje, cables de acero, etc.

#### **Soporte: también se le denomina “Sostenimiento Pasivo”**

Es el soporte del macizo rocoso, donde los elementos de sostenimiento son externos al macizo rocoso y dependen de su movimiento. El objetivo principal es realmente soportar el macizo rocoso, es decir, soportar el peso de los bloques de roca intacta delimitados por discontinuidades o las zonas de roca disturbada, a través de elementos estructurales; por ejemplo, cuadros de madera, cimbras metálicas, malla electrosoldada, *shotcrete*, etc.

Para poder asegurar la calidad de un trabajo de concreto lanzado, se deben considerar los siguientes puntos:

- Diseño adecuado de la mezcla: especificar resistencia a la compresión, proporción de cemento, agregados, agua, aditivos, fibras, etc.
- Preparación de la superficie sobre la que se va a lanzar: debe estar libre de polvo, aceite, agua y materiales extraños sueltos.
- Mezclado de materiales de acuerdo con el diseño.
- Aplicación por parte de un boquillero (operador del robot) con experiencia para reducir al mínimo el rebote y las oquedades detrás del acero de refuerzo.
- Curado como cualquier concreto.

#### **a) Diseño de mezcla**

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados (7).

Existen diferentes métodos de diseños de mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos, sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según el requerimiento dado.

#### **Por especificación**

- Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).
- Trabajabilidad - *slump* (pulg.)

#### **Por características**

- Gradación de los agregados (c. granulométrica)
- Contenido de humedad de los agregados (%)
- Peso específico de insumos (g/cm<sup>3</sup>)
- Peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)

### Por calidad

- Material orgánico
- pH (agua)
- Alcalinidad (agua)
- Sales solubles
- Sulfatos solubles
- Cloruros solubles

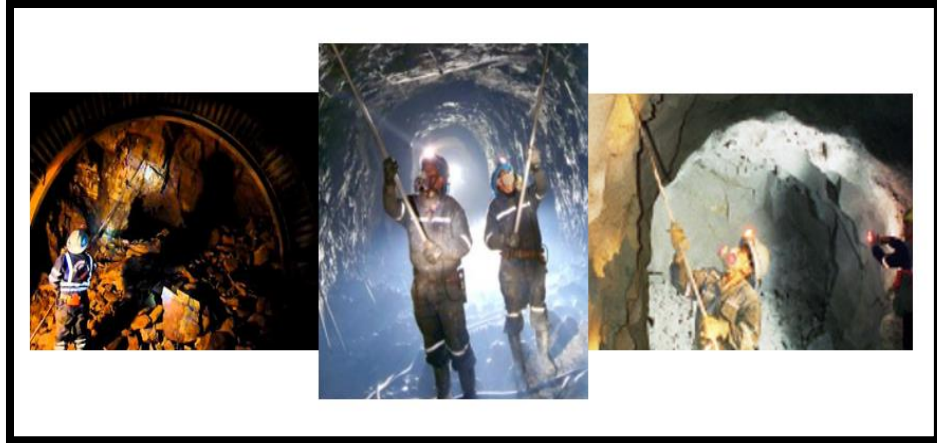


**Figura 10. Materiales de shotcrete. Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)**

### b) Preparación de labor

El desatado de rocas se realiza siguiendo los estándares apropiados, a fin de garantizar que los trabajadores tengan un ambiente seguro de trabajo (roca fragmentada débilmente sujeta al macizo rocoso). La superficie a *shotcretear* se limpiará cuidadosamente mediante chorro de aire comprimido o agua para eliminar cualquier impureza o material suelto.

Si algún sector presenta agua subterránea que dificulte la colocación del *shotcrete* se captará para evitar que el hormigón proyectado húmedo tome contacto con ella de acuerdo a la metodología de captación de aguas.



**Figura 11. Preparación de labor. Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)**

### **c) Planta de concreto CJ Netcom**

Se encuentra ubicada en interior de mina en el nivel 300 de la unidad minera Raura, funcionan en forma automática ejecutando ciclos de producción de hasta 1 m<sup>3</sup>, dosificando los materiales requeridos para la mezcla de acuerdo a las recetas ingresadas por el usuario. Una vez se da inicio al proceso de dosificación, el equipo se encarga de activar y desactivar las bandas transportadoras para arena, el tornillo transportador para cargar cemento y la bomba del agua para su dosificación, teniendo en cuenta los parámetros de humedad y absorción de cada material para realizar las correcciones necesarias a fin de mantener la proporción de materiales y la calidad de las mezclas.



**Figura 12. Planta de concreto – CJ Netcom**



#### **d) Preparación de la mezcla**

El *shotcrete* reforzado con fibra requiere el uso de aditivos para poder contrarrestar los efectos negativos que tienen las fibras sobre el bombeo y la proyección. Además, es importante que la adherencia entre el acero y la matriz de concreto sea óptima, lo que se logra con un agregado de tamaño máximo de 8 mm. Se requiere un contenido mayor de material fino (mín. 400 kg). Es necesario aumentar el asentamiento a un mínimo de 10 –14 cm. Esto significa que el *shotcrete* reforzado con fibra requiere una dosis mayor de súper plastificante (3).

Por razones de anclaje, el tamaño de las fibras debe ser al menos el doble del tamaño del agregado máximo. La fibra debe tener un largo no superior a 50% a 60% del diámetro de la manguera de bombeo. Esto significa que, para la proyección manual, la máxima longitud de fibra normal es 25 mm; para robots con mangueras de 65 mm, es posible hacer la proyección con una longitud de fibra hasta de 45 mm. Las fibras de acero pueden añadirse antes, después o durante la dosificación de los materiales del concreto. Si se produce aglomeración de fibras (bolas), puede eliminarse modificando la secuencia de dosificación. Es importante recordar que las fibras también se pierden con el rebote y que por lo tanto el contenido y la eficiencia en el concreto proyectado están determinados por este factor y no por la dosis teórica de fibra de acero.

- **Gradación**

La granulometría es una de las propiedades más importantes del agregado en el *shotcrete*, ya que no solo influye en la resistencia y durabilidad del concreto, sino en la bombeabilidad, que resulta sumamente importante al momento de proyectar concreto. Instituciones como el ACI, EFNARC, norma austriaca recomiendan distintas granulometrías para *shotcrete* que

garantizan el correcto desempeño de los agregados en el *shotcrete*.

Para la tesis se ha utilizado la granulometría ACI 506 – G2, que se eligió siguiendo criterios de resistencia y durabilidad. Puesto que la granulometría ACI 506-G2 era global y requería la combinación de agregado grueso y agregado fino en una determinada proporción para alcanzar dicha granulometría, para lo que se determinaron los porcentajes de combinación de agregado grueso y fino con el método del cuadrado.

**Es recomendable que la arena cumpla con la gradación N° 02, según ACI 506-Guide to Shotcrete.**

**Cuadro de Gradación de los Agregados para Shotcrete**

Tamiz	Porcentaje que pasa por peso		
	Gradación No 1	Gradación No 2	Gradación No 3
¾ " ( 19 mm)	-	-	100
½ " ( 12 mm)	-	100	80 – 95
3/8 " ( 10 mm)	100	90 – 100	70 – 90
No 4 ( 4.75 mm)	95 – 100	70 – 85	50 – 70
No 8 ( 2.40mm)	80 – 100	50 – 70	35 – 55
No 16 ( 1.20 mm)	50 – 85	35 – 55	20 – 40
No 30 ( 600 mm)	25 - 60	20 - 35	10 - 30

**Figura 13. Gradación de agregado. Tomada de la norma ACI – 506**

- **Características físicas**

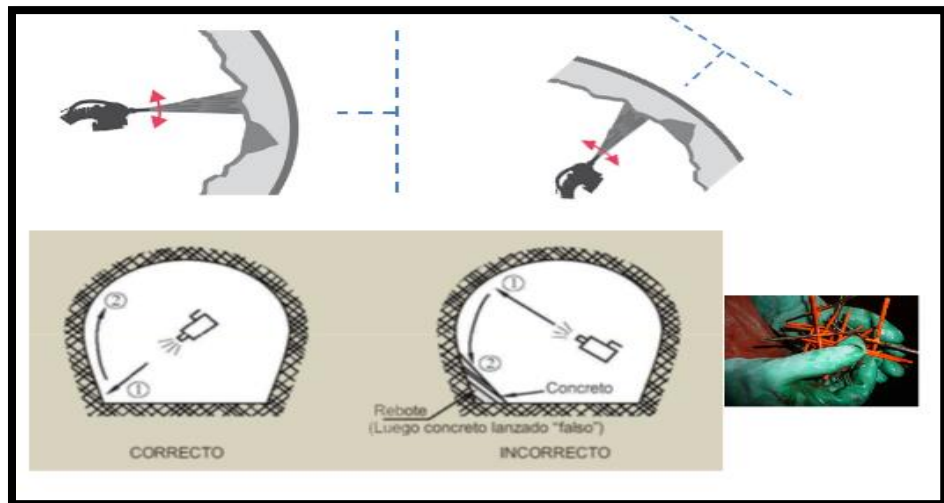
- Cemento: densidad 3.15 g/cm<sup>3</sup>
- Agregado: densidad 2.611 g/cm<sup>3</sup>
  - ✓ Absorción 2.02%
  - ✓ P. U. S 1660 kg/m<sup>3</sup>
  - ✓ P. U. C 1818 kg/m<sup>3</sup>
- GUNIC L100: densidad 1.05 g/cm<sup>3</sup>
- GUNITOC L33: densidad 1.46 g/cm<sup>3</sup>
- Fibra: densidad 3.174/cm<sup>3</sup>

- **Especificaciones**

- Resistencia: 280 kg/cm<sup>2</sup>
- Slump: 5" a 7"

- e) **Aplicación**

La boquilla debe ser dirigida perpendicularmente a la superficie rocosa y debe ser rotada continuamente en una serie de pequeños óvalos o círculos (0.8 m – 1.2 m).



**Figura 14. Proceso de lanzamiento de concreto perpendicular. Tomada del Manual de shotcrete Robocon (11)**

- f) **Presión de aire**

- 1 Bar	=	14.50	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	Desprendimiento - Vacíos
- 2 Bar	=	29.01	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	
- 3 Bar	=	43.51	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	Vacíos
- 4 Bar	=	58.02	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	
- 5 Bar	=	72.52	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	
- 6 Bar	=	87.02	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	Optimo
- 7 Bar	=	101.53	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	
- 8 Bar	=	116.03	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	Optimo - Alto Rebote
- 9 Bar	=	130.53	libras/pulgada <sup>2</sup> (psi)	

**Figura 15. Proceso de lanzamiento de concreto en el molde de panel para ensayos**

- Para obtener una adecuada compactación del *shotcrete* es necesario que la presión de aire se encuentre entre los 5 y 7 bares.
- Dependiendo de las circunstancias dadas en la labor por pérdida o aumento repentino de la presión de aire se deberá optar por el criterio del especialista.

**g) Control de calidad**

- **Concreto endurecido**

**Penetrómetro de mano (ASTM C403)**

El área del vástago de penetración es de 1/20 de pulgada cuadrada. Presione el instrumento dentro del material 1 pulgada en forma continua. La resistencia es indicada en psi. La escala va de 0 a 700 psi. El fraguado inicial se determina cuando se alcanza una resistencia de 500 psi.



<b>FRAGUADO</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>INICIAL</b>	<b>&gt; 5 min</b>	<b>&gt; 2 min</b>
<b>FINAL</b>	<b>&gt; 10 min</b>	<b>&gt; 5 min</b>

**Figura 16. Penetrómetro y rangos aceptables de fraguado inicial**

- **Resistencia a la flexión y compresión**

Las resistencias típicas a la flexión obtenidas a los 28 días a partir de testigos prismáticos (vigas), obtenidas de acuerdo a la norma ASTM C78, se sitúan en un rango entre 42 kg/cm<sup>2</sup> (4.1 MPa) y 105 kg/cm<sup>2</sup> (10.3 MPa). Cabe señalar que este rango se basa en los valores típicos especificados para minería y construcción, no obstante, es posible incrementar la resistencia dependiendo de los requerimientos estructurales del proyecto, siempre que esto sea factible tecnológica y prácticamente. La misma norma sitúa la resistencia en compresión del *shotcrete* entre 296 kg/cm<sup>2</sup> (29 MPa)

y 530 kg/cm<sup>2</sup> (52 MPa), aplicándose la misma consideración que en el caso anterior.

- **Tenacidad**

La cantidad de energía requerida para producir la falla en este tipo de concreto dependerá de la dosis de fibra y su tipo. De acuerdo a la norma ASTM C 1018, se realizarán los ensayos en vigas pequeñas (100 x 100 x 350 mm).

- **Absorción de energía**

El panel de prueba se sostiene por los cuatro lados y se aplica una carga puntual al centro a través de una superficie de contacto de 100 x 100 mm<sup>2</sup>. Se registra la curva de carga-deformación y la prueba continúa hasta alcanzar una deflexión de 25 mm, en el centro del panel.



*Figura 17. Proceso de lanzamiento de concreto en el molde de panel para ensayos*

- **Resistencia residual**

De acuerdo a la Norma ASTM C1609/1609-05 se denomina Resistencia Residual a la resistencia posfisura del *shotcrete* reforzado con fibras de acero. La clasificación de la resistencia

residual se basa en la especificación del nivel de resistencia a cierto grado de deformación de acuerdo a la Norma de EN 14488-3. Esto significa que la resistencia residual superará los 3 MPa, en un rango entre 0.5 mm y 1 mm de deflexión (7).

## **2.4. Definición de términos básicos**

### ***Shotcrete***

Consiste en hormigón o mortero colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla. Sus componentes son áridos, cemento y agua, y se puede complementar con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.

### **La fibra metálica / sintética**

Son un producto que refuerza las mezclas, lo que reduce la formación de fisuras y grietas y disminuyen la permeabilidad. Las fibras de refuerzo pueden tener diversas composiciones. En Tex Delta se ofrecen fibras para hormigones y morteros con composiciones de polipropileno o fibras de vidrio. Tienen un aditivo que las protege del desgaste de los rayos UV y también los protege contra los álcalis y ácidos del cemento. Las fibras de refuerzo se suministran en bolsas hidrosolubles para facilitar su utilización. Las fibras para hormigón y mortero se utilizan en multitud de soluciones: hormigones y morteros de alta resistencia al impacto, estructuras prefabricadas, construcción y reparación de pavimentos industriales, gunitados o proyectados mediante vía húmeda en estructuras enterradas y túneles, pavimentos, aparcamientos, soleras de hormigón, etc.

### **Cemento**

Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamada *Clinker* y se convierte en cemento cuando se le agrega una pequeña cantidad de yeso para evitar la contracción de la mezcla al fraguar cuando se le añade agua y al endurecerse posteriormente.

### **Agregado**

Es un material granular (arena, grava, piedra triturada o escoria) usado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

### **Agua**

Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno (H<sub>2</sub>O). Debe cumplir con los requisitos de: “agua para el amasado de concreto” de acuerdo con la Norma NTP vigente o se seguirá la recomendación ACI, quienes afirman que se considera apta para la elaboración de concreto toda agua sin color apreciable, ni olor desagradable, se preferirá en general agua potable.

### **Acelerante**

Aditivo líquido de acción acelerante sobre tiempo de fraguado y resistencias mecánicas del concreto. Cumple con la norma ASTM 494, tipo C.

### **Plastificantes o plastificadores**

Son aditivos que suavizan los materiales a los que se añaden. Aunque se usan los mismos compuestos para plásticos que para hormigones, los efectos son ligeramente diferentes. Los plastificadores para el plástico suavizan el producto final incrementando su flexibilidad.

### **Solera**

Parte inferior del revestimiento de un túnel sobre la que se apoya el balasto o la vía o sobre la que se apoya la explanación que soportará la carretera.

### **Concreto**

Es la mezcla del cemento, agregados inertes (arena y grava) y agua, que se endurece después de cierto tiempo, formando una piedra artificial.

### **Mezcla**

Una mezcla es un material formado por dos o más componentes unidos, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas.

### **Rebote**

Se define como rebote de proyección, o rechazo, a la parte del *shotcrete* que no se adhiere a la superficie durante la aplicación, causando un desprendimiento del material.

### **Mano de obra**

Un equipo robotizado hace el trabajo equivalente de varios equipos manuales, y se maneja con menos operadores, como se opera con menos esfuerzo físico. Por lo tanto, el ahorro en gastos de mano de obra es notorio.

### **Resistencia a la compresión**

Se define:  $F'c$  = resistencia a la compresión de diseño del calculista y determinada con probetas de tamaño normalizado, expresada en MPa, si no se especifica su edad, se adopta que es a los 28 días.  $F'cr$  = resistencia promedio a la compresión del concreto requerida para dosificar las mezclas, en MPa.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

El método de investigación es el científico, debido a que se seguirán procedimientos ordenados en la búsqueda de dar solución al problema, y generar nuevos conocimientos; también es científico porque está basado en la observación, toma de datos, análisis de pruebas de laboratorio y síntesis del empleo de fibra sintética o metálica con la finalidad de alcanzar estándares de calidad en seguridad en la unidad minera Raura.

##### **3.1.2. Alcances de la investigación**

El alcance de la investigación indica el resultado que se obtuvo a partir de ella y qué método se utilizó para obtener estos resultados; por lo tanto, esta investigación fue un estudio descriptivo, porque a partir del problema se describieron las variables con precisión.

Es correlacional porque las variables se relacionan para predecir su comportamiento en un futuro.

### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación presenta un diseño experimental de corte longitudinal, debido a que el investigador realizó la toma de muestras en un tiempo largo.

#### **3.2.1. Diseño general**

La investigación es de diseño experimental.

#### **3.2.2. Diseño específico**

La investigación, en su diseño específico es preexperimental cuyo esquema es lo siguiente:

- GE: 1 X 2
- GC: 3 Y 4

#### **Donde**

- GE: grupo experimental
- GC: grupo de control
- 1 y 3: pretest
- 2 y 4: posttest
- X: manipulación o desarrollo de la variable: sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda
- Y: aplicación de la fibra sintética

#### **3.2.3. Tipo de investigación**

Según Oseda (2011) "el tipo de estudio de la presente investigación es aplicada, porque persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar" (13), en el caso de la investigación se enfoca a resolver problemas del uso de fibras sintéticas.

#### **3.2.4. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es descriptivo - explicativo. Según Gonzales (2011) "este nivel de investigación descriptivo tiende a describir los datos y características de la población. Investigaciones explicativas

buscan especificar las propiedades importantes de los hechos y fenómenos que son sometidos a una experimentación de laboratorio o de campo" (13).

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Según Carrasco (2009) es el conjunto de todos los elementos que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación en el nivel 100 de la unidad minera Raura S. A. (14)

#### 3.3.2. Muestra

Según Oseda (2008) menciona que "la muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta" (13), que sin embargo posee las principales características de aquella. La muestra es un subgrupo de la población. Es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que se le llama población.

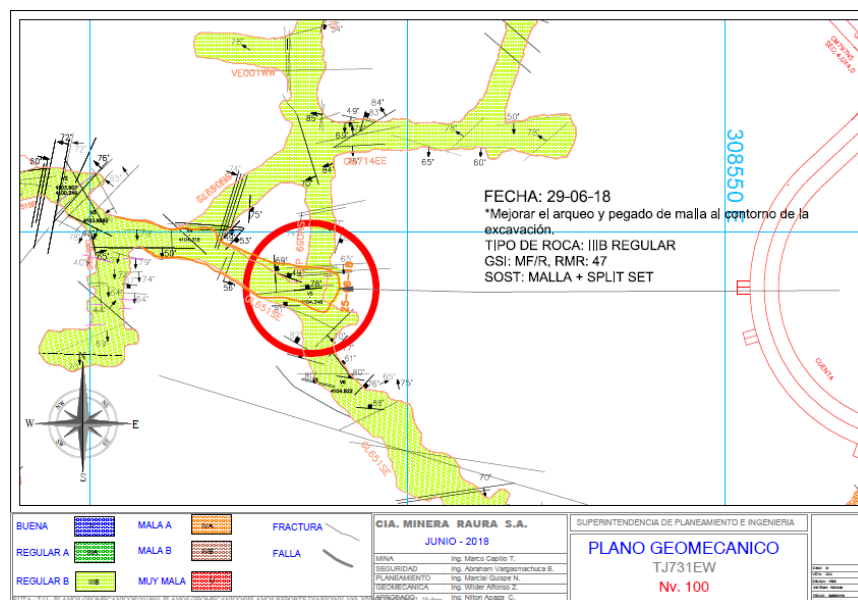


Figura 18. Galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A.

#### 3.3.3. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio se realiza en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018. Que se encuentra ubicada en la cima de

la cordillera occidental, políticamente entre los departamentos de Huánuco (provincia de Lauricocha) y Lima (provincia de Oyón).

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

Para la recolección de muestras se utilizó el siguiente procedimiento:

- Selección del nivel y galería (población y muestra)
- Coordinación con el departamento de geomecánica
- Medición *in situ* de resistencia a la compresión
- Preparación de paneles para la extracción de testigos
- Extracción de testigos diamantinos
- Envío de testigos a laboratorio
- Ensayo de testigo en laboratorio
- Resultados de ensayos de testigos
- Análisis e interpretación de los resultados
- Formulación de conclusiones y recomendaciones

#### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de la investigación son los siguientes:

- Cámara fotográfica
- Equipo de laboratorio de mecánica de rocas
- Horno
- Balanza


### **3.5. Técnicas de tratamiento de datos**

#### **3.5.1. Ensayos de laboratorio**

Después de obtener 1 panel con fibra sintética y otro panel con fibra metálica, estos ensayos fueron llevados al laboratorio especializado de la Pontificia Universidad Católica del Perú y de la Universidad Ricardo Palma, el tipo de ensayo que se realizó fue el ensayo de capacidad de absorción de energía (tenacidad), que permite evaluar la capacidad de tenacidad de las fibras. Estos ensayos se centran en el estudio de la

tenacidad de las fibras, es decir la capacidad de absorción de energía después de la fisuración del concreto.

**Tabla 4. Resultado de tenacidad de paneles**

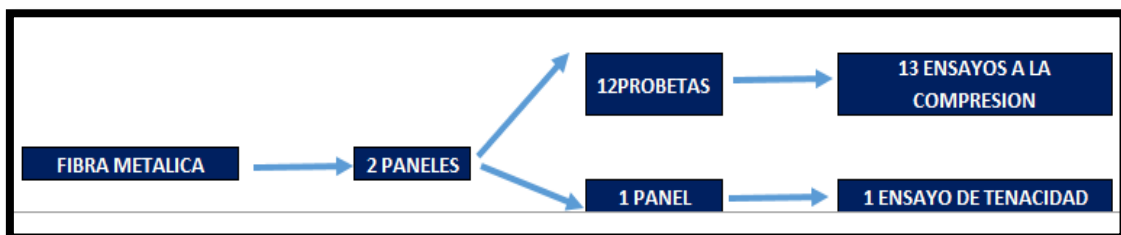
		<b>ENSAYO DE ABSORCION DE ENERGIA / TENACIDAD</b>										<b>FORMATO:</b>	
												<b>CJNET-SGC-PE-06</b>	
		<i>ASTM C78 / NTP 339.637</i>										<b>REVISION:</b>	
<b>PROYECTO:</b>		SOSTENIMIENTO MECANIZADO CON SHOTCRETE - VIA HUMEDA										<b>1</b>	
<b>CLIENTE:</b>		UNIDAD MINERA RAURA										<b>FECHA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>		INTERIOR MINA										<b>12/01/2018</b>	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>													
Nro DE SERIE	FECHA DE MOLDEO	PANEL	EDAD (DIAS)	FECHA DE ROTURA	LABOR	Fibra Kg	Aditivo Acelerante	Equipo de Lanzado	SLUMP	RESISTENCIA SOLICITADA EN JOULES	RESISTENCIA EN JOULES	% ALCANZADO	OBSERVACIONES
0001	23/04/2018	<b>SINTETICA</b>	28	21/05/2018	GL-651/100	25	L-33	RB-04	6.1/2	650	<b>881</b>	136%	
0002	29/04/2018	<b>METALICA</b>	28	27/05/2018	GL-651/100	25	L-33	RB-04	6"	650	<b>757</b>	116%	

## CAPÍTULO IV

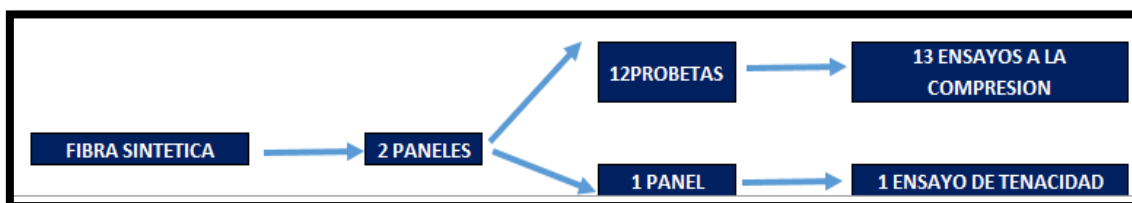
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

La extracción de la muestra se realizó en el nivel 100 de la Galería 651 de la minera Raura, del que se extrajeron las siguientes muestras:



*Figura 19. Extracción de muestra con fibra metálica*



*Figura 20. Extracción de muestra con fibra sintética*

#### **4.1.1. Ensayo de resistencia a la compresión de núcleos cilíndricos de concreto**

##### **4.1.1.1. Descripción**

Para determinar la resistencia a compresión del *shotcrete* se realiza la extracción de núcleos cilíndricos de concreto siguiendo la norma ASTM C42/42M-16.

##### **4.1.1.2. Equipos**

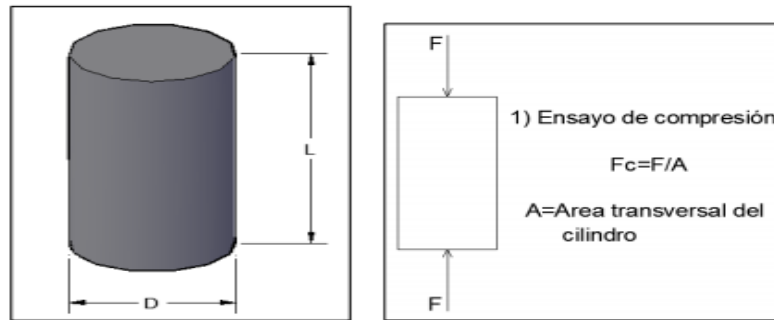
Entre los equipos que se utilizan para obtener núcleos de concreto se encuentra una máquina de perforación provista de brocas diamantadas. Estos núcleos son llevados al laboratorio de la Universidad Católica del Perú para el análisis de la resistencia de compresión.



*Figura 21. Equipo de extracción diamantina*

##### **4.1.1.3. Procedimiento**

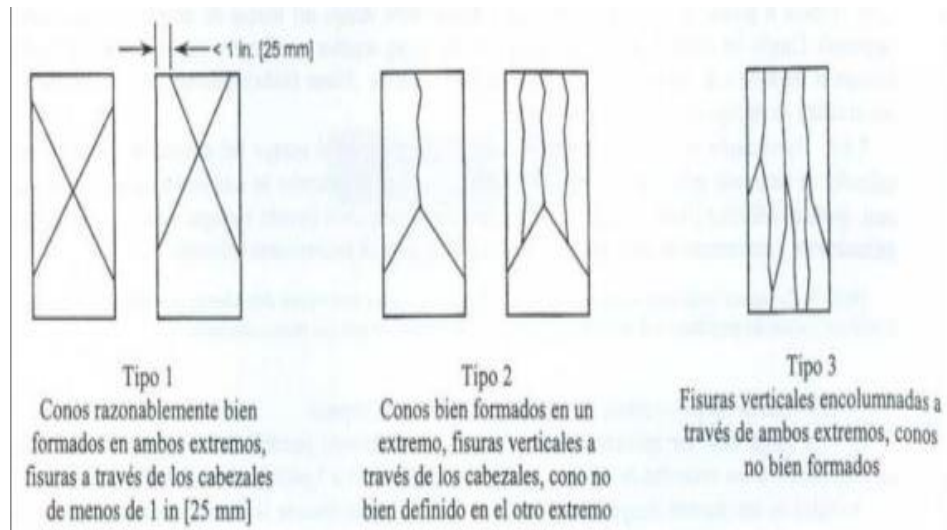
Las probetas se extraen de paneles proyectados que hayan sido curados por 28 días, una vez montado el equipo de extracción con una broca diamantina de 3" de diámetro se procede a extraer los núcleos cilíndricos de concreto, posterior a ello se realiza el aserrado de las probetas con el objeto de que la ratio L/D se encuentre entre los parámetros establecidos.



**Figura 22. Dimensiones de un núcleo cilíndrico de concreto. Tomada de ASTM C39**

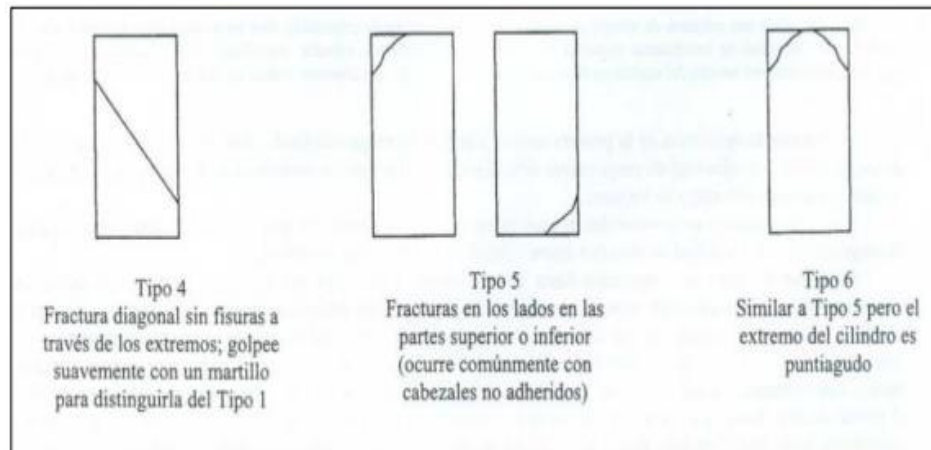
#### 4.1.1.4. Mecanismos de falla

Los núcleos cilíndricos de concreto sometidos al ensayo de compresión fallan de distinta forma. Se pueden obtener fallas en forma cónica, fallas verticales encolumnadas, fallas cónicas combinadas con fallas verticales encolumnadas, fallas diagonales, entre otros. Las fallas de las probetas con fibra según el ASTM C39 son de tipo 3, fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos no bien formados.



**Figura 23. Fallas típicas en cilindros sometidos a compresión ASTM C39**





**Figura 24. Fallas típicas en el ensayo de compresión ASTM C39**

#### 4.1.1.5. Resultados

Se calcula la resistencia a compresión de cada espécimen utilizando el área transversal calculada sobre la base del diámetro promedio de la probeta.

Los factores de corrección que se aplican según la norma se muestran en el siguiente cuadro.

**Tabla 5. Factores de corrección**

Ratio L/D	Factor de corrección
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

Tabla 6. Resumen de ensayos a la compresión de testigos diamantinos

RESUMEN DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DIAMANTINOS													FORMATO:			
ASTM C39 / NTP 339.059													CJNET-SGC-PE-09			
PROYECTO: SOSTENIMIENTO MECANIZADO CON SHOTCRETE - VIA HUMEDA													REVISIÓN:			
CLIENTE: UNIDAD MINERA RAJURA													1			
UBICACIÓN: INTERIOR MINA													FECHA:			
FECHA DE ENSAYO:													12/06/2017			
ITEM	FECHA DE EXTRACCIÓN	FECHA DE COMPRESIÓN	TIPO DE FIBRA	SECTOR DE LANZADO (Tramo, Labor, Nivel, Turno)	DIAMETRO A (cm)	DIAMETRO B (cm)	PROMEDIO DE DIAMETROS (cm)	ALTURA	AREA	CARGA (Kg)	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	R/d	FACTOR DE CORRECCIÓN	F'c CORREGIDO	DIAS	PROMEDIO
1	27/04/2018	25/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	3846	242	2,49	1,00	242	28	236
2	27/04/2018	25/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,4	15,3	3670	231	2,53	1,00	231	28	223
3	29/04/2018	27/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	3653	230	2,49	1,00	230	28	224
4	29/04/2018	27/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,4	15,3	3437	216	2,53	1,00	216	28	252
5	02/05/2018	16/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	3497	220	2,49	1,00	220	14	286
6	02/05/2018	16/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	3637	229	2,49	1,00	229	14	283
7	02/05/2018	30/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	4865	306	2,49	1,00	268	28	268
8	02/05/2018	30/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,3	15,3	4960	312	2,51	1,00	235	28	268
9	05/05/2018	19/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,1	15,3	4756	299	2,47	1,00	278	14	268
10	05/05/2018	19/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	4667	293	2,48	1,00	293	14	283
11	07/05/2018	07/06/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,3	15,3	5498	346	2,51	1,00	288	28	247
12	07/05/2018	07/06/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	4733	298	2,49	1,00	298	28	284
13	10/05/2018	24/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,5	15,3	3800	239	2,56	1,00	239	14	268
14	10/05/2018	24/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,3	15,3	4050	255	2,51	1,00	255	14	293
15	10/05/2018	07/06/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	5003	315	2,49	1,00	268	28	268
16	10/05/2018	07/06/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,3	15,3	4757	299	2,51	1,00	299	28	268
17	13/05/2018	20/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	4404	277	2,49	1,00	277	14	293
18	13/05/2018	20/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,4	15,3	4105	258	2,53	1,00	258	14	293
19	13/05/2018	27/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,2	15,3	5486	345	2,49	1,00	298	28	287
20	13/05/2018	27/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,1	15,3	5076	319	2,47	1,00	287	28	291
21	15/05/2018	22/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,1	15,3	5645	355	2,47	1,00	295	14	268
22	15/05/2018	22/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,3	15,3	4953	311	2,51	1,00	287	14	268
23	15/05/2018	29/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,1	15,3	6149	387	2,47	1,00	279	28	268
24	15/05/2018	29/05/2018	METALICA	GL 65M/VT-001H00	4,5	4,5	4,5	11,1	15,3	5683	357	2,47	1,00	258	28	268

Resultados de resistencia a la compresión con fibra metálica.

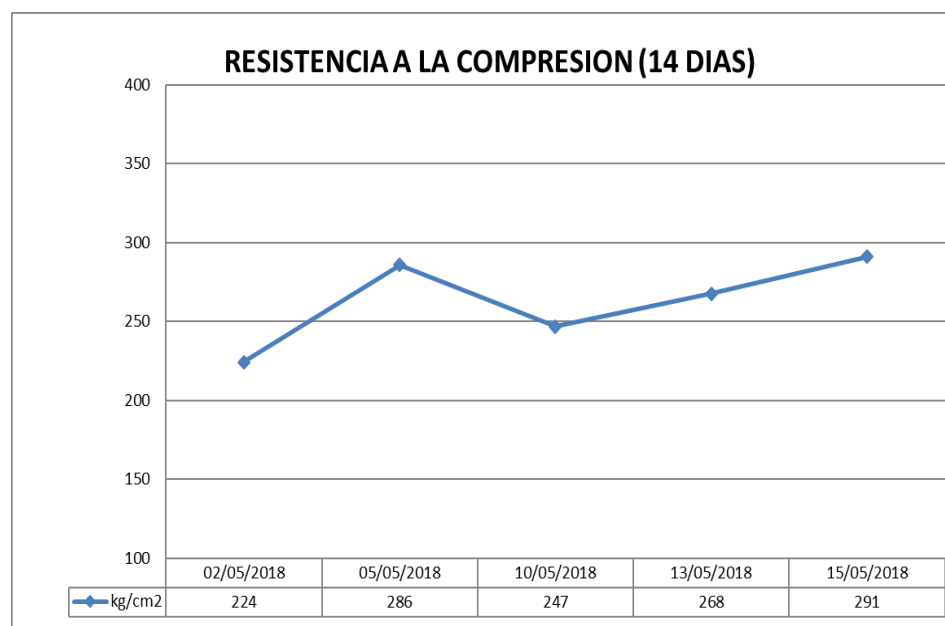
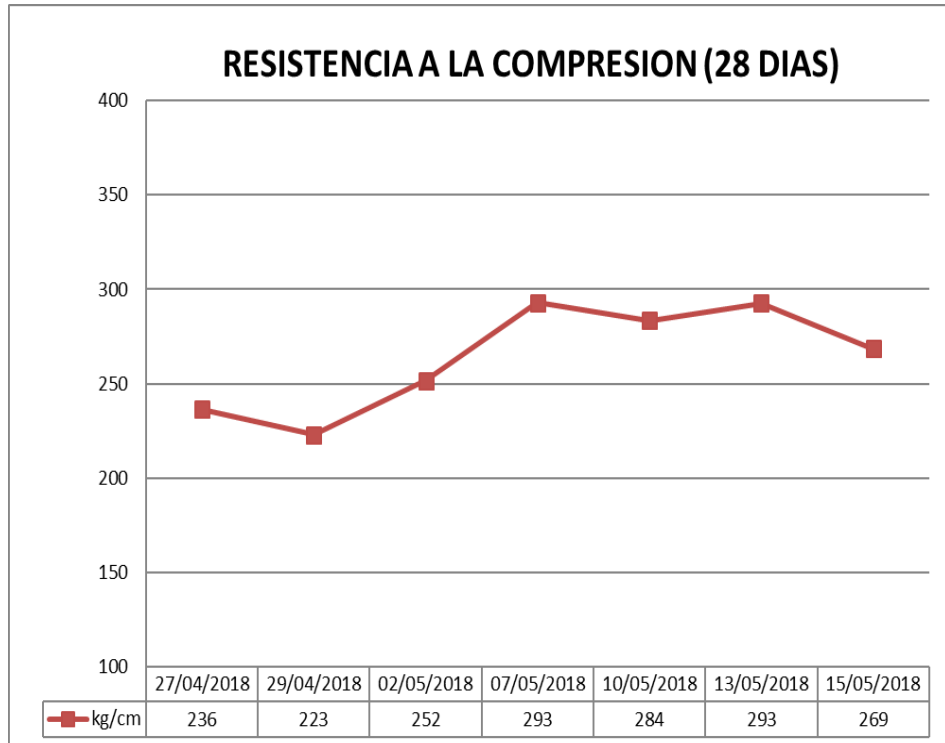


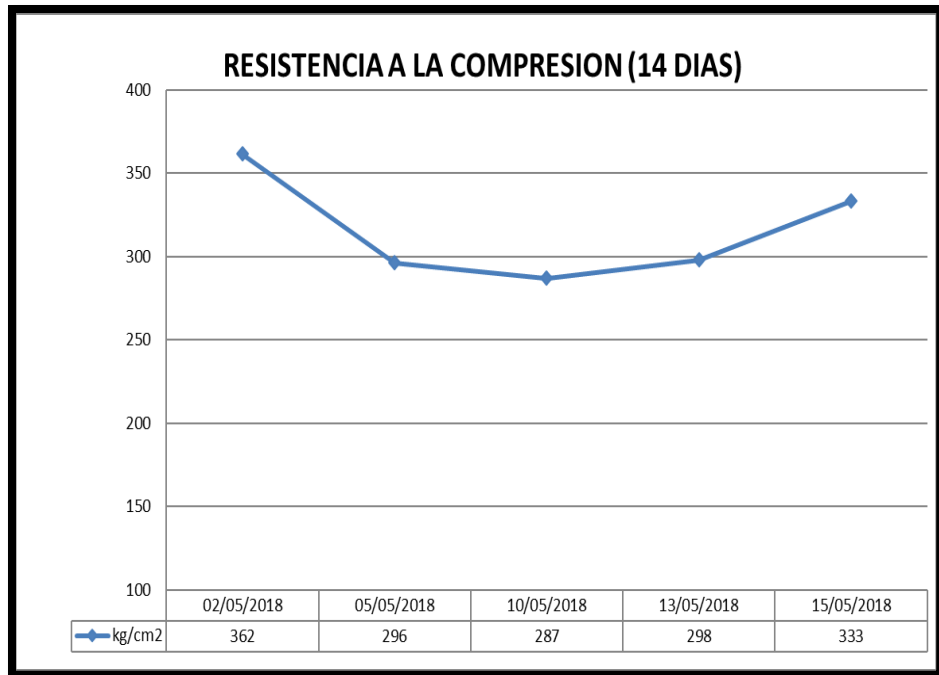
Figura 25. Resistencia a la compresión con fibra metálica (14 días)



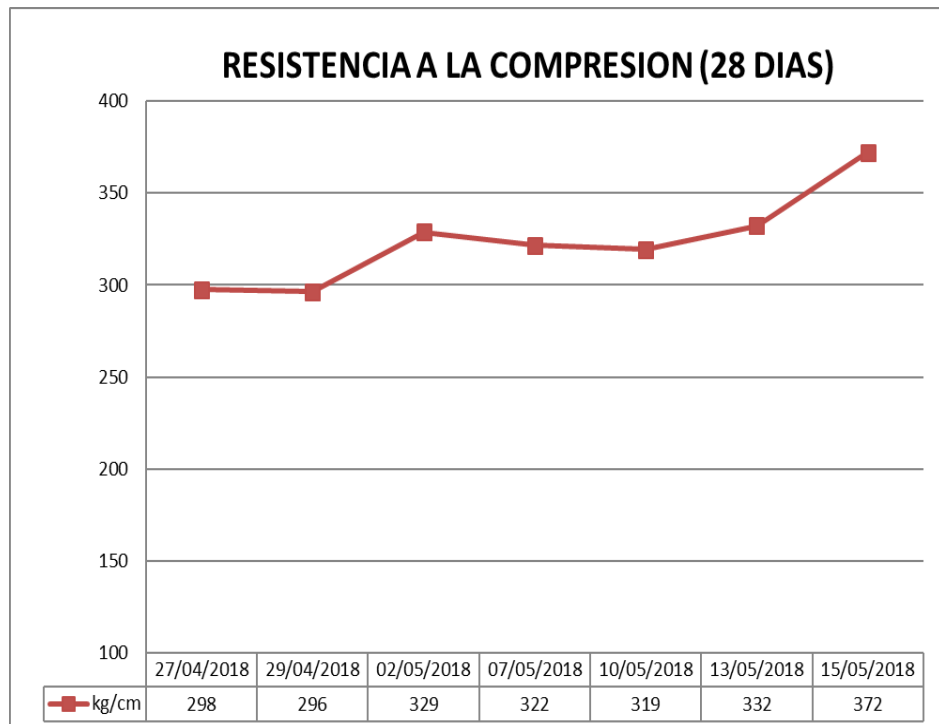
**Figura 26. Resistencia a la compresión en 28 días con fibra metálica**

**Tabla 7. Resumen de ensayos a la compresión de testigos diamantados con fibra sintética**

RESUMEN DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DIAMANTINOS															FORMATO: CJNET-SGC-PE-09	
ASTM C39 / NTP 339.059															REVISION: 1	
PROYECTO: SOSTENIMIENTO MECANIZADO CON SHOTCRETE - VIA HUMEDA CLIENTE: UNIDAD MINERA RAURA UBICACIÓN: INTERIOR MINA FECHA DE ENSAYO:															FECHA: 12/06/2017	
ITEM	FECHA DE EXTRACCIÓN	FECHA DE COMPRESIÓN	TIPO DE FIBRA	SECTOR DE LANZADO (Tramo, Labor, Nivel, Turno)	DIAMETRO A (cm)	DIAMETRO B (cm)	PROMEDIO DE DIAMETROS (cm)	ALTURA	AREA	CARGA (Kg)	F'c (kg/cm²)	R W/d	FACTOR DE CORRECCIÓN	F'c CORREGIDO	DIAS	PROMEDIO
1	27/04/2018	25/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	4733	288	2,49	1,00	288	28	288
2	27/04/2018	25/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,4	15,9	4733	288	2,53	1,00	288	28	288
3	23/04/2018	27/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	4756	289	2,49	1,00	289	28	286
4	23/04/2018	27/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,4	15,9	4667	283	2,53	1,00	283	28	286
5	02/05/2018	16/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	5886	368	2,49	1,00	368	14	362
6	02/05/2018	16/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	5643	355	2,49	1,00	355	28	329
7	02/05/2018	30/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	5498	346	2,49	1,00	346	28	329
8	02/05/2018	30/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,3	15,9	4960	312	2,51	1,00	312	28	329
9	05/05/2018	13/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,1	15,9	4756	289	2,47	1,00	289	14	286
10	05/05/2018	13/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	4667	283	2,48	1,00	283	28	322
11	07/05/2018	07/06/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,3	15,9	5498	346	2,51	1,00	346	28	322
12	07/05/2018	07/06/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	4733	288	2,49	1,00	288	28	322
13	10/05/2018	24/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,5	15,9	5076	319	2,56	1,00	319	14	287
14	10/05/2018	24/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,3	15,9	4050	255	2,51	1,00	255	28	319
15	10/05/2018	07/06/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	5076	319	2,49	1,00	319	28	319
16	10/05/2018	07/06/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,3	15,9	5076	319	2,51	1,00	319	28	319
17	13/05/2018	20/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	4404	277	2,49	1,00	277	14	286
18	13/05/2018	20/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,4	15,9	5076	319	2,53	1,00	319	28	332
19	13/05/2018	27/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,2	15,9	5498	345	2,49	1,00	345	28	332
20	13/05/2018	27/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,1	15,9	5076	319	2,47	1,00	319	28	332
21	15/05/2018	22/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,1	15,9	5643	355	2,47	1,00	355	14	333
22	15/05/2018	23/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,3	15,9	4953	311	2,51	1,00	311	28	332
23	15/05/2018	23/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,1	15,9	6143	381	2,47	1,00	381	28	332
24	15/05/2018	23/05/2018	SINTETICA	GL 65VYT-001/100	4,5	4,5	4,5	11,1	15,9	5683	357	2,47	1,00	357	28	332



**Figura 27. Resistencia a la compresión de 14 días con fibra sintética**



**Figura 28. Resistencia a la compresión a los 28 días con fibra sintética**

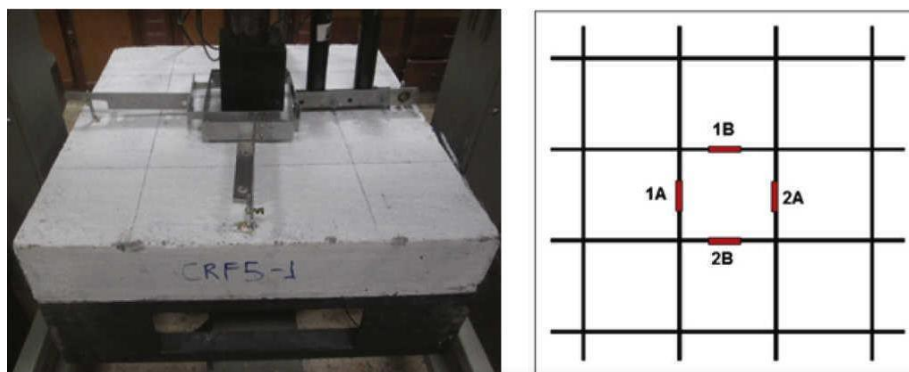
## 4.1.2. Ensayo de absorción de energía con paneles cuadrados

### 4.1.2.1. Descripción

La normativa en este caso corresponde a la EN 14488-5 “Determinación de la capacidad de absorción de energía de probetas planas reforzadas con fibras”. En esta norma se especifica un método para la determinación de la respuesta carga/deflexión de una probeta plana con el fin de calcular la capacidad de absorción de energía hasta una deflexión de 25 mm.

### 4.1.2.2. Equipos y aplicación de la carga

Entre los equipos se encuentra un marco de reacción de al menos 200 KN/mm de rigidez, un deformímetro de 0.01 mm de resolución y un actuador hidráulico. El dispositivo para aplicar la carga comprende un soporte cuadrado rígido de  $20 \pm 1$  mm de espesor y  $(500 \pm 2)$  mm x  $(500 \pm 2)$  mm de dimensiones internas. Además, se debe usar un bloque de carga cuadrado de dimensiones  $(100 \pm 1)$  mm x  $(100 \pm 1)$  mm y un espesor de  $(20 \pm 1)$  mm, el que se coloca en el centro de la cara superior de la probeta plana.



**Figura 29. Aplicación de cargas en paneles cuadrados. Tomada de la Revista Ingeniería Investigación y Tecnología 2016**

### 4.1.2.3. Losas cuadradas

Las losas cuadradas son de base cuadrada de 600 mm x 600 mm con un espesor de 100 mm, deben tener una edad mínima de 14 y 28 días para el ensayo.



**Figura 30. Panel cuadrado**

#### **4.1.2.4. Procedimiento**

La carga se aplica en la cara proyectada con el objeto de que la cara lisa se encuentre apoyada en el soporte. La carga se aplica perpendicular en el centro de la probeta, el ensayo termina cuando la deflexión exceda los 25 mm.



**Figura 31. Colocación de panel cuadrado. Tomada de Ventajas técnico-económicas del shotcrete reforzado con fibras de acero comparado con el sostenimiento estructural, en labores mineras de tipo de roca IVA-IVB, según RMR en la unidad minera Carahuacra, EUA Yauli, Volcan Compañía Minera S. A. A. (9)**

#### **4.1.2.5. Resultados**

A partir de la curva carga/deflexión se calcula el diagrama de energía que proporciona el trabajo desarrollado como una función del desplazamiento. La capacidad de absorción de energía en julios se anota como el área bajo la curva carga/deflexión entre 0 mm y 25 mm de deflexión.

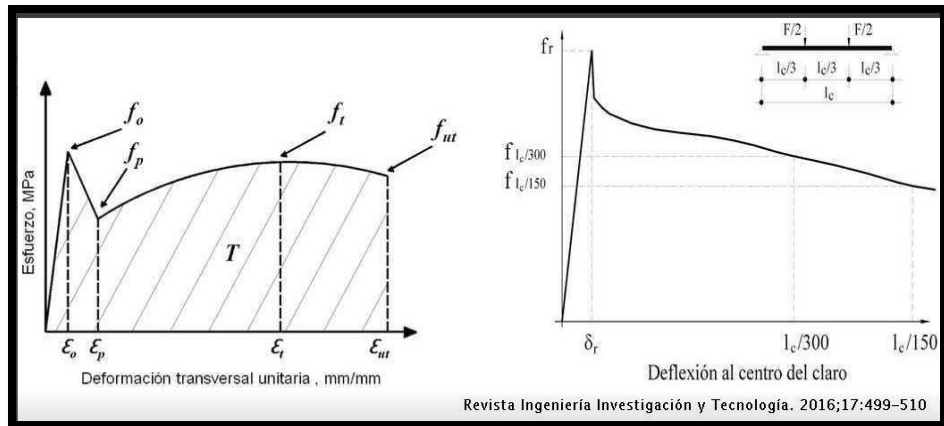


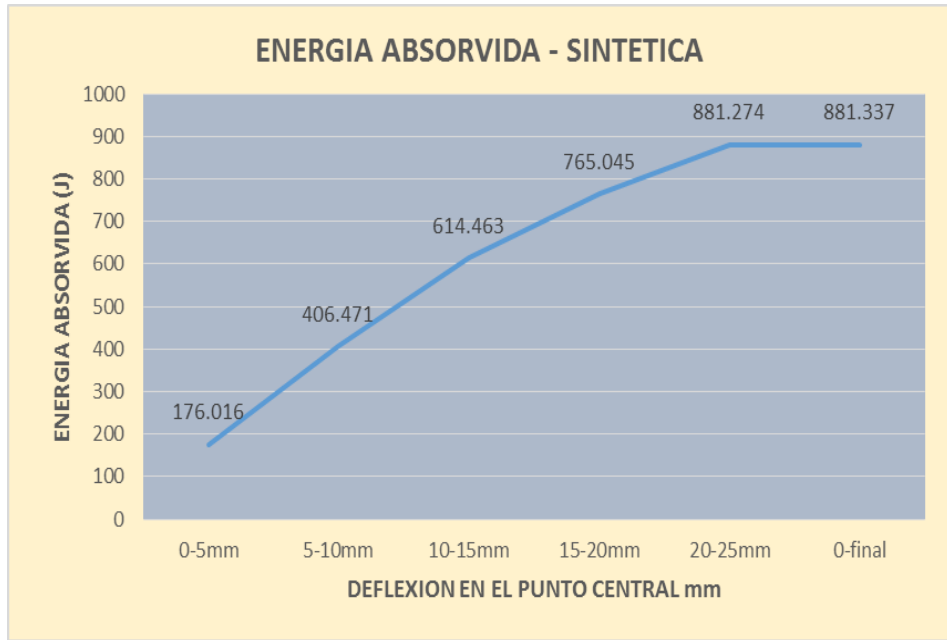
Figura 32. Curva de tensión en vigas al centro del panel. Tomada de la Revista Ingeniería Investigación y Tecnología 2016

Tabla 8. Resultados de tenacidad

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA / TENACIDAD													FORMATO:
ASTM C78 / NTP 339.637													CJNET-SGC-PE-06
PROYECTO: SOSTENIMIENTO MECANIZADO CON SHOTCRETE - VIA HUMEDA													REVISION:
CLIENTE: UNIDAD MINERA RAURA													1
UBICACIÓN: INTERIOR MINA													FECHA:
FECHA DE ENSAYO:													12/01/2018
Nro DE SERIE	FECHA DE MOLDEO	PANEL	EDAD (DIAS)	FECHA DE ROTURA	LABOR	Fibra Kg	Aditivo Acelerante	Equipo de Lanzado	SLUMP	RESISTENCIA SOLICITADA EN JOULES	RESISTENCIA EN JOULES	% ALCANZADO	OBSERVACIONES
0001	23/04/2018	SINTETICA	28	21/05/2018	GL-651/100	25	L-33	RB-04	6.1/2	650	881	136%	
0002	29/04/2018	METALICA	28	27/05/2018	GL-651/100	25	L-33	RB-04	6"	650	757	116%	

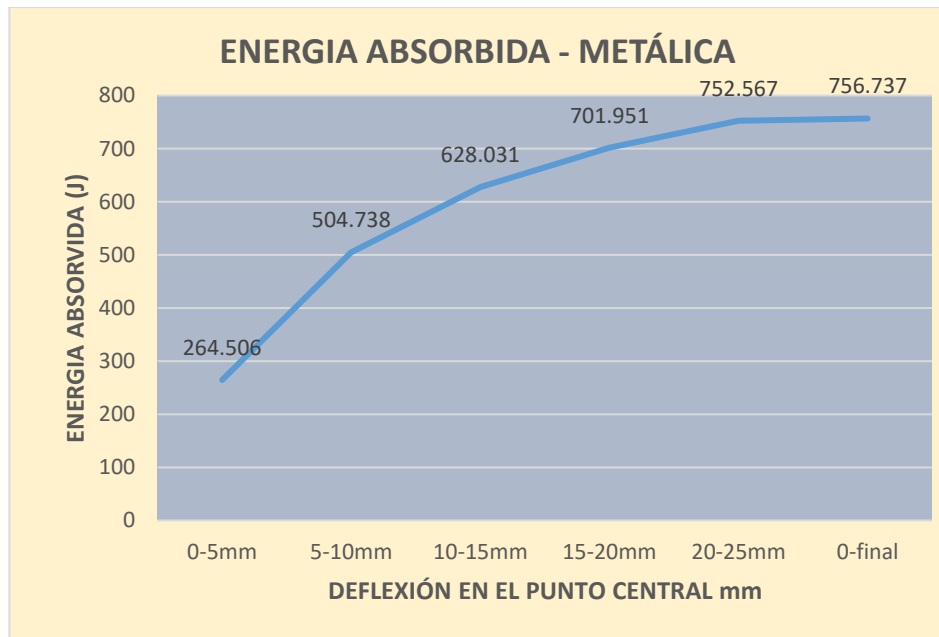
Absorción de energía en paneles cuadrados.

Energía absorbida en losa cuadrada con fibra sintética – ensayos de tenacidad.



**Figura 33. Energía absorbida – fibra sintética**

Energía absorbida en losa cuadrada con fibra metálica – ensayos de tenacidad.




**Figura 34. Energía absorbida – metálica**




### 4.1.3. Diseño de mezcla del concreto

Tabla 9. *Diseño de mezcla de concreto fibra metálica*

	<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO</b>		<b>FORMATO</b>	
			CJNET-SGC-PE-08	
<b>ACI COMITÉ 211</b>			<b>REVISION</b>	
<b>PROYECTO:</b> SOSTENIMIENTO MECANIZADO CON SHOTCRETE - VIA HUMEDA <b>CLIENTE:</b> UNIDAD MINERA RAURA <b>UBICACIÓN:</b> INTERIOR MINA <b>FECHA DE ENSAYO:</b>			<b>1</b>  <b>FECHA</b>  <b>12/06/2017</b>	
<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>				
Cemento SOL y ANDINO Tipo I		3.15 gr/cm <sup>3</sup>		
Superplastificante Gunic L 100		1.05 gr/cm <sup>3</sup>		
Acelerante de Fragua Gunitoc L 33		1.46 gr/cm <sup>3</sup>		
Fibra metalica		3.174 gr/cm <sup>3</sup>		
<b>AGREGADO GLOBAL</b>				
Peso Unitario Suelto		1660 kg/m <sup>3</sup>		
Peso Unitario Varillado		1818 kg/m <sup>3</sup>		
Peso Especifico		2.611 gr/cm <sup>3</sup>		
Absorción		2.02 %		
Tamaño Máximo Nominal		3/8"		
<b>CARACTERISTICAS REQUERIDAS</b>				
Resistencia a la Compresión		280 kg/cm <sup>2</sup>		
Revenimiento		7"		
<b>DISEÑO SECO</b>				
	<b>PESO</b>		<b>VOLUMEN</b>	
Cemento	425		134.9	
Arena	1597.4		611.8	
Agua	191.0		191.0	
GUNIC L100	4.25		4.0	
GUNITOC L33	29.8		20.4	
Fibra Metalica	25.0		7.9	
Aire	0.0		30	
<b>TOTAL</b>	<b>2272.4 Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>1000 L/m<sup>3</sup></b>	
<b>PROPORCIONES EN PESO Y VOLUMEN</b>				
	<b>TANDA</b>		<b>TANDA</b>	
Cemento	1 Bls	Cemento	1 Bls	
Agregado	3.76 Bls	Agregado	3.3 Pie <sup>3</sup>	
Agua	0.45 Bls	Agua	19.1 Lt	
<b>QA/QC - CJ NETCOM</b>		<b>RESIDENCIA - CJ NETCOM</b>		<b>GEOMECANICA - RAURA</b>
<b>FIRMA:</b>		<b>FIRMA:</b>		<b>FIRMA:</b>
<b>NOMBRE:</b>		<b>NOMBRE:</b>		<b>NOMBRE:</b>
<b>FECHA</b>		<b>FECHA</b>		<b>FECHA</b>

Diseño de mezcla con fibra metálica Sika Fiber-CHO65/35NB 20 kg, el que se utiliza en este diseño es 25 kg de fibra metálica.

**Tabla 10. Diseño de mezcla con fibra sintética**

	<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO</b>		<b>FORMATO</b>		
			CINET-SGC-PE-08		
<b>ACI COMITÉ 211</b>		<b>REVISION</b>			
<b>PROYECTO:</b> SOSTENIMIENTO MECANIZADO CON SHOTCRETE - VIA HUMEDA <b>CLIENTE:</b> UNIDAD MINERA RAURA <b>UBICACIÓN:</b> INTERIOR MINA <b>FECHA DE ENSAYO:</b>		<b>1</b>			
		<b>FECHA</b>			
		12/03/2018			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>					
Cemento SOL y ANDINO Tipo I		3.15 gr/cm <sup>3</sup>			
Superplastificante Gunic L 100		1.05 gr/cm <sup>3</sup>			
Acelerante de Fragua Gunitoc L 33		1.46 gr/cm <sup>3</sup>			
Fibra metalica		3.174 gr/cm <sup>3</sup>			
<b>AGREGADO GLOBAL</b>					
Peso Unitario Suelto		1660 kg/m <sup>3</sup>			
Peso Unitario Varillado		1818 kg/m <sup>3</sup>			
Peso Especifico		2.611 gr/cm <sup>3</sup>			
Absorción		2.02 %			
Tamaño Máximo Nominal		3/8"			
<b>CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS</b>					
Resistencia a la Compresión		280 kg/cm <sup>2</sup>			
Revenimiento		7"			
<b>DISEÑO SECO</b>					
	<b>PESO</b>		<b>VOLUMEN</b>		
Cemento	425		134.9		
Arena	1597.4		611.8		
Agua	191.0		191.0		
GUNIC L100	4.25		4.0		
GUNITOC L33	29.8		20.4		
Fibra Sintetica	6.0		1.9		
Aire	0.0		30		
<b>TOTAL</b>	<b>2253.4 Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>994 L/m<sup>3</sup></b>		
<b>PROPORCIONES EN PESO Y VOLUMEN</b>					
	<b>TANDA</b>		<b>TANDA</b>		
Cemento	1 Bls	Cemento	1 Bls		
Agregado	3.76 Bls	Agregado	3.3 Pie <sup>3</sup>		
Agua	0.45 Bls	Agua	19.1 Lt		
<b>QA/QC - CJ NETCOM</b>		<b>RESIDENCIA - CJ NETCOM</b>		<b>GEOMECANICA - RAURA</b>	
<b>FIRMA:</b>		<b>FIRMA:</b>		<b>FIRMA:</b>	
<b>NOMBRE:</b>		<b>NOMBRE:</b>		<b>NOMBRE:</b>	
<b>FECHA</b>		<b>FECHA</b>		<b>FECHA</b>	

Diseño de mezcla con fibra sintética Sika Fiber Enduro 600 Caja 7.0 kg, el que se utiliza en este diseño es de 6 kg de fibra sintética.

#### 4.1.3.1. Análisis de los costos

Para analizar los costos, es necesario saber los precios unitarios de los materiales en el diseño de mezcla, y son:

**Tabla 11. Precio unitario de materiales**

MATERIALES	PU	GL	LT	KG
Cemento sol tipo I (BOL)	S/.26.00			
Arena (M3)	S/.72.00			
Plastificante GUNIC L100 (CIL)	S/.720.00	S/.13.09	S/.3.46	
Acelerante GUNITOC L33 (CIL)	S/.840.00	S/.15.27	S/.4.03	
Sika Fiber Enduro 600 Caja 7.0 kg	S/.540.00			S/.77.14
Sikafiber-CHO65/35NB 20 kg	S/.302.75			S/.15.14

Precios unitarios de los materiales en el diseño de mezcla para concreto.

**A) Precio unitario del diseño con fibra sintética por metro cúbico**

**Tabla 12. Precio unitario por metro cúbico con fibra sintética**

MATERIAL/M3	PU	CANTIDAD	TOTAL
Cemento sol tipo I (BOL)	S/.26.00	10	S/.260.00
Arena (M3)	S/.72.00	0.65	S/.46.80
Plastificante GUNIC L100 (LT)	S/.3.46	4	S/.13.82
Acelerante GUNITOC L33 (LT)	S/.4.03	20	S/.82.25
Sika Fiber Enduro 600 - 1.0 kg	S/.77.14	6	S/.462.86
<b>TOTAL/M3</b>			<b>S/.865.74</b>

**B) Precio unitario del diseño con fibra metálica por metro cúbico.**

**Tabla 13. Precio unitario por metro cúbico con fibra metálica**

MATERIAL/M3	PU	CANTIDAD	TOTAL
Cemento sol tipo I (BOL)	S/.26.00	10	S/.260.00
Arena (M3)	S/.72.00	0.65	S/.46.80
Plastificante GUNIC L100 (CIL)	S/.3.46	4	S/.13.82
Acelerante GUNITOC L33 (CIL)	S/.4.03	20	S/.82.25
Sikafiber-CHO65/35NB - 1.0 kg	S/.15.14	25	S/.378.44
<b>TOTAL/M3</b>			<b>S/.781.32</b>

## 4.2. Discusión de resultados

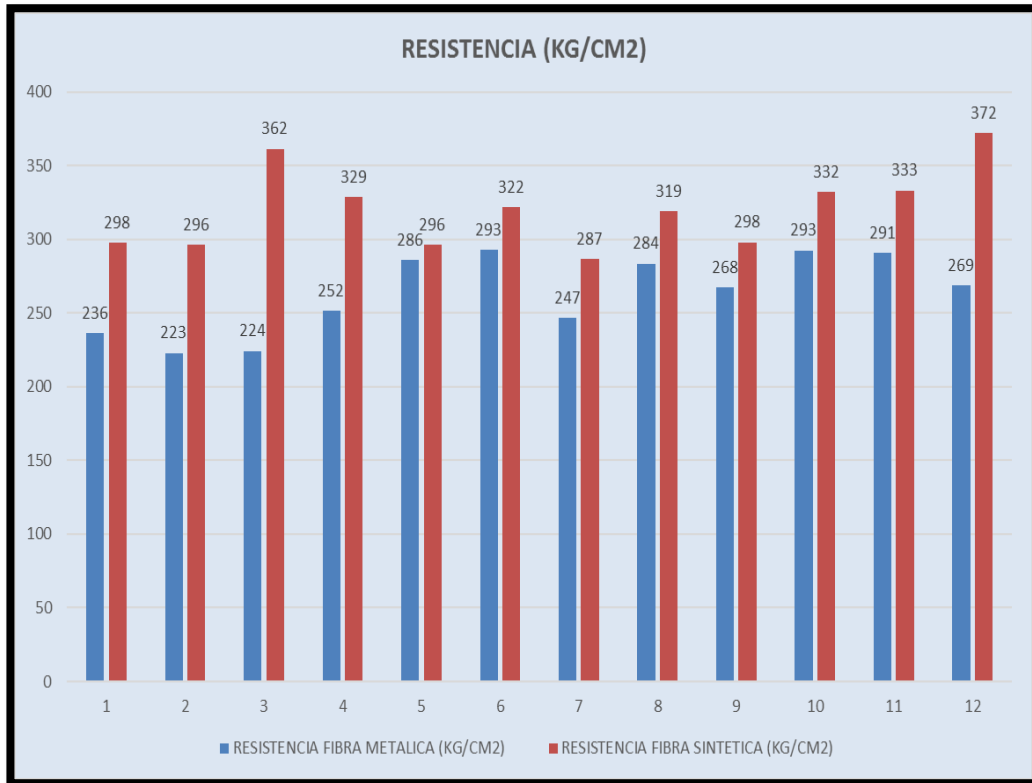
### 4.2.1. Resistencia a la compresión

Tabla 14. Resistencia a la compresión

ITEM	RESISTENCIA A FIBRA METALICA (KG/CM2)	RESISTENCIA A FIBRA SINTETICA (KG/CM2)	DIFERENCIA (KG/CM2)
1	236	298	61.24
2	223	296	73.34
3	224	362	137.23
4	252	329	77.28
5	286	296	10.52
6	293	322	28.85
7	247	287	40.11
8	284	319	35.61
9	268	298	30.49
10	293	332	39.55
11	291	333	42.18
12	269	372	103.47
<b>PROMEDIO DE SUPERIORIDAD</b>			<b>56.66</b>

El cuadro anterior es el resumen de los resultados de resistencia a la compresión de los núcleos extraídos en la unidad minera Raura en la galería 651 del nivel 100, donde los resultados de resistencia a la compresión de la fibra sintética son en promedio 56.66 kg/cm<sup>2</sup> mayor que los resultados de fibra metálica.

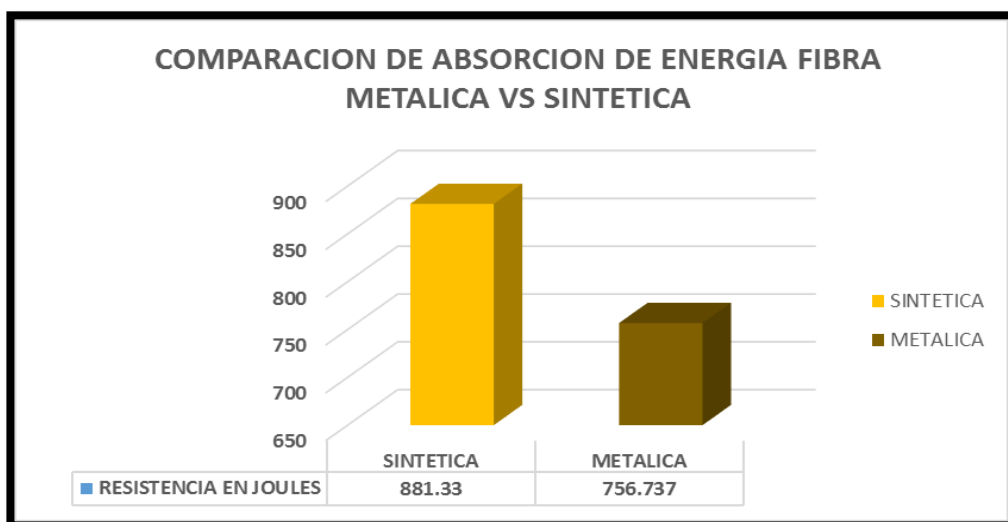
Según las muestras analizadas:



**Figura 35. Comparación de resistencia**

#### 4.2.2. Resultados de la tenacidad –absorción de energía

Según los resultados obtenidos en la Universidad Católica del Perú, la fibra sintética tiene mayor absorción y tenacidad a un 16.5% mayor que la fibra metálica, el que es recomendable en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda en la unidad minera Raura.



**Figura 36. Comparación de absorción de energía fibra metálica vs fibra sintética**

#### 4.2.3. Dosificación de fibra

Respecto al diseño de mezcla para *shotcrete* que se usa en la unidad minera Raura, se tiene mayores resultados con la fibra sintética usando menor cantidad, 19 kg menos que la fibra metálica.

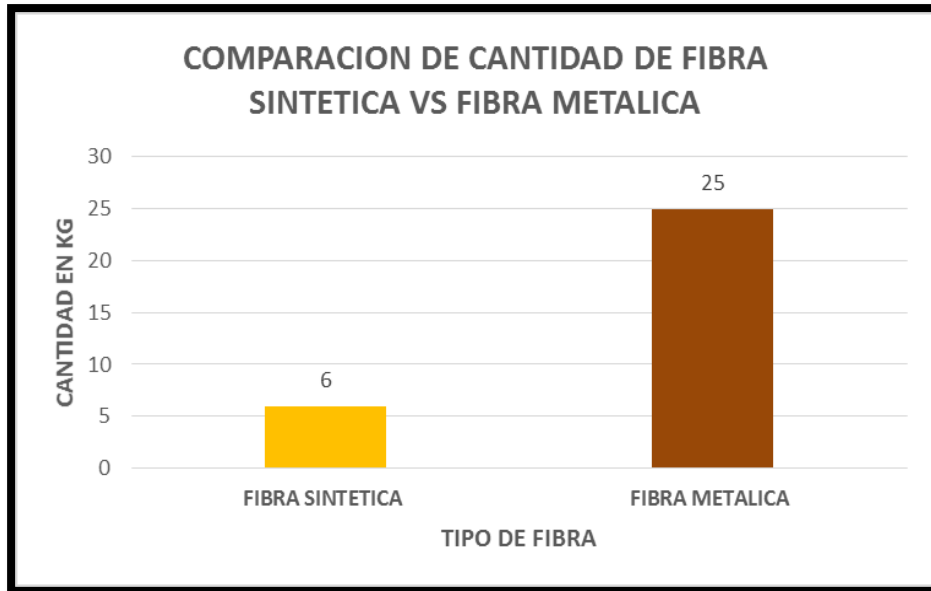
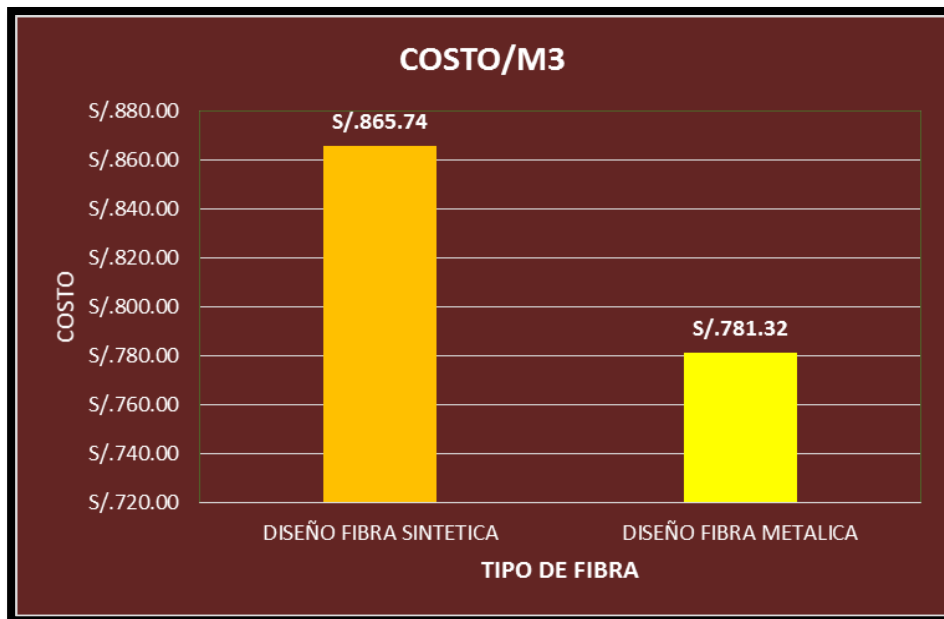


Figura 37. Comparación de cantidad de fibra sintética vs fibra metálica

#### 4.2.4. Resultado de costos

Según los precios unitarios de los materiales que intervienen en el diseño de mezcla, hay una diferencia entre el uso de la fibra metálica vs la fibra sintética, donde el costo por m<sup>3</sup> de concreto húmedo con fibra sintética es mayor a un S/ 84.42 soles con respecto a la fibra metálica.



**Figura 38. Costo por m<sup>3</sup> de fibra sintética vs fibra metálica**

## CONCLUSIONES

1. Según los resultados obtenidos de compresión y tenacidad (absorción de energía) la fibra sintética tiene mejores resultados que la fibra metálica, pero con un mayor costo de mezcla por  $m^3$ , si bien la dosis de fibra sintética es menor su costo por kg es mayor en relación de la fibra metálica.
2. Con respecto a la resistencia a la compresión que ejerce la fibra sintética llega a ser mayor que la fibra metálica en  $56.66 \text{ kg/cm}^2$  en promedio, el que incide un mejor resultado en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda. El mayor resultado a la compresión se obtiene en la fibra sintética con  $372 \text{ kg/cm}^2$  respecto a la fibra metálica obteniendo  $291 \text{ kg/cm}^2$ .
3. Según los resultados obtenidos de absorción de energía - tenacidad que reflejan cada análisis de muestra, la fibra sintética tiene  $881.33$  Joules y la fibra metálica  $753.73$  Joules, una diferencia entre estos de  $124.59$  Joules, siendo la fibra sintética un  $16\%$  mejor que la fibra metálica, que es un parámetro muy importante en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda.
4. Respecto a la dosificación de fibra, la fibra sintética al usar menor cantidad ( $6 \text{ kg}$ ) se obtienen mayores resultados de compresión y tenacidad con respecto a la fibra metálica que se usa,  $25 \text{ kg}$  en el diseño de mezcla por metro cúbico.
5. Según los precios unitarios, la fibra sintética versus la fibra metálica, respecto al diseño de mezcla por  $m^3$ , el diseño con fibra sintética tiene un valor de S/  $865.74$  y el diseño de fibra metálica tiene un valor de S/  $781.32$ , existiendo una diferencia de costos de S/  $84.42$  soles por  $m^3$  de mezcla.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de fibra sintética debido a que tiene mayores resultados de resistencia a la compresión y tenacidad que ayudará en un buen sostenimiento de labores en la unidad minera Raura.
2. Si bien la fibra sintética tiene mayor resistencia a la compresión que la fibra metálica, no hay mucha diferencia en dichos resultados, por evaluación de costos en la operación se puede seguir usando la fibra metálica, pero por mejoras en seguridad, sería una buena opción usar la fibra sintética.
3. La tenacidad es muy importante en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda, ya que la fibra sintética tiene un 16% más que la fibra metálica, sería recomendable usar la fibra sintética que ayudaría mucho en la seguridad en el sostenimiento de las labores en la unidad minera Raura.
4. Según la dosificación es más factible que el ayudante de planta abastezca 6 kg de fibra sintética con relación a 25 kg de fibra metálica, ayudaría mucho en la operación en tema de dosificación, respecto a los resultados de compresión y tenacidad, se sabe que la fibra sintética supera a la fibra metálica, es una buena opción para el cambio y mejora en el sostenimiento de *shotcrete* vía húmeda.
5. Se recomienda evaluar diferentes factores en la unidad (operación, seguridad, medio ambiente, logística, etc.) debido a que el costo de la fibra sintética es mayor que la metálica, pero sería una buena opción de mejora en seguridad y calidad de sostenimiento por *shotcrete* vía húmeda.
6. Es necesario verificar las labores y los equipos, las condiciones y la presión con la que el operador del robot usa para el lanzamiento de concreto (*shotcrete*).

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **GUZMÁN ZÚÑIGA, César Leoncio.** *Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la mina.* Universidad Ricardo Palma. Lima : s.n., 2008.
2. **TORRES ÁLVAREZ, Luis Renato.** *Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento de la unidad San Cristóbal, minera Bateas.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa : s.n., 2016.
3. **LAURENTE PAREDES, Rony Gonzalo.** *Uso de shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en la sociedad minera Corona S. A. - Yauricocha.* Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2017.
4. **ARAGÓN QUISPE, Miguel Ángel y CORNEJO MAMANI, Mitward Paúl.** *Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión.* Universidad Nacional San Agustín. Arequipa : s.n., 2017.
5. **VALERO GALARZA, Jhoner Frank.** *Influencia de las fibras de polipropileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014.* Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2015.
6. **BUSTILLOS, Picoy y ABRAHAN, Carlos.** *Optimización del método de explotación con taladros largos en el Tajo 658 NS, nivel 300 de la Compañía Minera Raura S. A.* 2019.
7. **ASTM C1116-C1116M-15 .** *Standard Specification for fibers – reinforced.* USA : ASTM International, 2015.
8. **C3 SOLUCIONES EN CONCRETO.** Usos de la fibra de acero / metálica. [En línea] 2003.  
<https://www.ctres.mx/blog/usos-de-la-fibra-de-acero-slash-metalica/>.
9. **CRUZ CORONEL, John Pool De La.** *Ventajas técnico económicas del shotcrete reforzado con fibras de acero comparado con el sostenimiento estructural, en labores mineras de tipo de roca IVA–IVB, según RMR en la unidad minera Carahuacra, EUA Yauli, Volcan Compañía Minera S. A.* 2018.

10. **ZAMORANO MORALES, Constanza Andrea.** *Análisis técnico económico de la incorporación de macrofibras de polipropileno en reemplazo de malla electrosoldada en hormigones para pavimentos industriales.* Universidad Andrés Bello. 2018. Tesis Doctoral.
11. *Shotcrete.* **CCANTO PERALTA, Antony Frank.** 2011, Robocon, pág. 116.
12. **VINATEA LÓPEZ, Luciano.** Seguridad Minera. *Seguridad Minera.* [En línea] 2017.  
<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodo-por-via-seca-o-via-humeda/>.
13. **LAZO RAMOS, Frans Olive y DE LA PEÑA MARTÍNEZ, Jorge Luis.** *Optimización de la aplicación de las herramientas de gestión de seguridad para la prevención de accidentes en la unidad minera San Genaro-Castrovirreyna compañía minera-2012.* 2012.
14. *Liderazgo de los directivos y compromiso organizacional docente.* **SALVADOR CORNELIO, Elena M. y SÁNCHEZ ORTEGA, Jaime Agustín.** 1, 2018, Revista de investigaciones Altoandinas, Vol. 20, págs. 115-124.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

#### Evaluación del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con *shotcrete* vía húmeda en la galería 651, nivel 100 unidad minera Raura - 2018

Problema	Objetivos	Marco teórico	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
<p><b>Problema general</b> ¿Cuál es el resultado de la evaluación del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la galería-651- nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p><b>a.</b> ¿Cuál es el resultado de la resistencia a la compresión uniaxial con uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda?</p> <p><b>b.</b> ¿Cuál es el resultado de la tenacidad con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda?</p> <p><b>c.</b> ¿Cuál es la</p>	<p><b>Objetivo general</b> Analizar el resultado de la evaluación del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la galería -651- nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p><b>a.</b> Describir el resultado de la resistencia a la compresión uniaxial con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p> <p><b>b.</b> Analizar el resultado de la Tenacidad con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p> <p><b>c.</b> Describir el resultado de la dosificación de fibra</p>	<p><b>Fibra metálica</b> Estas son las fibras más utilizadas para el shotcrete. Existen varias clases y calidades disponibles en el mercado, pero solo algunas reúnen los requisitos establecidos para el shotcrete reforzado con fibra. Están fabricadas de alambre de acero tretilado en frío de primera calidad; provistas de terminaciones en forma de gancho, proporcionan un anclaje inmejorable.</p> <p><b>Fibra Sintética</b> Son fibras, que, por lo general, del tipo multifilamento, compuestas por polipropilenos vírgenes, que al aplicarlas generan una mayor ductilidad, contienen secciones que se distribuyen</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Con empleo de la fibra sintética se evidencia resultados favorables versus la fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la galería-651- nivel 100 de la unidad minera Raura S. A. 2018.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p><b>a.</b> La resistencia a la compresión uniaxial con el uso de fibra sintética es mayor versus la fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p> <p><b>b.</b> El resultado de la flexotracción con el uso de fibra sintética es mayor versus la fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p> <p><b>c.</b> La dosificación de la fibra sintética es menor versus la</p>	<p><b>V1: Fibra metálica/Fibra sintética</b>  D1: Fibra sintética D2: Fibra metálica</p> <p><b>V2: Shotcrete</b>  D1: Propiedades del shotcrete</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> La investigación es de tipo aplicada; porque busca utilizar los conocimientos adquiridos sobre el sistema de detecciones en la liquidez de la empresa.</p> <p>Es cualitativa porque la investigación se orienta a la interpretación y análisis del sistema de detecciones en la liquidez de la empresa, que se encuentran reflejados en la información financiera de la empresa Hasp Service S. R. L.</p> <p><b>Nivel de la investigación</b> La presente investigación se ubica en el nivel descriptivo.</p> <p><b>Diseño de la investigación</b> Se aplica el diseño de investigación: no experimental.</p> <p><b>Tipo de diseño: transversal - correlacionales/causales</b> <b>X1→Y1</b></p>

<p>dosificación de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda?</p> <p><b>d.</b> ¿Cuál es la diferencia de costos con el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda?</p>	<p>sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p> <p><b>d.</b> Evaluar la diferencia de costos en el uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p>	<p>aleatoriamente dentro del hormigón. Hay diversos tipos de fibras sintéticas por ejemplo el acrílico, aramid, carbón, poliestileno, nylon, poliéster, etc.</p> <p>Shotcrete</p> <p>De acuerdo al Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés), es definido como el mortero o concreto aplicado neumáticamente y proyectado a alta velocidad. Concreto lanzado, de acuerdo a la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras (EFNARC, por sus siglas en inglés), es una mezcla de cemento agregado y agua proyectado neumáticamente desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea.</p>	<p>fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la GL-651-nivel 100 de la unidad minera Raura S.A.- 2018.</p> <p><b>d.</b> Los costos con la incorporación de la fibra sintética son menores versus la fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda.</p>		<p><b>X1 → Y1</b></p> <p><b>Donde:</b> X1=sistema de detracciones Y1=liquidez</p> <p><b>Población y muestra</b> <b>Población</b> La población está determinada por una empresa de la ciudad de Huancayo, específicamente la empresa Hasp Service S. R. L</p> <p><b>Muestra</b> La muestra es no probabilística y está determinada por el 100% de la población, en este caso la empresa Hasp Service S. R. L.</p> <p><b>Técnica de recolección de datos</b> El fichaje, guías de análisis documental</p> <p><b>Instrumentos de recolección de datos</b> Fueron los estados financieros, las ratios financieras, el flujo de caja de la empresa</p>
--	--	--	---	--	---


## Anexo 2

### Resultados de resistencia de compresión

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
Facultad de Ingeniería  
Laboratorio de Ensayo de Materiales

CJ NETCOM S.A.C

L antes del corteado (cm)	L después del corteado (cm)	Diámetro (cm)	Peso antes de corteado (g)	Peso después del corteado (g)	Carga Kg	Resistencia a la compresión en (kg/cm <sup>2</sup> )	L/D	Factor de corrección	Resistencia a la compresión corregida en (Kg/cm <sup>2</sup> )
9.70	10.70	4.70	422.40	482.30	5110	294.53	2.28	1.00	295
9.70	10.70	4.70	422.00	482.00	4266	245.89	2.28	1.00	246

  
 JORGE LUIS LA CRUZ  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. C.I.P. N° 42896



## Anexo 3

### Listado de precios de fibra sintética / metálica

#### LISTA DE PRECIOS CONSTRUCCIÓN GENERAL



PPI	Producto en inventario
PSP	Producto sobre pedido
N	Producto nuevo

Vigente a partir de: Junio 12, 2012
Aplica en: Quintana Roo, Campeche, Yucatán, Chiapas y Oaxaca.

Código	Nombre del artículo	Descripción del producto	Presentación		Tipo de pedido	Cant. Min.	Divisa	Precio Unitario	I.V.A.	TOTAL
			KG/Mts	LT						
433513	Sika Desmoldante Acua Cubeta 19L 18.22kg	Desmoldante emulsificado base agua.	18.2	19.0	PPI	1	MXN	\$ 474.77	\$ 75.96	\$ 550.74
424234	Tambor 191.8kg 200lt		191.8	200.0	PPI	1	MXN	\$ 3,880.18	\$ 620.83	\$ 4,501.01
97135	Sika Fiber Bolsa Biodegradable 0.6 kg	Fibra de polipropileno para refuerzo secundario del concreto.	0.600	NA	PPI	20	MXN	\$ 70.27	\$ 11.24	\$ 81.51
119172	Sika Fiber Enduro 600 Caja 7.0 kg	Fibras macro-sintéticas de polipropileno virgen para reforzamiento de concreto.	7.0	NA	PSP	1	USD	\$ 137.39	\$ 21.98	\$ 159.37
92735	Sikafiber-CHO65/35NB 20 kg	Fibra de acero para refuerzo de concreto.	20.0	NA	PPI	1	USD	\$ 77.03	\$ 12.32	\$ 89.35
409929	SikaFiber Xorex bolsa 20 kg	Fibra de acero para refuerzo de concreto.	20.0	NA	PSP	1	USD	\$ 63.96	\$ 10.23	\$ 74.20
103917	Wirand-FS3N Caja 20 kg	Fibra de acero para refuerzo de concreto.	20.0	NA	PSP	1	USD	\$ 89.19	\$ 14.27	\$ 103.46
96826	Sikadur Arena Fina Saco de 30 kg	Arena silica para usos especiales.	30.0	NA	PPI	1	MXN	\$ 229.73	\$ 36.76	\$ 266.49
96829	Gruesa Saco 30 kg		30.0	NA	PPI	1	MXN	\$ 213.51	\$ 34.16	\$ 247.68
96828	Mediana Saco 30 kg		30.0	NA	PPI	1	MXN	\$ 213.51	\$ 34.16	\$ 247.68
96781	Rugasol C Cubeta 20 kg	Retardante superficial de fraguado.	20.0	18.7	PPI	1	MXN	\$ 681.98	\$ 109.12	\$ 791.10
<b>Adhesivos epóxicos</b>										
92865	Sikadur 31 HI-Mod Gel Unidad 1kg	Adhesivo epóxico.	1.0	0.595	PPI	6	MXN	\$ 240.54	\$ 38.49	\$ 279.03
90608	Sikadur 32 Gel Unidad 1 kg	Puente de adherencia epóxico.	1.0	0.625	PPI	6	MXN	\$ 283.78	\$ 45.41	\$ 329.19
92866	Unidad 5 kg		5.0	3.1	PPI	2	MXN	\$ 1,159.46	\$ 185.51	\$ 1,344.97
103296	Sikadur 52 Unidad 1 kg	Resina epóxica baja viscosidad para inyección de grietas.	1.0	0.9	PPI	1	MXN	\$ 386.49	\$ 61.84	\$ 448.32
92867	Unidad 5 kg		5.0	4.5	PPI	2	MXN	\$ 1,714.41	\$ 274.31	\$ 1,988.72
90568	Sikadur-51 SL Unidad 19.04 kg	Resina epóxica semi-flexible para sello de juntas de control.	19.0	15.2	PPI	1	USD	\$ 361.26	\$ 57.80	\$ 419.06
91111	Sikadur-35 HI Mod LV Unidad 12.45 kg	Adhesivo epóxico multipropósito de baja viscosidad y alta resistencia.	12.5	11.4	PPI	1	MXN	\$ 4,835.14	\$ 773.62	\$ 5,608.76
<b>Anclajes</b>										
155388	Sika AnchorFix-1 Cart 0.49 kg	Adhesivo de curado rápido para anclajes.	0.490	0.301	PPI	12	MXN	\$ 209.91	\$ 33.59	\$ 243.50
112718	Sika AnchorFix-2 Cart 0.489 kg	Adhesivo epóxico-acrilato para anclajes de curado rápido.	0.489	0.300	PPI	12	MXN	\$ 361.26	\$ 57.80	\$ 419.06
151199	Sika AnchorFix-3+ Unidad 0.58 Kg	Adhesivo epóxico para anclajes de alto desempeño.	0.580	0.400	PPI	12	MXN	\$ 444.14	\$ 71.06	\$ 515.21



## Anexo 4

### Resultados de ensayo de tenacidad

Identific. del Especimen	Tipo de Espec.	Lado (mm)					Espesor "t" (mm) medido en:										"t" calculados (mm)		Fisura Radial (N <sup>o</sup> )	Validez del Resultado f	Observaciones: Antes, Durante y Después del Ensayo			
		l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	Prom	Perímetro				Interior (Sup. Rotura)						Prom	Máx Min						
							t1'	t2'	t3'	t4'	t1-1	t1-2	t1-3	t1-4	t2-1	t2-2						t2-3	t2-4	t3-1
P-1	Panel de Shotcrete Cuadrado	610	608	604	605	607	Adm.	104	103	100	101	103	104	104	101	104	102.8	100	5	ok				
							Máx.	-	-	-	-	-	-	-	-						-	-	-	-
							Min.	-	-	-	-	-	-	-	-						-	-	-	-

**Requisitos de la Norma de Ensayos y Cumplimiento de los mismos:**  
 El espesor promedio de la losa cuadrada, debe estar comprendido en el rango de 100 y 110mm respectivamente. (Ver Norma de Ensayo)  
 El espécimen cumple con este requisito.  
 Según el acápite 10.4 de la norma, se debe controlar el desplazamiento central a una velocidad de 1.5mm por minuto hasta alcanzar el valor de 25 mm.

El presente informe consta de cinco (5) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y un (1) registro gráfico (global) Carga (kN) vs- Desplazamiento Total (mm) del ensayo realizado.  
 Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP.

INF-LE 029.19

CJ NETCOM SAC



COND. AMBIENTALES: ensayo en condiciones ambientales de Lima.

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados								
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (kN)	80.967	80.967	8.707	48.325	35.182	18.166	12.362	7.445	8.707
	Deflexión (mm)	1.231	1.231	25.512	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.512
	Energ. Abs. (J)	42.186	42.186	756.737	264.508	504.735	628.031	701.951	752.567	756.737

(\*) : Valores finales presentados referencialmente, no solicitados en norma de ensayo (en este caso, iguales a máx. alcanzados)  
 (-) : Valores no alcanzados en el ensayo

El Dispositivo de ensayo está formado por perfiles metálicos rígidos con una Máquina de 200 kN de Capacidad y +/-150mm de desplazamiento.  
 Este informe contiene "Resultados de Ensayos", que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una "Certificación de Conformidad" con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.



PUCP

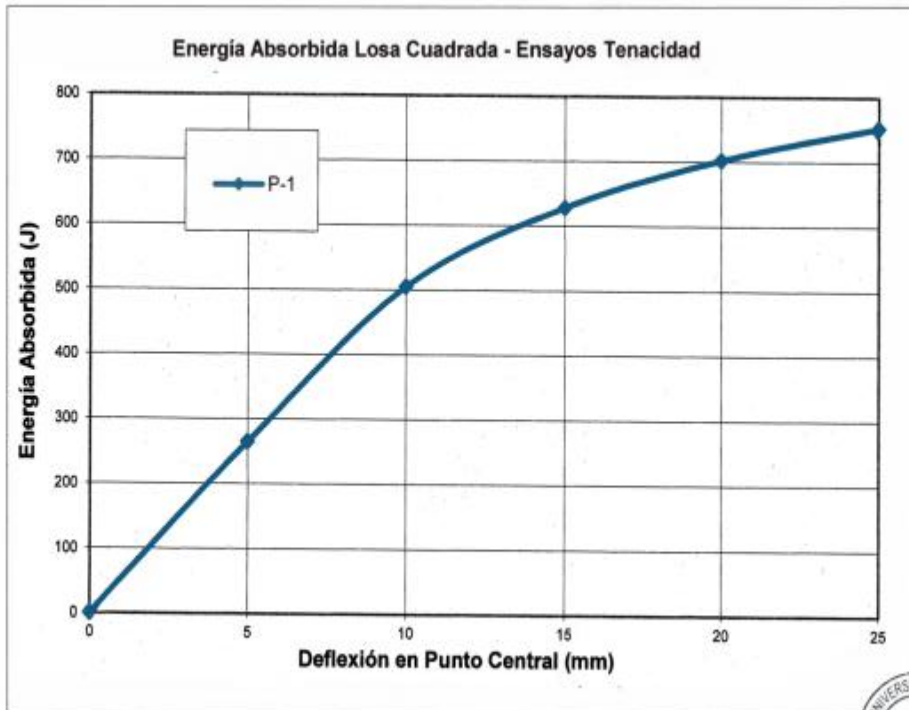
El presente informe consta de cinco (5) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y un (1) registro gráfico (global) Carga (kN) vs- Desplazamiento Total (mm) del ensayo realizado.  
 Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP.

INF-LE 029.19

CJ NETCOM SAC



Pág. 3

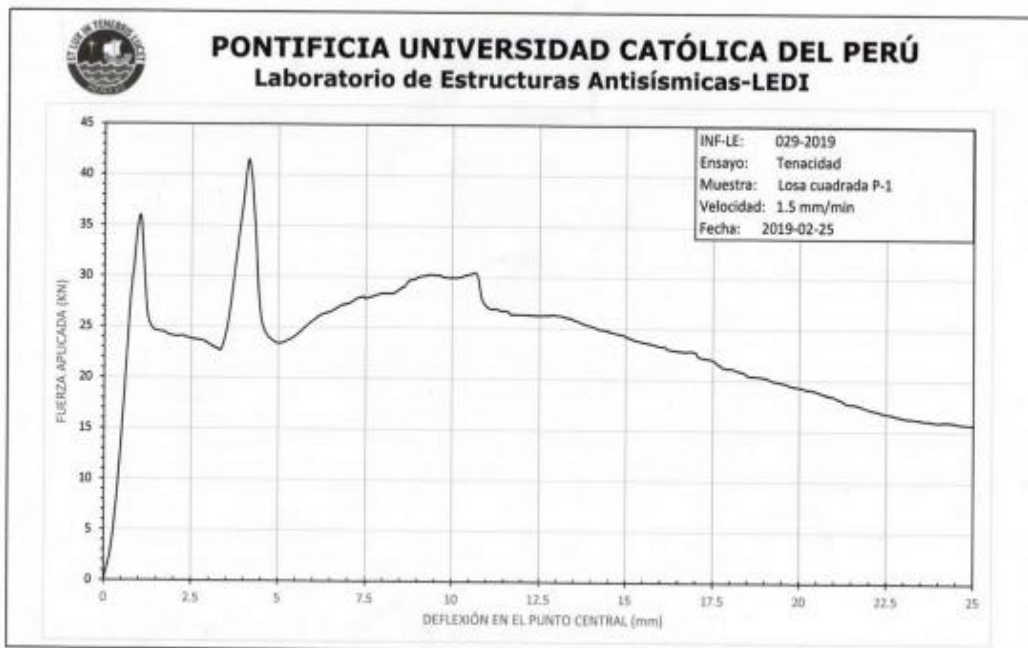


INF-LE 029-19

LOSA CUADRADA DE CONCRETO



Pág. 4



FECHA DE ENSAYO: 04 de junio de 2019  
 CONDICIONES MUESTRA: En condiciones de recepción  
 COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T = 20°C y 70%H.R., aprox.)

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados								
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (kN)	46.469	51.224	20.354	39.340	46.590	35.680	25.666	20.368	20.354
	Deflexión (mm)	0.961	8.890	25.003	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.003
	Energ. Abs. (J)	18.954	352.332	881.337	176.016	406.471	614.463	765.045	881.274	881.337

(\*) : Valores finales presentados referencialmente, no solicitados en norma de ensayo (en este caso, iguales a máx. alcanzados)  
 (-) : Valores no alcanzados en el ensayo

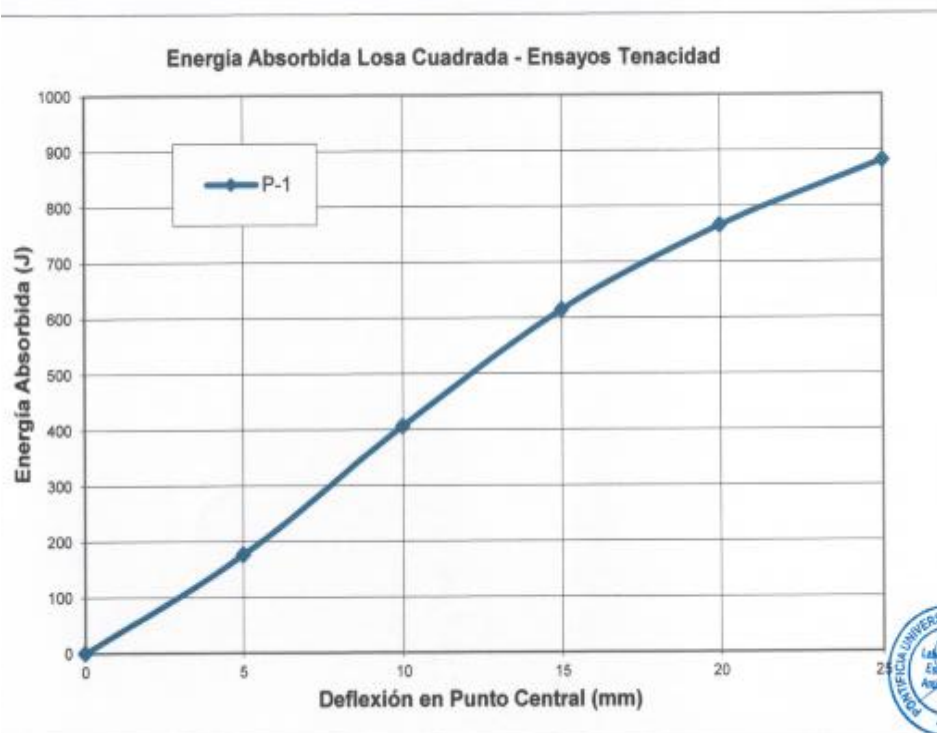
El Dispositivo de ensayo está formado por perfiles metálicos rígidos con una Máquina de 200 KN de Capacidad y +150mm de desplazamiento. Este Informe contiene "Resultados de Ensayos", que corresponden y son válidos solamente para los especímenes ensayados; y no deben ser utilizados como una "Certificación de Conformidad" con normas de productos o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que los produce.



El presente Informe consta de cinco (5) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y un (1) registro gráfico (gráfic) Carga (kN) vs. Desplazamiento Total (mm) del ensayo realizado. Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP.

INF-LE 134.19

CJ NETCOM SAC



LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS



PUCP



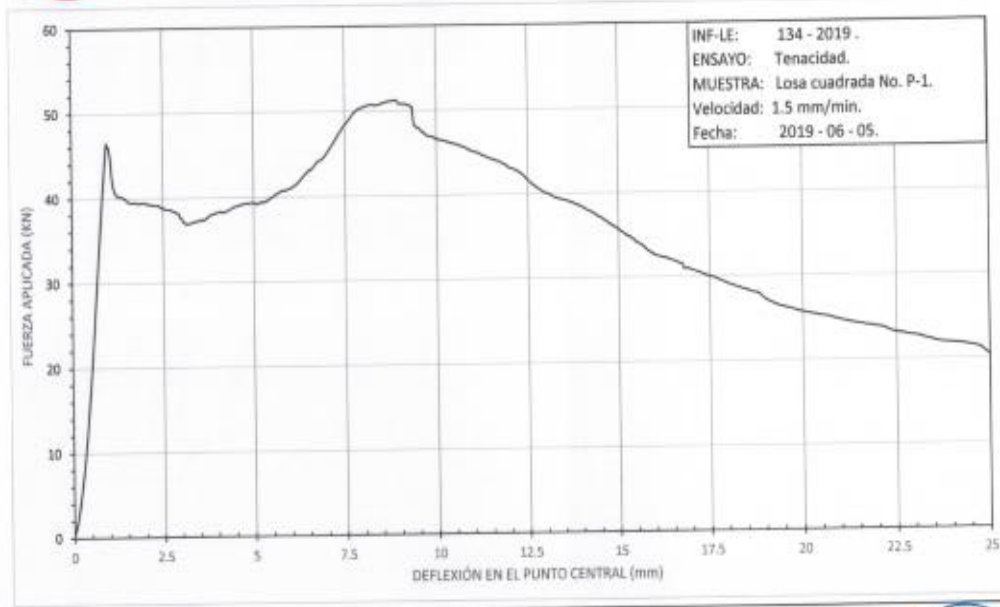
INF-LE 134.19

LOSA CUADRADA DE CONCRETO

Pág. 4



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**Laboratorio de Estructuras Antisísmicas-LEDI**



FUERZA CARGA - DEBELEZAMIENTO



P1

**Anexo 5**  
**Lanzado de concreto con robot Puzmaiter**



**Anexo 6**  
**Medición de slump de concreto**





**Anexo 7**  
**Supervisión de lanzamiento de concreto con robot Puzmaiter nivel 100 -  
galería 651**



**Anexo 8**  
**Nivel 100 - galería 651**





## Anexo 9

### Trasegado de concreto mixer a robot lanzador de concreto

