

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

**“REDUCCIÓN DE COSTOS USANDO EL BARCHIP EN EL
SOSTENIMIENTO DE MINERÍA SUBTERRÁNEA APLICADO
EN UNA UNIDAD MINERA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ELABORADO POR

DIEGO RENATO RUIZ DEDIOS

ASESOR

Msc. Ing. José Antonio Corimanya Mauricio

LIMA-PERU

2021

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres Martha y Luis, sin el esfuerzo de ellos nada de esto hubiese sido posible. A mis hermanos Luis, Fernando y Sergio de quienes recibí el apoyo constante para poder desarrollarme como persona, y en especial a mi tía Dommy que en paz descansa por su ejemplo de laboriosidad para alcanzar las metas y objetivos .

AGRADECIMIENTO:

A mi querida facultad, por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, por compartirme conocimientos y guiarme durante esta etapa.

A mis padres por sus consejos en todo momento y porque siempre fueron un ejemplo a seguir.

A los ingenieros José Arias, Pavel Alvarez, Fredy Huamani, Edward Vizcarra en general a todo el equipo de Ingeniería Planeamiento y Proyectos por sus enseñanzas, confianza y amistad en el día a día.

RESUMEN

Este presente trabajo que lleva como título "Reducción de Costos usando el Barchip en el Sostenimiento de Minería Subterránea aplicado en una Unidad Minera". Se obtiene un ahorro de 11,130.00 US\$/mes según el análisis económico haciendo uso del Barchip R50 en el costo de sostenimiento en la unidad minera.

Se realizó una investigación mediante resultados de un análisis de costos haciéndose una comparación con los resultados obtenidos de materiales similares.

La aparición de la fibra en el mundo ha sido de gran apoyo siendo el costo muy bajo en comparación de otros materiales.

Para este trabajo se da un enfoque adicional de que otras maneras se puede reducir el costo sostenimiento con el objetivo de minimizar costos y aumentar utilidad siendo el principal objetivo en cualquier empresa, tomando en cuenta el trabajo de manera cuantitativa en base al ahorro de dosis en Fibra, equivalente a 4 Kg/m³.

A partir de esta investigación desarrollada en la presente tesis se plantea un nuevo enfoque que se debe tener en cuenta en las operaciones mineras.

Las innovaciones planteadas y desarrolladas en la presente tesis se plantea una evaluación económica de las ventajas del uso del Barchip en el sostenimiento y los resultados en las diferentes pruebas realizados en la Unidad Minera Huaron.

ABSTRACT

This present work entitled "Cost Reduction using Barchip in the Support of Underground Mining applied in a Mining Unit". We get savings a obtained of 11,130.00 US\$/ month according to the economic analysis using the Barchip R50 in the sustaining cost in the mining unit. An investigation was carried out through the results of a cost analysis, making a comparison with the results obtained from similar materials.

The appearance of the fiber in the world has been of great support being the very low cost compared to other materials.

For this work, an additional focus is given in which other ways the sustaining cost can be reduced in order to minimize costs and increase profit, being the main objective in any company, taking into account the work in a quantitative way base on the saving of fiber doses, equivalent to 4 kg/m³.

Based on this research developed in this thesis, a new approach is proposed that must be taken into account in mining operations.

The innovations proposed and developed in this thesis are presented as an economic evaluation of the advantages of Barchip in sustainability and the results in the different tests carried out at the Huaron Mining Unit.

PRÓLOGO.

En el presente trabajo de tesis para optar por el grado de ingeniero de minas que se titula "Reducción de Costos usando el Barchip en el Sostenimiento de Minería Subterránea aplicado en una Unidad Minera", estudio y análisis de la actividad en la Compañía Pan American Silver en la Unidad Minera Huaron. Para el desarrollo del presente trabajo han participado equipos de trabajo integrado por personal de amplia confianza los cuales contribuyeron con sus conocimientos y profesionalismo para el desarrollo del presente trabajo y gran capacidad a los cuales agradezco por su importante contribución.

Estoy seguro que el tema tratado servirá de discusión para la industria minera y ayudar a fortalecer los conocimientos en la busca de mejorar el proceso de conminución

No puedo dejar de mencionar al personal del área de Geomecánica de la Unidad Minera Huaron miembros de los equipos de trabajo en cada una de las unidades donde se desarrolló la presente investigación, ya que con su excelente experticia contribuyeron en la obtención de los resultados esperados según lo planificado en cada uno de los trabajos realizados.

Estoy seguro que esta investigación contribuirá en la mejora de los procesos mina en busca de obtener el mejor beneficio de los minerales con los menores costos operativos.

INDICE.

DEDICATORIA: -----	II
AGRADECIMIENTO: -----	III
RESUMEN -----	IV
ABSTRACT -----	V
PRÓLOGO. -----	VI
INDICE. -----	VII
ÍNDICE DE TABLAS. -----	XII
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. -----	2
1.1. INTRODUCCIÓN. -----	2
1.2. GENERALIDADES. -----	2
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA. -----	3
1.2. OBJETIVOS. -----	3
1.2.1. Objetivos Generales. -----	3
1.2.2. Objetivos específicos. -----	4
1.3. HIPÓTESIS -----	4
1.3.1. Hipótesis general. -----	4
1.3.2. Hipótesis específicas. -----	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO. -----	5
2.1. UBICACIÓN DE LA MINA -----	5
2.2. GEOMORFOLOGÍA -----	7
2.2.1. Fisiografía -----	7
2.2.2. Clima y Vegetación -----	7
2.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS -----	8
2.3.1. GEOLOGÍA LOCAL -----	8
2.3.2. GEOLOGÍA REGIONAL -----	9
2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL -----	9
2.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA: -----	10
2.6. TIPOS DE FIBRAS -----	11
2.6.1. FIBRA SINTÉTICA -----	11
2.6.2. FIBRA DE MINERALES -----	11
2.6.3. FIBRAS METÁLICAS -----	12

2.6.4.	FIBRA ORGÁNICAS-----	12
2.7.	FIBRA SINTÉTICA BARCHIP R50-----	12
2.7.1.	Condiciones para el uso-----	13
2.7.2.	Dosis-----	13
2.7.3.	Mezclado-----	14
2.7.4.	Bombeo-----	14
2.7.5.	Manejo y Almacenaje-----	14
2.8.	DISEÑO DEL SHOTCRETE-----	15
CAPITULO III. METODOLOGÍA, MATERIALES Y CASOS DE APLICACIÓN.----		18
3.1.	SHOTCRETE O CONCRETO LANZADO-----	18
3.2.	MATERIALES COMPONENTES DEL SHOTCRETE Y SUS PROPIEDADES EN LA MEZCLA-----	19
3.3.	PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL SHOTCRETE-----	23
3.3.1.	Preparación de la superficie-----	23
3.3.2.	Preparación del área-----	23
3.3.3.	Impermeabilización zonas de filtración-----	23
3.3.4.	Rebote-----	24
3.3.5.	Dosificación del aditivo-----	26
3.3.6.	Agregado-----	27
3.3.7.	Mezcla-----	29
3.3.8.	Presión aire-----	30
3.3.9.	Relación de agua/cemento (A/C)-----	30
3.3.10.	Fibras-----	30
3.3.11.	Espesor de la aplicación-----	30
3.3.12.	Curado-----	32
3.4.	PROCESO DE PREPARACION DEL AGREGADO-----	32
3.4.1.	Cemento y calidad-----	32
3.4.2.	Humo de Sílice:-----	32
3.4.3.	Áridos-----	33
3.4.4.	Mezclas-----	33
3.4.5.	Acelerante de fraguado-----	34
3.5.	CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DE LA U.M. HUARON----	35
3.6.	ENSAYOS DE MECÁNICAS DE ROCAS-----	37
3.6.1.	Ensayo de Análisis Granulométrico.-----	38
3.6.2.	Ensayo de Mantenimiento – Seguimiento de Slump-----	38
3.6.3.	Ensayo de Resistencia Probeta-----	39
3.6.4.	Ensayo de Flexo-Tracción:-----	45
3.7.	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL SHOTCRETE EN GALERIA-----	46
CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS.-----		49

4.1.	PRUEBAS DE RESISTENCIA-----	49
4.2.	ANÁLISIS DE DATOS -----	60
4.3.	ANÁLISIS ECONÓMICO-----	62
4.4.	FACTOR DE SEGURIDAD-----	63
4.5.	OTRA FORMA DE REDUCIR COSTOS. -----	69
	CONCLUSIONES -----	80
	RECOMENDACIONES -----	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.-----	84
	ANEXOS-----	9486

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura N° 1: Operación Minera de la Unidad Minera Huarón	2
Figura N° 2: Mapa de Ubicación de la Cia Minera.....	6
Figura N° 3: Ubicación en cuadrículas	6
Figura N° 4: Fotografía de acuerdo a su ubicación	7
Figura N° 5: Imagen sector local.....	8
Figura N° 6: Mapa Geología Regional	9
Figura N° 7: Sistema de fallas.....	10
Figura N° 8: Modelo de hoja de cálculo para diseños de Mezcla Shotcrete	16
Figura N° 9: Ensayo de la calidad de agregado	20
Figura N° 10: Agregado de finos.....	21
Figura N° 11: Eucon Sureshot AF.....	22
Figura N° 12: Impermeabilización de la superficie	24
Figura N° 13: Rebote de mezcla	26
Figura N° 14: Análisis Granulométrico	28
Figura N° 15: Preparación de los paneles de Shotcrete.....	29
Figura N° 16: Control del Slump en planta	31
Figura N° 17: Humo de sílice	33
Figura N° 18: Mezcla optima.....	34
Figura N° 19: Slump – Fibra Barchip R50 (Superficie)	39
Figura N° 20: Slump – Fibra Barchip R50 (Mina)	39
Figura N° 21: Análisis Comparativo de resistencia a 3 y 7 días Fibra Dramix 65/35 – Barchip R50.....	44
Figura N° 22: Energía de Absorción Energía Fibra Metálica vs Barchip R50	46
Figura N° 23: Medición del Slump.....	50
Figura N° 24: Medición del Slump (antes del lanzado).....	50

Figura N° 25: Prueba de resistencia	51
Figura N° 26: Distancia de la Tobera	52
Figura N° 27: Angulo de lanzado	53
Figura N° 28: Resultado pistola Hilti.....	55
Figura N° 29: Resultados de Ensayos	60
Figura N° 30: Factor Seguridad S/R Roca Regular (RMR 41-60).....	64
Figura N° 31: Factor Seguridad S/R Roca Mala (RMR 31-40)	65
Figura N° 32: Factor Seguridad S/R Roca Muy Mala (RMR 15-30).....	65
Figura N° 33: Comparación de cubos de Shotcrete Contratista - Compañía.	78

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla N° 1: Propiedades del Barchip	13
Tabla N° 02: Análisis de Dispersión RMR y Resistencia UM. Huaron 2019	35
Tabla N° 03: Parámetros Macizo Rocosos RMR UM. Huaron	36
Tabla N° 04: Resultado de Slump – Fibra Barchip R50.....	38
Tabla N° 05 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8” a 3 días - Fibra Metálica Dramix 65/35	40
Tabla N°06 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8” a 7 días - Fibra Metálica Dramix 65/35	41
Tabla N°07 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8” a 3 días - Fibra Barchip R50.....	42
Tabla N°08 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8” a 7 días - Fibra Barchip R50.....	43
Tabla N° 09: Ensayo de Flexotracción-Aborción de energía	45
Tabla N° 10: Cuadro de Rebestimio del Shotcrete	48
Tabla N° 11: Resultados obtenidos.....	51
Tabla N° 12: Resultado de la cantidad.....	54
Tabla N° 13 : Características Geométricas y Observaciones Pre Y Post – Ensayo	56
Tabla N° 14 : Resultados de Ensayos Flexión en Losas Cuadradas de Shotcrete con Fibras.....	57
Tabla N° 15: Características Geométricas y observaciones Pre Y Post – Ensayo – 4kgr	58
Tabla N° 16 : Resultados de Ensayos Flexión en Losas Cuadradas de Shotcrete Con Fibras.....	59
Tabla N° 17 : Diseño de mezcla Fibra sintética/Fibra Metálica.....	61

Tabla N° 18: Comparación de Reducción de Costos	62
Tabla N° 19: Dimensionamiento y Factor Seguridad según su RMR	66
Tabla N° 20: Indices de Seguridad.....	68
Tabla N° 21: Longitud de avance considerando una área teórica con sobrerotura de 15%.....	69
Tabla N° 22: Cubicación de labores en base a la sobrerotura 15%.....	70
Tabla N° 23: Longitud de avance considerando una área teórica con sobrerotura de 20%.....	71
Tabla N° 24: Cubicación de labores en base a la sobrerotura 20%.....	72
Tabla N° 25: Longitud de avance considerando una área teórica con sobrerotura de 25%.....	73
Tabla N° 26: Cubicación de labores en base a la sobrerotura 25%.....	74
Tabla N° 27: Resumen de resultados por cubicación.....	75
Tabla N° 28: Diferencia de cubos shotcrete con la empresa contratista.....	76
Tabla N° 29: Diferencia en US\$ de cubos shotcrete con la empresa contratista.....	76
Tabla N° 30: Factor de Cubicación de Shotcrete de acuerdo al espesor.....	79

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. INTRODUCCIÓN.

Esta presente investigación es la aplicación y evaluación técnica económica del uso de las fibras en el sostenimiento en minería subterránea centrándonos en el Barchip. Actualmente la globalización exige ser competente y en su búsqueda de una excelencia operativa con el objetivo de mejorar los indicadores principales en las operaciones mineras se desarrolló las fibras sintéticas (Barchip) y motivados por obtener resultados económicos y técnicos de esta aplicación se desarrolló este trabajo de tesis denominado "Reducción de Costos usando el Barchip en el Sostenimiento de Minería Subterránea aplicado a la Unidad Minera Huaron".

Se realizó una investigación de las fibras que existen en el mercado y haciendo una comparación entre la fibra metálica y la fibra sintética (Barchip) se hace con el interés de evaluar los resultados técnicos y económicos que se puede obtener en busca de la mejora de las operaciones mineras.

En este trabajo se compone por cuatro capítulos los cuales: Capítulo I se desarrolló el diseño de la investigación definiendo los parámetros a investigar. Capítulo II se desarrolla el marco teórico. Capítulo III tratamos la metodología del

presente trabajo. Capítulo IV tenemos los resultados de la investigación de las evaluaciones técnicas y económicas obtenidos en este presente trabajo. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones en busca de mejora en las operaciones mineras.

1.2. GENERALIDADES.

Las industrias mineras tienen una gran relevancia en la economía peruana aportando más del 60% del PBI. Siendo nuestro país, un lugar donde se realizaba la explotación minera desde hace mucho tiempo debido a la importante presencia de los recursos, la industria minera es la que genera un mayor porcentaje en las exportaciones de minerales teniendo importantes contratos con países alrededor del mundo.

Esta presente investigación, evalúa variables y parámetros importantes, en la figura 1.1 mostramos la imagen de la Unidad Minera Huaron de la Compañía Minera Pan American Silver, se escribieron varios artículos técnicos, desarrollo de software, así como muchos textos, siendo la mayoría de ellos enfocados solo de manera superficial del problema de reducir el indicador del costo de sostenimiento.



Figura N° 1: Operación Minera de la Unidad Minera Huarón

Fuente: Yahoo, Minera Huaron.

También, algunos investigadores como Vallejo y otros han escrito acerca de la geología estructural. Por último, cabe afirmar que durante los últimos años se ha investigado acerca del impacto que ha generado la aparición de las fibras en el sostenimiento de una mina subterránea, y el análisis económico sin descuidar el ambiente donde se está trabajando.

En este trabajo de investigación nos centramos como idea principal en cómo reducir costos en el sostenimiento bajo la aplicación en Minería Subterránea con la descripción del caso en la Unidad Minera Huarón perteneciente a la Compañía Pan American Silver una compañía de talla internacional que opera en distintos países de Latinoamérica como por ejemplo en Perú, Argentina, Bolivia, México teniendo su sede principal en Vancouver-Canadá.

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.

Buscar la mejora del proceso en la mina reduciendo costos con el mismo objetivo de producción de mineral priorizando la seguridad. El sostenimiento de labores en interior mina es indispensable ya que de eso depende para seguir produciendo.

Se busca conocer y entender ¿Cómo influye el Barchip en el Sostenimiento?, ¿Por qué tendría que elegir el Barchip?, ¿Cuánto estaría ahorrando en costos al usar el Barchip?, ¿Qué ventajas me brinda este producto y se diferencia de la fibra Metálica? Ya que en la actualidad casi todas las minas del Perú usan fibra Metálica como primera opción, sin darse cuenta que el Barchip es una buena opción para reducir costos de Sostenimiento.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. Objetivos Generales.

El objetivo principal es cómo reducir costos en el Sostenimiento usando el Barchip en función de la demanda requerida en el Sostenimiento y de que

otras maneras se pueden reducir el costo de sostenimiento en una mina Subterránea.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Condiciones para el uso del Barchip.
- Comparación con otras fibras en el mercado.
- Ventajas del uso del Barchip.
- Importancia del diseño del Shotcrete.
- Parámetros para potencializar su eficiencia.
- Cubicar la cantidad de Shotcrete requerido considerando la sobrerotura.
- Análisis económico en US\$/mes usando el Barchip.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general.

Demostrar un ahorro en costos en el Sostenimiento sin afectar la producción entonces lograremos mejorar la explotación en la mina.

1.3.2. Hipótesis específicas.

- Al conocer todas las ventajas y parámetros que requiere el uso del Barchip podremos mejorar la seguridad.
- Reducción en el costo de sostenimiento US\$/mes.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO.

“Desde principios de 1990, el concreto proyectado reforzado con fibra ha sido rápidamente adoptado como el control primario de suelos en operaciones minería realizadas a un nivel subterráneo, tanto en la actualidad aún se usa en casi cada operación mayor de minería alrededor del mundo. El Incremento en la seguridad del lugar es la habilidad del concreto proyectado reforzado con fibra sintética Barchip es ayudar a controlar y prevenir la caída de rocas, siendo uno de los grandes contribuyentes a la seguridad minera en los últimos 30 años. En los últimos 10 años, Barchip ha incrementado el desempeño de la fibra un 220% y ha reducido cerca del 70% de tasas de dosis.”

2.1. UBICACIÓN DE LA MINA

Geográficamente, el Huaron la mina se encuentra a una latitud de 11 ° 00' 15" S y una longitud de 76° 25' 10" O en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes a alturas de 4.250 metros a 4.800 metros sobre el nivel del mar.

El acceso a la propiedad es mantenido continuamente por una carretera pavimentada 285 kilómetros entre Lima y Unish y parcialmente a 35 kilómetros de carretera

asfaltada entre Unish y el Huaron bienes. Un programa por el gobierno de Perú para mejorar el camino hacia una carretera pavimentada entre Unish y la Huaron propiedad está parcialmente completado.

El relieve topográfico de la mina el terreno es montañoso y accidentado con laderas de más de sesenta grados. La vegetación natural se compone principalmente de la formación de praderas.



Figura N° 2: Mapa de Ubicación de la Cia Minera

Fuente: Yahoo, Minera Huaron.

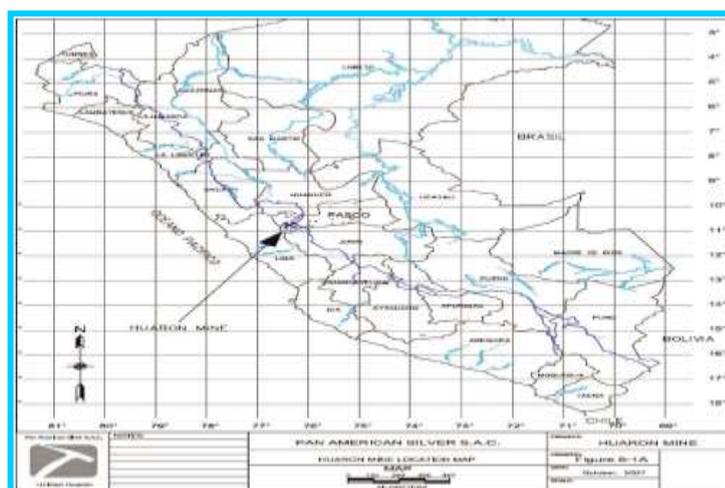


Figura N° 3: Ubicación en cuadrículas

Fuente: Yahoo, Minera Huaron.

2.2. GEOMORFOLOGÍA

2.2.1. Fisiografía

El relieve topográfico en el lugar de la mina es montañoso y accidentado con laderas de más de sesenta grados (60°) de inclinación. Huarón la mina se encuentra a elevaciones de 4.250 metros a 4.000 metros sobre el nivel del mar. La vegetación natural se compone principalmente de gramíneas formando praderas. Estas praderas han permitido el desarrollo de variadas operaciones ganaderas. (PANAMERICANSILVER,2020)

2.2.2. Clima y Vegetación

El clima en el lugar de la mina está clasificado como un “clima frío”, con una temperatura media anual que van de tres a diez grados Celsius. Los meses de invierno son de mayo a septiembre y las temperaturas mínimas alcanzan menos $5,7^{\circ}$ C. El promedio precipitación mensual en 2009 fue de 71mm. Huarón opera la mina durante todo el año. (PANAMERICANSILVER,2020)



Figura N° 4: Fotografía de acuerdo a su ubicación

Fuente: Yahoo, Minera Huarón.

2.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.3.1. GEOLOGÍA LOCAL

La principal litología en la zona es una secuencia continental consistente en interestratificadas areniscas, calizas, mármoles, conglomerados, brechas y formaciones de Casapalca Cretácico Superior Terciario inferior a la edad. Estas rocas son de superposición masiva de las calizas del Cretácico Superior. Al oeste de la mina, una serie de andesitas y afloramiento de la mitad inferior de la Formación Superior de Calipuy. (Hinostroza, 2019)



Figura N° 5: Imagen sector local

Fuente: Yahoo, Minera Huaron.

2.3.2. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología regional de Huarón propiedad está denominada por el Grupo Machay calizas del Cretácico y Terciario Pocobamba (Casapalca Roja Camas) rocas sedimentarias continentales. Estos grupos han sido deformados por anticlinal Huarón la principal característica estructural de la zona.

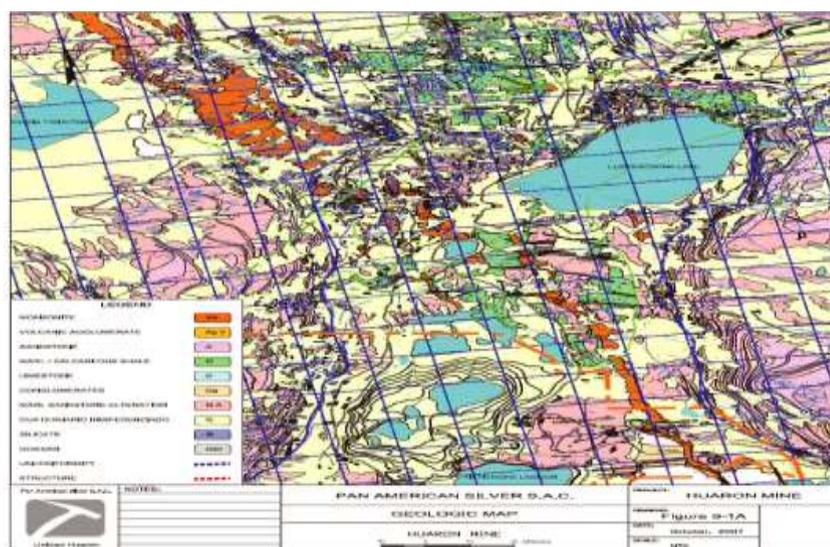


Figura N° 6: Mapa Geología Regional

Fuente: Yahoo, Minera Huaron.

2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Huarón la mina está dentro de un anticlinal formado por este – oeste, las fuerzas de compresión. El eje del anticlinal es de aproximadamente de norte a sur, hundiendo suavemente hacia el norte. Hay dos grandes sistemas de fallas.

De norte a sur en huelga fallas de empuje, paralelo al eje del anticlinal, y de este a oeste en huelga tensional fallas. Intrusivas la huelga en dos direcciones principales: N70 ° E y S10 ° E. La mayor parte de la zona está cubierta de suelos recientes, salvo cuando la más resistente y conglomerados cherts crestas forma paralela a los flancos

del anticlinal. Estos afloramientos son discontinuos y con frecuencia son compensados por la transversal este-oeste de las fallas. (Hinostroza,2019)

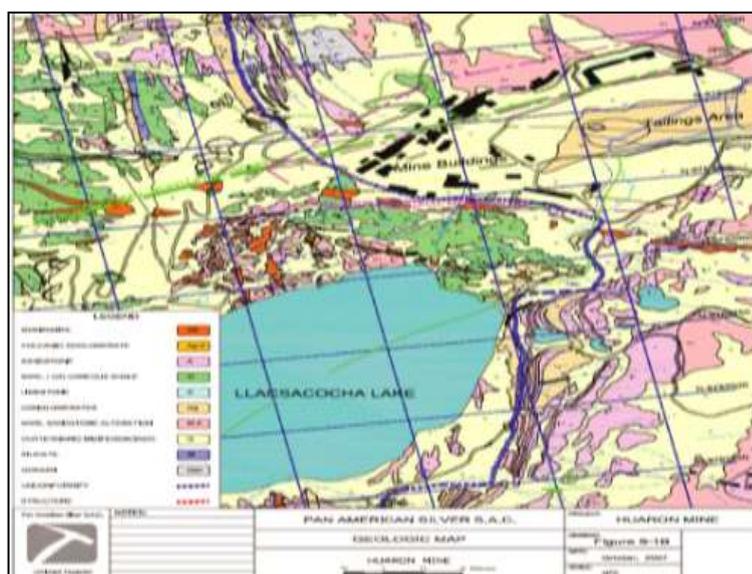


Figura N° 7: Sistema de fallas

Fuente: Yahoo, Minera Huarón.

2.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA:

La mina Huarón se compone de un polimetálicos hidrotérmicos como son: plata, cobre, plomo y zinc depósito probablemente relacionado con el Mioceno monzonite principalmente en los diques, pero no se limita, la Huarón anticlinal. Mineralización se produce principalmente en las venas, sino también en Mantos (estratificados) y la sustitución orebodies. Mas de 95 diferentes minerales se han identificado en la Huarón Minas. Los más importantes son los minerales de plata económica teniendo tennantite-tetraedrita, esfalerita y galena. Mineral con venas varias desde unos pocos

centímetros a 10 metros de ancho, y se puede extender a lo largo de la huelga por un período de hasta 1800 metros. La exploración más profunda agujeros ha indicado que hay más de 500 metros de inmersión en la mineralización. La mayoría de las estructuras muestran abiertos mineralización en profundidad y tienen un excelente potencial de exploración. (Hinostroza,2019)

2.6. TIPOS DE FIBRAS

2.6.1. FIBRA SINTÉTICA

Las fibras sintéticas son fibras creadas por las personas mediante la síntesis química, la cual consiste en producir compuestos químicos a partir de compuestos simples, a diferencia de las fibras naturales que se obtienen de organismos vivos con pocos o ningún cambio químico, estas son el resultado de una extensa investigación de científicos para mejorar las fibras animales y las fibras vegetales que son producidas de forma natural. Las fibras sintéticas son duraderas y resistente al desgaste y también son livianas. (Montoya, 2020)

Para ello las fibras sintéticas se crean extruyendo materiales formadores de fibra, lo cual consiste en crear objetos cuya sección transversal sea bien definida, a través de hileras en aire y agua, formando un hilo.

2.6.2. FIBRA DE MINERALES

Para formar parte de las fibras minerales podemos colocar participe las de vidrio y asbesto. Estas fibras presentan un inconveniente de absorber gran cantidad de agua lo que aumentaría la relación agua – cemento lo que exigiría una gran cantidad de cemento y fibras para poder tener resistencias considerables, así como también es difícil conseguir la distribución homogénea en la mezcla,

demostrado a ello que el asbesto está demostrado que es un material peligroso para la salud. (Bejarano,2019)

2.6.3. FIBRAS METÁLICAS

El uso de fibras metálicas como son las de acero son las más empleadas como refuerzo debido a lo económico y la eficiencia que brinda al concreto como el darle un modelo de elasticidad diez veces superior al concreto, la obtención de las fibras metálicas se puede dar al cortar el alambre trefilado, teniendo un diámetro que varía entre los 0.25 y 0.80 mm sí como una longitud de entre 10 y 80mm. (Chapoñan & Quispe, 2017)

2.6.4. FIBRA ORGÁNICAS

Las fibras orgánicas poder ser de poliéster, algodón, polietileno, nilón y polipropileno, pero al usar poliéster o algodón en el concreto disminuiría la resistencia a los álcalis o sustancias causticas a comparación del uso del polietileno, nilón o polipropileno que son de un uso más común en la construcción.

2.7. FIBRA SINTÉTICA BARCHIP R50

Fibra sintética estructural de alto performance de Elasto Plastic Concrete, diseñada por el programa de investigación y desarrollo “Fibra Futura” el objetivo de este programa es desarrollar una variedad de fibras que logren los mejores rendimientos en distintos campos de aplicación, BarChip R50 ha sido optimizada para estructuras con una resistencia de 30 Mpa o mayor.

La fibra sintética estructural Barchip R50.

Tabla N° 1: Propiedades del Barchip

Características	Propiedades
Resina	Olefina modificada
Largo	50 mm
Resistencia a la tracción	640 Mpa
Superficie	Relieve continuo
Densidad Relativa	0.90 - 0.92
Modulo de Elasticidad	10 Gpa
Punto de fusión	150°C - 170°C

Fuente: Elesto Plastic Concrete, pag 1.

2.7.1. Condiciones para el uso

- Menor costo por Kg fibra / Joule
- Pallets con embalaje impermeable
- Resistencia a la flexión equivalente a la de acero
- Durabilidad a largo plazo sin oxidación
- Reducción de exfoliación durante incendios
- Menos desgaste en bombas y mangueras.

2.7.2. Dosis

La dosis de BarChip R50 puede variar desde 3kg/m³ hasta 10,0g/m³. Se calcula la dosis en base de la exigencia de la aplicación o las especificaciones técnicas. La dosis típica para aplicaciones de Shotcrete en condiciones normales de suelo, varía entre 3Kg/m³ y 6kg/m³. Para asistencia técnica en cálculos de dosis, favor contactarse con los ingenieros de EPC.

2.7.3. Mezclado

Para lograr una distribución óptima de fibra, se recomienda proporcionar toda la fibra requerida en su envase sellado, al mezclador con el agua inicial. Desde luego se puede proceder con el proceso normal de mezclado. Los sacos se deshacen y las fibras se auto-distribuyen de manera homogénea dentro del hormigón, después de 5 minutos de mezclado. Al proporcionar 6kg/m^3 de fibra BarChip R50 a la mezcla, el cono podría bajar entre 30 y 50 mm, dependiendo de las características del hormigón.

2.7.4. Bombeo

La fibra BarChip R50 reduce el desgaste en las bombas y mangueras, comparado a la fibra metálica. Es necesario prestar atención a la separación de las barras de la parrilla en el buzón del equipo de bombeo, para asegurar que las fibras pasen libremente.

2.7.5. Manejo y Almacenaje

- Sacos degradables de 3 kg cada uno y 431 kg/pallet
- Olefina resistente a luz solar UV
- Pallet de plástico durable
- Lona de protección en cada pallet
- Big bags disponibles para dosificadora automática o proyectos especiales.

Se suministra la fibra cubierta con una lona, sobre un pallet de plástico durable que permite almacenarla a la intemperie sin ninguna deterioración del producto y su embalaje. El almacenaje de sacos individuales requiere protección.

2.8. DISEÑO DEL SHOTCRETE

Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie.

Hay dos métodos de shotcrete: seco (al que se le añade el agua de hidratación en la boquilla de proyección), y húmedo (Aquel en el que las mezclas transportadas contienen ya el agua necesaria para la hidratación) (Torres Alvarez, 2016)

Siendo parte del objetivo disminuir los costos referentes al sostenimiento con shotcrete vía húmeda optimizando los rendimientos de dicho lanzado de frente y transporte de concreto que en campo u operaciones.

En las siguientes tablas que se muestra a continuación, se muestra el diseño de shotcrete para obtener los rendimientos más óptimos en todo el proceso de sostenimiento con shotcrete vía húmeda.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE PRUEBA

M.F. Arena	0.00	
M.F. Piedra	0.00	
M.F. Global	0.00	
Vol. Agregados		
	0.6140	m ³
Arena	100	%
Piedra	0	%
Total	100	%

Volumen de tanda	1.50	
Cementante total	400.00	kg
Adición mineral	0	%

Dosificación			
Fibra Metálica	4.5%	%	= 18.00 kg
Acel Euco SureShot	8.53%	%	= 34.108 kg
Hiperp Neoplast 8500	0.80%	%	= 3.20 kg
	0.00%	%	= 0.00 kg
			55.31 kg/m³

Diseño **f_c 280.**

ROBOCON SHOTCRETING

Código **CCR/DMSH-FEBRERO-004**

Fecha **03-jul-19**

Técnico **ALAN MEDINA MENDOZA**

R a/c **0.425**

SHOTCRETE ESTANDAR	
Observaciones	
Slump 10" ± 1/2"	
Slump Mínimo 9 1/2"	
Slump Máximo 10 1/2"	

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL.	PESO S.S.S. kg/m ³	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	TANDA DE PRUEBA	
									DOSIFICACION	UNIDAD
Cemento Tipo I	Cementos Andino	3150			400	0.12698	400	400.0	600.00	kg
Arena	Huaron	2520	10.30	2.34	1547	0.61396	1583	1670	2505.50	kg
Agua	Huaron	1000			170.00	0.17000	134	46.84	70.27	kg
Fibra Metálica	Dramix	7840			18.00	0.00230	18.00	18.00	27.00	kg
Euco SureShot	Qimica Industrial Suiza	1430			34.1	0.02385	34.11	34.11	51.16	kg
Neoplast 8500	Qimica Industrial Suiza	1100			3.20	0.00291	3.20	3.20	4.80	kg
Aire					6.00%	0.0600	6.00%	6.00%		
TOTAL					2173	1.0000	2173	2173		

Figura N° 8: Modelo de hoja de cálculo para diseños de Mezcla Shotcrete

Fuente: Manual Shotcrete Solutions Robocon.

El método dominante del 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 desarrollos reciente figuran la adición de nuevas generaciones de aditivos, curador interno de concreto, micro sílice y fibras metálicas.

CAPITULO III.

METODOLOGÍA, MATERIALES Y CASOS DE APLICACIÓN.

3.1. SHOTCRETE O CONCRETO LANZADO

Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie. La tecnología del shotcrete comprende los procesos de mezcla seca y de mezcla húmeda. (Bozza Castro, 2019)

En el proceso de mezcla seca, los componentes del shotcrete seco o ligeramente pre-humedecidos, 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. En el proceso de mezcla húmeda, los componentes del shotcrete y el agua son mezclados antes de la entrega a una unidad de bombeo de desplazamiento positivo, la cual luego suministra la mezcla

hidráulicamente hacia la boquilla, donde es añadido el aire para proyectar el material sobre la superficie rocosa. (Bozza Castro, 2019)

Adecuadamente aplicado, el shotcrete es un material de construcción estructuralmente sólido y durable, con buenas características de adhesión con la roca y alta resistencia.

Estas propiedades favorables se consiguen con buenas especificaciones y materiales, preparación adecuada de la superficie, buenas prácticas de mezclado, aplicación del shotcrete y supervisión.

3.2. MATERIALES COMPONENTES DEL SHOTCRETE Y SUS PROPIEDADES EN LA MEZCLA

El cemento que se utiliza normalmente es el Portland Tipo HE. Como regla práctica, los agregados más no deberían ser más de 16mm.

El agua de la mezcla debe ser limpia y libre de sustancias que puedan dañar al concreto o al acero.

Se usan aditivos para mejorar las propiedades del Shotcrete, estos pueden ser: los acelerantes de fragua, que no deberán ser usados en más del 2% en peso del cemento; los reductores de agua; y los retardantes.

Los elementos de refuerzo, se tienen principalmente las fibras de acero, la malla electro soldada firmemente adosada a la superficie de la roca, y las varillas de fierro o acero corrugadas libres de aceites, grasas, polvo u otros materiales que puedan afectar la adhesión del shotcrete. (Torres Alvarez, 2016)

- **Agregado de finos**

- Arena y/o roca triturada
- <5mm (0.2 pulg.)
- Contenido de agregado fino normalmente del 35% al 45% por masa o volumen total del agregado.



Figura N° 9: Ensayo de la calidad de agregado

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 10: Agregado de finos

Fuente: Agregado para la elaboración del Shorcrete, Concreto Supermix

- **Aditivo Acelerante**

Son materiales que se adicionan al concreto con el propósito de reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de resistencias a edades tempranas.

- **EURO SURESHOT AF:** Rápido endurecimiento y reducción del tiempo de fraguado, el bajo porcentaje de rebote y una mayor velocidad de ejecución de capas sucesivas. Como recomendación en la aplicación de concreto o mortero lanzado por vía húmeda o seca en ambos métodos de aplicación se observa una gran diferencia de la mezcla. (QSI, 2021)



Figura N° 11: Eucon Sureshot AF

Fuente: Aditivo acelerante, QSI Perú

- **Aditivo Plastificante**

Es un aditivo para concreto especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retardo y optimizador de cemento en mezclas de concreto.

- **NEOPLAST 8500 HP**

Permite que el concreto o mortero sea transportado grandes distancias, logra reducir más del 45% de agua y la segregación y exudación en el concreto plástico. (QSI, 2021)

3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL SHOTCRETE

3.3.1. Preparación de la superficie

Desatado de rocas y en algún caso se procede a percutar la superficie donde se va a realizar el lanzado.

La superficie de aplicación debe encontrarse totalmente limpia, en caso contrario el concreto proyectado no se pegará sobre la superficie, esta debe estar exenta de sustancias y costras que comprometan su adherencia.

Con el objetivo de no tener shotcrete craquelado en las labores, llegando a ocasionar una corrección de lanzado en el mismo lugar, por ende, sería un exceso en costos.

Se recomienda el lavado con presión de agua. Generalmente el concreto proyectado se aplica rellenando cavidades y menos las salientes de tal manera que el espesor exigido sea más bien el espesor promedio.

Una capa de concreto proyectado debe tener un promedio de dos pulgadas de espesor. (Torres Alvarez, 2016)

3.3.2. Preparación del área

Limpieza del área, iluminación, ventilación, verificación de los servicios y la necesidad de colocar una lona impermeable para la colocación del Shotcrete en caso de hacer pruebas de rebote.

3.3.3. Impermeabilización zonas de filtración

Cuando la superficie donde se desea aplicar el shotcrete presenta flujo de agua, se hace necesario impermeabilizar previamente la superficie, porque el flujo del agua compromete la adherencia y a la compactación del concreto.

Esto se realiza perforando taladros de drenaje, para evitar daños posteriores a la aplicación del revestimiento del shotcrete. (Torres Alvarez, 2016)



Figura N° 12: Impermeabilización de la superficie

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.4. Rebote

Para mezcla húmeda, el medio más efectivo de reducir el rebote incluye: la disminución de la presión de aire, la perpendicularidad al momento de aplicación, el uso de mayor cantidad de finos, pre-humedecimiento de la superficie y el lanzado a una distancia estable.

La cantidad de rebote depende de la consistencia del concreto, uso de acelerante, técnicas de lanzado y graduación de agregados. En el proceso de mezcla húmeda el rango de rebote es de 8% - 12%.

En la unidad minera Huarón se trabaja con un porcentaje de rebote del 8% aproximadamente.

Es necesario además recordar que las prácticas adecuadas de operación del robot lanzador inciden en el menor rebote.

- Mantener la tobera perpendicular a la superficie que se va a sostener.
- La presión dinámica de aire debe ser constante, ya que si excedemos la presión de 4.5 bares con la válvula abierta, tendremos más rebote.
- La trabajabilidad del shotcrete no debe de exceder las 4", si lo hacemos corremos el riesgo de que la mezcla colocada caiga al piso y/o haga de que se utilice más acelerante para su fraguado, lo que incrementaría el costo.
- Evaluar las habilidades del operador del robot, ya que el mayor porcentaje de exceder el rebote depende del mismo.
- El colocar una capa de shotcrete para abarcar mayor área, permitirá a posteriori colocar una capa con menor porcentaje de rebote, la misma no debe estar muy seca.
- Las condiciones de visibilidad en la labor deben ser buenas, ya que se puede estar colocando el sostenimiento en áreas poco accesibles y/o con superficies muy planas.
- Antes de colocar una siguiente capa de shotcrete hacer un traslape de 0.5m. con el shotcrete inicial.
- El colocar el shotcrete en un área muy húmeda, incrementa el rebote, además de que pierde adherencia y necesita más acelerante.
- Cuando se sostiene frentes de avance se tiende a formar una capa de rebote sobre la carga, esta carga al ser removida deja el rebote en el aire, comprometiendo el shotcrete que está en el hastial, ya que al ser limpiado lo remueve perdiendo adherencia e inestabilizando la roca.



Figura N° 13: Rebote de mezcla

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.5. Dosificación del aditivo

Controlar la dosificación del aditivo de acuerdo a la norma técnica del producto.

La cantidad del material de rebote disminuye generalmente cuando se utiliza un aditivo acelerante de fragua, permitiendo incluso la aplicación de capas más gruesas por su rápida gelificación, que es casi inmediatamente al entrar en contacto el acelerante con el cemento. (Torres Alvarez, 2016)

Los acelerantes líquidos son los más ventajosos. La amalgamación más regular de la mezcla y el agua permite una mejor dosificación según la cantidad requerida.

Los acelerantes líquidos reducen la cantidad de rebote y no alteran la homogeneidad del concreto como los acelerantes en polvo cuya repartición no es regular.

3.3.6. Agregado

El tamaño máximo del agregado debe ser de 10 a 15mm. En la composición granulométrica de la mezcla, no es recomendable un gramo mayor de los 20mm. Porque rebota casi integralmente arrastrando también los ingredientes finos y el cemento. (Torres Alvarez, 2016)

La humedad máxima del agregado es de 8%. La humedad propia de los agregados debe ser adecuada.

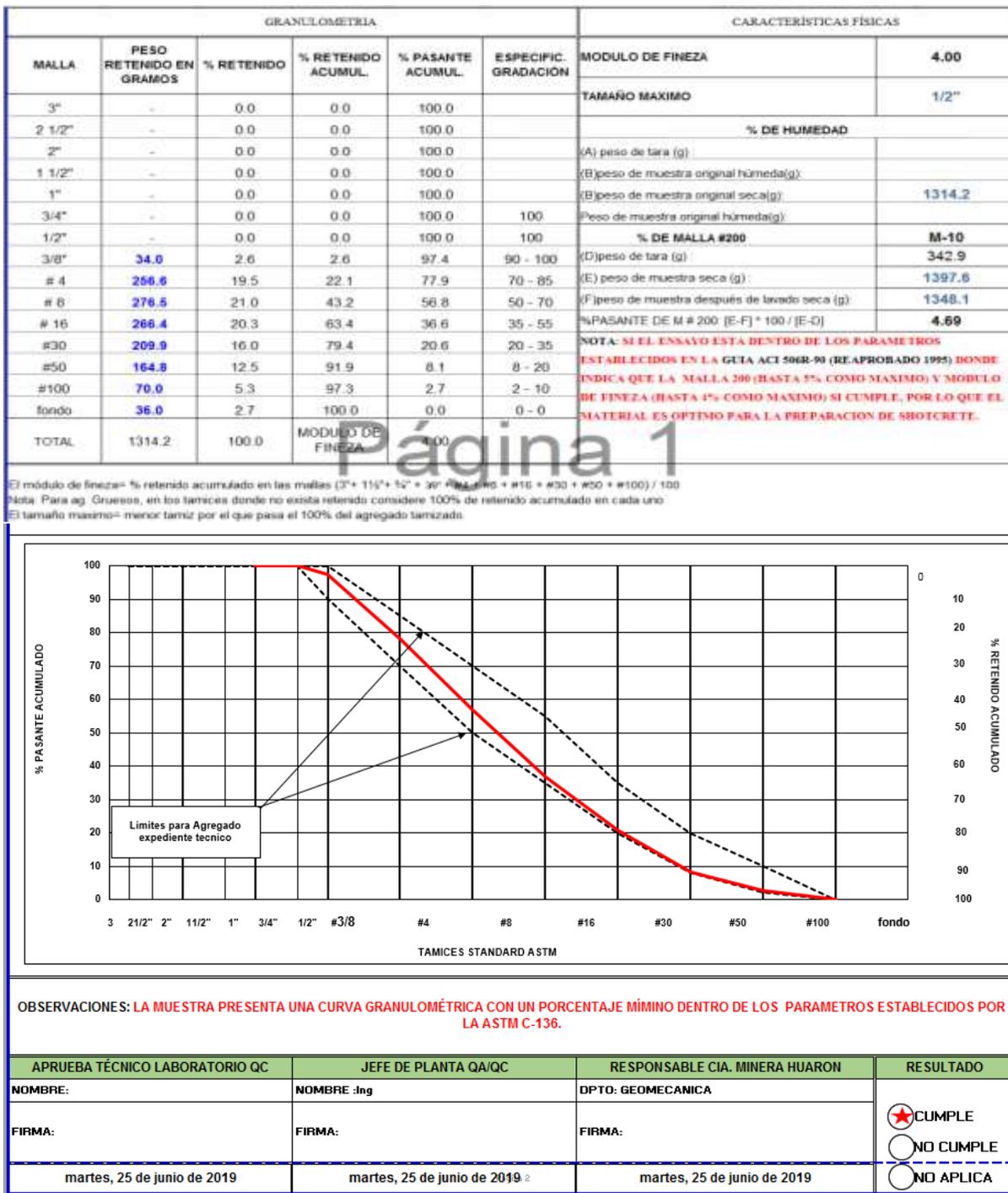


Figura N° 14: Análisis Granulométrico
 Fuente: Manual Shotcrete Solutions Robocon.

3.3.7. Mezcla

La mezcla no debe de estar más de cuatro horas después de su preparación. Antes de solicitar la mezcla, el operador debe de cerciorarse de que la manguera de transporte se encuentra limpia y si la alimentación de aire es suficiente o carece de presión, luego de que todo está perfecto, se procederá a pedir la mezcla e iniciar su trabajo.

La mezcla que se va a emplear debe ser depositada sobre la tina del robot lanzador.



Figura N° 15: Preparación de los paneles de Shotcrete

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.8. Presión aire

La presión del aire comprimido debe ser de 3 a 4 bares y de 7 a 8 de acuerdo al modelo de máquina shotcrete.

3.3.9. Relación de agua/cemento (A/C)

La relación A/C tiene una influencia fundamental en la calidad del Shotcrete.

El agua total utilizada en la mezcla se compone del agua de mezcla añadida en la cuba del mixkret en planta y la humedad ya presente en el agregado. (Torres Alvarez, 2016)

3.3.10. Fibras

La incorporación de fibras sintéticas al Shotcrete lleva consigo a una mayor energía de rotura o menor retracción del material.

Las fibras sintéticas tienen ventajas obvias sobre la malla electrosoldada, siendo la más importante el hecho de que son pequeñas y que pueden distribuirse uniformemente en toda la capa de concreto, tal mejoramiento de la distribución de las fisuras y de la tensión imparte viscosidad al concreto. Se debe utilizar por un cubo de mezcla 4 Kg de Fibra Sintética. Con otro aditivo del shotcrete, las fibras se utilizan para aumentar la resistencia a la flexión y tracción. (Torres Alvarez, 2016)

3.3.11. Espesor de la aplicación

Siempre que sea posible el shotcrete debe ser aplicado a su espesor completo de diseño en una sola capa. Este puede ser aplicado en capas o

espesores simples, dependiendo de la posición de trabajo. (Torres Alvarez, 2016)

En el techo el espesor debe ser el necesario para evitar la caída del shotcrete, generalmente de 1" (25mm) en cada pasada.

En las paredes verticales puede ser aplicado en capas o espesores simples o de acuerdo a las especificaciones de Geomecánica.

En cualquiera de los casos el espesor de una capa es principalmente gobernado por el requerimiento de que el Shotcrete no caiga.

En la Unidad Minera Huaron se usa un espesor de 2"



Figura N° 16: Control del Slump en planta

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.12. Curado

Al igual que el concreto, el shotcrete también debe ser curado de tal manera que su resistencia potencial y su durabilidad sean completamente desarrolladas.

El mejor método de curado es mantener húmedo el shotcrete continuamente por 7 días, utilizando para tal fin el agua. El curado natural puede ser considerado siempre y cuando la humedad relativa del lugar sea mayor de 85%.

3.4. PROCESO DE PREPARACION DEL AGREGADO

3.4.1. Cemento y calidad

Se tiene que realizar una prueba de compatibilidad entre el cemento y el acelerante con el objeto de comprobar la reactividad/fraguado del acelerante. Se usa un mínimo de 400kg. de aglomerante con un mínimo de 180 litros de agua para mantener una manejabilidad y calidad (relación agua/cemento). (Torres Alvarez, 2016)

3.4.2. Humo de Sílice:

Efecto de relleno en el que se cree que distribuye los productos de hidratación de manera homogénea en el espacio disponible. Siendo utilizado como aditivo antes que como un sustitutivo del cemento para mejorar las propiedades del hormigón. (Torres Alvarez, 2016)



Figura N° 17: Humo de sílice

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3. Áridos

La distribución del tamaño de los granos y otras características muestran pocas variaciones siendo la cantidad y características muestran pocas variaciones siendo la cantidad y características

3.4.4. Mezclas

Los elementos reductores de agua se usan para mejorar la manejabilidad y la cohesión del hormigón en estado plástico. Para el método vía húmeda es atractivo porque el hormigón es mezclado y se añade agua bajo condiciones controladas y reproducibles. (Ojeda Perez, 2020)

3.4.5. Acelerante de fraguado

El método vía húmeda necesita la adición de mezclas de fraguado rápido en la boquilla. Con su es posible una pulverización eficaz es superficies verticales y en el techo. (Ojeda Perez, 2020)

Lo más usados:

- Silicato sódico líquido
- Silicato modificado
- Activadores de consistencia
- Aluminatos (sodio, potasio o una mezcla de ambos)
- Libre de álcali
- Master Roc 3845



Figura N° 18: Mezcla optima

Fuente: Elaboración Propia.

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DE LA U.M. HUARON

La clasificación de los parámetros del macizo rocoso es resultado de la evaluación de la condición estructural como producto de la evaluación geomecánica, a través de la obtención del registro de información por el método de clasificación de Bieniaski Rock Mass Rating, usualmente denominada como “RMR”; a través del análisis e interpretación de los datos se ha desarrollado una tendencia de isovalores de acuerdo a la clasificación geomecánica obtenida del macizo rocoso de Unidad Minera Huaron. (Cañapatana Ccora, 2019)

Tabla Nº 02: Análisis de Dispersión RMR y Resistencia UM. Huaron 2019

Zona	Estructura	Litología	Buz (°)	RMR (C.Piso)	RMR (C.Techo)	RMR (Veta)	UCS C.Piso (Mpa)	UCS C.Techo (Mpa)	UCS Ore (Mpa)
Sur	Tapada	Mrg	75	33	31	22	40	38	20
	San Narciso	Mrg	80	34	29	23	39	38	21
	Gavia	Mrg	85	51	48	38	62	60	42
	Providencia	Mrg	80	53	47	37	63	58	48
	Labor	Mrg	80	52	49	40	63	69	50
	Mariana	Mrg	75	41	42	36	40	35	40
	San Francisco	Mrg	70	35	29	26	36	33	28
Norte	Veta Pozo D	Mrg	75	36	38	32	35	33	25
	Cuerpo Pozo D	Int	75	32	33	25	20	20	15
	Llacsacocha	Mrg	80	42	43	39	51	51	40
	Bernabe	Mrg	65	43	41	42	62	60	55
	Rey	Mrg	80	52	50	48	70	69	69
	Juanita	Mrg	70	42	40	39	65	55	40
	Alianza	Int	77	39	31	25	35	36	22
	Travieso	Mrg	75	29	38	21	35	38	15
	Constancia	Int	73	46	41	34	75	70	40
	Productora	Mrg	75	42	43	39	60	65	50
	Teresa Ramal	Mrg	77	40	39	35	43	45	40
	Veta Pozo D Ramal Norte	Mrg	75	40	40	37	41	41	42
	Norte 500	Constancia	Int	74	42	40	39	60	55
Alianza		Mrg	77	42	43	38	61	60	42
Lesly Ramal		Mrg	75	41	42	39	59	62	42
Llacsacocha		Mrg	75	41	40	39	55	45	40
Shiusha Ramal Sur		Mrg	77	38	39	36	40	50	40

 Roca Mala (RMR 21-40)	 Resistencia 25 - 50 Mpa
 Roca Regular III B (41-50)	 Resistencia 51 - 100 Mpa
 Roca Regular III A (51-60)	 Resistencia < 25 Mpa

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa líneas arriba se puede concluir que 56 % corresponde a calidad de Roca Mala RMR (21-40) como índice de frecuencia y 31% corresponde a una calidad de Roca Regular RMR (41-50), observados con mayor frecuencia en la roca encajonante como son caja techo y piso de las estructuras evaluadas.

Los parámetros de roca obtenidos como resultante del ingreso de los datos al software Rock Data de acuerdo a la evaluación geomecánica, son los mostrados a continuación:

Tabla N° 03: Parámetros Macizo Rocoso RMR UM. Huaron

RMR	Type Roca	H (m)	UCS (Mpa)	GSI	mi	D	mb	s	a	σ_t (Mpa)	δ (MN/m ³)	c (Mpa)	ϕ (°)	Erm (Mpa)
IV A	Mrg	300	50-100	40	7	0.5	0.402028	0.00033546	0.511368	3.6101	0.026	0.7612	31.7025	986
IV A	Mrg	600	50-100	40	7	0.5	0.402028	0.00033546	0.511368	6.9260	0.026	1.1440	26.5601	986
IV A	Mrg	300	25-50	40	7	0.5	0.402028	0.00033546	0.511368	3.4487	0.026	0.5561	26.0646	986
IV A	Mrg	600	25-50	40	7	0.5	0.402028	0.00033546	0.511368	6.6164	0.026	0.8374	21.3173	986
III B	Mrg	300	50-100	50	7	0.5	0.647237	0.00127263	0.505734	3.6727	0.026	1.0023	35.7547	2401
III B	Mrg	600	50-100	50	7	0.5	0.647237	0.00127263	0.505734	7.0462	0.026	1.4649	30.4591	2401
III B	Mrg	300	25-50	50	7	0.5	0.647237	0.00127263	0.505734	3.5086	0.026	0.7108	29.9384	2401
III B	Mrg	600	25-50	50	7	0.5	0.647237	0.00127263	0.505734	6.7313	0.026	1.0583	24.8588	2401
IV A	Mi	300	25-50	40	10	0.54	0.574326	0.00033546	0.511368	4.1126	0.031	0.6996	27.6238	986
IV A	Mi	600	25-50	40	10	0.5	0.574326	0.00033546	0.511368	7.8902	0.031	1.0639	22.7256	986

Fuente: Elaboración Propia.

En la unidad Minera Huaron se considera la calidad de la masa rocosa en tres tipos como se evidencia en las zonas norte, norte 500 y sur, las cuales se caracterizan por valores de RMR comprendidas entre Mala, Regular y Buena de resistencias uniaxiales comprendidas entre 30 a 65 Mpa, datos registrados de los levantamientos regulares con el martillo de schmidt en terreno in-situ.

Se ha considerado cajas con calidad de roca regular (RMR 41-60) y estructuras mineralizadas con calidades de roca clasificadas como Roca Mala (RMR 21-40) y

Roca Muy Mala (RMR 15-20) para las estructuras mineralizadas que se ha registrado en campo.

3.6. ENSAYOS DE MECÁNICAS DE ROCAS

En esta parte de la investigación verificaremos las resistencias a pruebas de ensayo flexo tracción, resistencia a la compresión, resistencia a edades tempranas, trabajabilidad y mantención de la mezcla de concreto empleando fibra sintética del BARCHIP R50, a fin de que cumpla con lo requerido en la Unidad Minera Huaron.

INSTRUMENTACION:

1. Cono de Abrahams (plancha+cono+varilla)
2. Equipo de Corte Diamantina
3. Equipo Extractor Diamantina
4. Equipo HILTI
5. Fiola 500 ML
6. Horno
7. Tamices serie fina con fondo y tapa #4; #8; #16; # 30; #50 ; #100;#200
8. Termómetro de medio ambiente
9. Flexómetro

METODOLOGIA:

1. Ensayo de Análisis granulométrico de los agregados.
2. Diseño de mezcla a nivel de laboratorio
3. Industrialización y ajuste de diseño en planta de concreto
4. Registro y verificación de Slump y temperatura de la mezcla de concreto
5. Toma de probetas para análisis de ensayo de compresión a 3,7 ,14 y 21 días

6. Seguimiento en interior mina para verificar mantención de la mezcla “Slump”, prueba de rebote y ensayo de resistencia a edad temprana Pistola Hilti.
7. Toma de muestra de paneles para ensayo de flexotracción y extracción de núcleos.

3.6.1. Ensayo de Análisis Granulométrico.

Aun se presenta problemas con el agregado, no se logra conseguir la uniformidad deseada, a pesar de encontrarse al límite de los parámetros establecidos en la norma ASTM C136, la falta de finos en los agregados que comprende las mallas # 50 y 100 es un punto a mejorar por parte de los proveedores. (Ver Figura N°14)

3.6.2. Ensayo de Mantención – Seguimiento de Slump

Se realizó el seguimiento de la trabajabilidad – Slump de la mezcla (Shotcrete) en planta concreto e interior mina, observando un estado de homogeneidad estable (arena, cemento y fibra) obteniendo los siguientes valores

Tabla N° 04: Resultado de Slump – Fibra Barchip R50

Fecha	Labor	Hora Salida Planta	Hora Llegada mina	Tiempo de Recorrido	Slump - Trabajabilidad (Pulgadas)		
					Planta	Mina	Perdida
14-ene	VE 561-2	12:02	13:05	01:03	8 1/4	6 1/2	1 3/4
15-ene	Cam 805	12:30	13:33	01:03	7 3/4	7	3/4
	RA 873	09:32	11:36	02:04	8 3/4	7 1/4	1 1/4
18-ene	RA 104	09:01	10:35	01:34	8	6 1/4	1 1/4
	VE 561-2	09:28	10:55	01:27	8	6 1/2	1 1/2
	BP 857	14:57	16:02	01:05	7 3/4	6 1/2	1 1/4
19-ene	RA 104	09:05	10:40	01:35	8 1/2	6 1/2	2
	VE 387-3	09:22	12:40	03:20	8	6	2
20-ene	RP 104	08:36	10:20	01:44	7 1/2	6 1/4	1 1/4
	TJ 858	08:54	11:31	02:37	7	6 1/2	1/2
	BP 475	14:00	15:40	01:40	8	7 1/2	1/2
21-ene	RP 251	08:40	11:10	02:40	8	7	1
	SN 876 BE	10:33	12:30	02:03	8	6 3/4	1 1/4

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 19: Slump – Fibra Barchip R50 (Superficie)

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 20: Slump – Fibra Barchip R50 (Mina)

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.3. Ensayo de Resistencia Probeta

De los resultados obtenidos en laboratorio a 3 y 7 días se observa un margen muy por encima a lo requerido por la norma ASTM C39, superando el 100%, se adjunta cuadro de resultados. (Ver Figura N° 21)

Tabla N° 05 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8" a 3 días - Fibra Metálica Dramix 65/35

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS																
FIBRA METÁLICA DRAMIX 65/35																
N° CODIGO	ZONA/ LABOR	FECHA DE LANZADO	FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PROMEDIO 2x2	PROMEDIO 3x3	PROMEDIO 5x5	DISEÑO f ["] c=28MPa	% RESISTENCIA	OBSERVACIONES
SHOTCRETE	VE-35/250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	14/01/2019	17/01/2019	3	20	10	78.54	14338	183	180				280	64	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	13899	177							
SHOTCRETE	SN-39 NE/ 450 NORTE	15/01/2019	18/01/2019	3	20	10	78.54	14387	183	188	184			280	67	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15196	193							
SHOTCRETE	VE-561/420 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	15/01/2019	18/01/2019	3	20	10	78.54	16850	215	205	197	191		280	73	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15346	195							
SHOTCRETE	VE-26-10P/ 250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	16/01/2019	19/01/2019	3	20	10	78.54	14578	186	192	199	195		280	69	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15618	199							
SHOTCRETE	SN-21 NE/450 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	17/01/2019	20/01/2019	3	20	10	78.54	13956	178	184	188	194	190	280	66	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14986	191							
SHOTCRETE	VE-561/420 SUR (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	18/01/2019	21/01/2019	3	20	10	78.54	13877	177	179	182	185	190	280	64	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14224	181							
SHOTCRETE	VE-05-10P/250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	19/01/2019	22/01/2019	3	20	10	78.54	13686	174	176	177	180	187	280	63	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	13951	178							
SHOTCRETE	VE-20-9P/250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	20/01/2019	23/01/2019	3	20	10	78.54	15220	194	195	186	183	185	280	70	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15450	197							
SHOTCRETE	SN 21/NORTE 500 (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	21/01/2019	24/01/2019	3	20	10	78.54	13856	176	172	184	181	181	280	62	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	13211	168							
SHOTCRETE	CAM-805/NORTE 180 (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	22/01/2019	25/01/2019	3	20	10	78.54	12932	165	164	168	177	177	280	59	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	12800	163							
SHOTCRETE	TJ 858C (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	22/01/2019	25/01/2019	3	20	10	78.54	16313	208	202	183	180	180	280	72	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15846	197							

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°06 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8" a 7 días - Fibra Metálica Dramix 65/35

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS																
FIBRA METÁLICA DRAMIX 65/35																
N° CODIGO	ZONA/ LABOR	FECHA DE LANZADO	FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm2)	PROMEDIO (kg/cm2)	PROMEDIO 2x2	PROMEDIO 3x3	PROMEDIO 5x5	DISEÑO f''c=28MPa	% RESISTENCIA	OBSERVACIONES
SHOTCRETE	VE-35/250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	14/01/2019	21/01/2019	7	20	10	78.54	24856	316	312	312	312	312	280	112	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24191	308							
SHOTCRETE	SN-39 NE/ 450 NORTE	15/01/2019	22/01/2019	7	20	10	78.54	23490	299	308	308	310	310	280	110	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24889	317							
SHOTCRETE	VE-561/420 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	15/01/2019	22/01/2019	7	20	10	78.54	23456	299	295	301	301	305	280	105	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	22851	291							
SHOTCRETE	VE-26-10P/ 250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	16/01/2019	23/01/2019	7	20	10	78.54	20688	263	267	267	281	290	280	95	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	21245	270							
SHOTCRETE	SN-21 NE/450 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	17/01/2019	24/01/2019	7	20	10	78.54	26918	343	344	344	306	302	280	123	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	27181	346							
SHOTCRETE	VE-561/420 SUR (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	18/01/2019	25/01/2019	7	20	10	78.54	23456	299	296	296	296	320	280	106	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	23016	293							
SHOTCRETE	VE-05-10P/250 NORTE (ESPECIAL) 25 KG DE FIBRA	19/01/2019	26/01/2019	7	20	10	78.54	23821	303	308	308	302	302	280	110	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24505	312							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°07 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8" a 3 días - Fibra Barchip R50

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS																
FIBRA SINTÉTICA BARCHIP R50																
N° CODIGO	ZONA/ LABOR	FECHA DE LANZADO	FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PROMEDIO 2x2	PROMEDIO 3x3	PROMEDIO 5x5	DISEÑO f ["] c=28MPa	% RESISTENCIA	OBSERVACIONES
SHOTCRETE	BP-876/180 NORTE (ESPECIAL)	14/01/2019	17/01/2019	3	20	10	78.54	14197	181	181				280	65	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14280	182							
SHOTCRETE	VE-561 / 420 SUR	14/01/2019	17/01/2019	3	20	10	78.54	16022	204	210	196			280	75	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	16965	216							
SHOTCRETE	SN-948/250 SUR (ESPECIAL)	15/01/2019	18/01/2019	3	20	10	78.54	13834	176	183	197	192		280	65	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14956	190							
SHOTCRETE	BP-650/ 250 NORTE (ESPECIAL)	16/01/2019	19/01/2019	3	20	10	78.54	15126	193	196	190	197		280	70	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15728	200							
SHOTCRETE	VE-561/420 SUR (ESPECIAL)	17/01/2019	20/01/2019	3	20	10	78.54	14561	185	187	192	189	192	280	67	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14886	190							
SHOTCRETE	VE-561-2/420 SUR (ESPECIAL)	18/01/2019	21/01/2019	3	20	10	78.54	15122	193	191	189	192	194	280	68	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14914	190							
SHOTCRETE	RP-104/180 NORTE (ESPECIAL)	18/01/2019	21/01/2019	3	20	10	78.54	13104	167	169	180	183	185	280	60	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	13459	171							
SHOTCRETE	RP-104/180 NORTE (ESPECIAL)	19/01/2019	22/01/2019	3	20	10	78.54	13928	177	181	181	175	182	280	65	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	14467	184							
SHOTCRETE	TJ-858/NORTE 180 (ESPECIAL)	20/01/2019	23/01/2019	3	20	10	78.54	17970	229	222	201	201	191	280	79	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	16895	215							
SHOTCRETE	SN-876/250 SUR (ESPECIAL)	20/01/2019	23/01/2019	3	20	10	78.54	16886	215	210	216	204	195	280	75	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	16045	204							
SHOTCRETE	BP-876/180 SUR (ESPECIAL)	21/01/2019	24/01/2019	3	20	10	78.54	14710	187	189	199	207	200	280	68	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15010	191							
SHOTCRETE	SN-930/180 SUR (ESPECIAL)	22/01/2019	25/01/2019	3	20	10	78.54	16238	207	205	197	201	201	280	73	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15995	204							
SHOTCRETE	SN-948/ SUR 250 (ESPECIAL)	23/01/2019	26/01/2019	3	20	10	78.54	15547	198	195	200	196	204	280	70	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	15067	192							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°08 Resultado de Resistencias en Probetas de 4x8" a 7 días - Fibra Barchip R50

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS																
FIBRA SINTÉTICA BARCHIP R50																
N° CODIGO	ZONA/ LABOR	FECHA DE LANZADO	FECHA DE ROTURA	EDAD DIAS	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm2)	PROMEDIO (kg/cm2)	PROMEDIO 2x2	PROMEDIO 3x3	PROMEDIO 5x5	DISEÑO f" c=28MPa	% RESISTENCIA	OBSERVACIONES
SHOTCRETE	BP-876/180 NORTE (ESPECIAL)	14/01/2019	21/01/2019	7	20	10	78.54	30210	385	378	378			280	135	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	29185	372							
SHOTCRETE	VE-561 / 420 SUR	14/01/2019	21/01/2019	7	20	10	78.54	25473	324	321	350			280	115	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24986	318							
SHOTCRETE	SN-948/250 SUR (ESPECIAL)	15/01/2019	22/01/2019	7	20	10	78.54	23423	298	303	312	334		280	108	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24101	307							
SHOTCRETE	BP-650/ 250 NORTE (ESPECIAL)	16/01/2019	23/01/2019	7	20	10	78.54	20698	264	275	289	300		280	98	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	22488	286							
SHOTCRETE	VE-561/420 SUR (ESPECIAL)	17/01/2019	24/01/2019	7	20	10	78.54	25501	325	327	301	302	321	280	117	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	25918	330							
SHOTCRETE	VE-561-2/420 SUR (ESPECIAL)	18/01/2019	25/01/2019	7	20	10	78.54	23951	305	305	316	303	306	280	109	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24022	306							
SHOTCRETE	RP-104/180 NORTE (ESPECIAL)	18/01/2019	25/01/2019	7	20	10	78.54	19795	252	267	286	300	296	280	95	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	22198	283							
SHOTCRETE	RP-104/180 NORTE (ESPECIAL)	19/01/2019	26/01/2019	7	20	10	78.54	25697	327	323	323	295	306	280	115	Fallados en laboratorio de shotcrete Robocon
					20	10	78.54	24988	318							

Fuente: Elaboración Propia

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS 4 x 8"

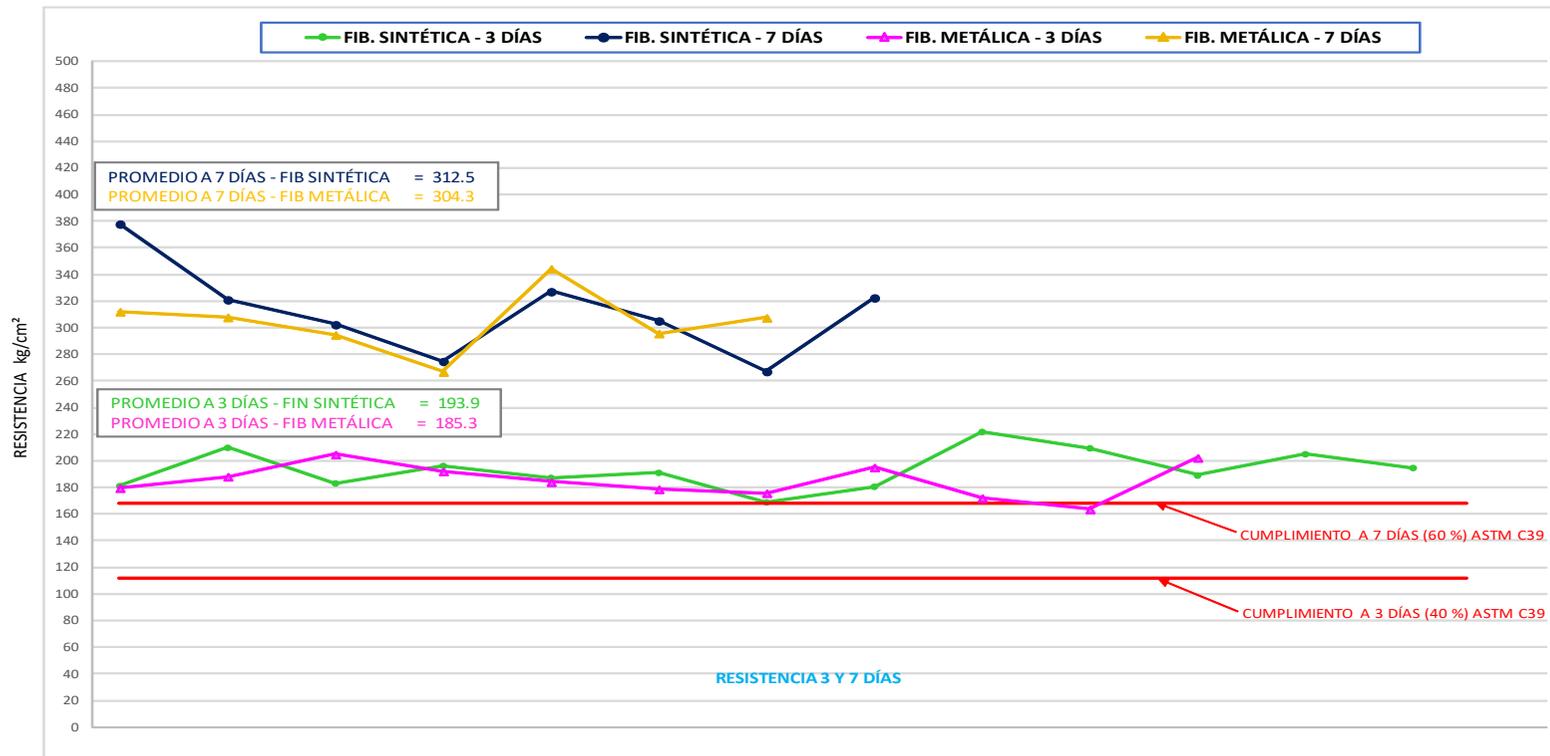


Figura N° 21: Análisis Comparativo de resistencia a 3 y 7 días Fibra Dramix 65/35 – Barchip R50
Fuente: Elaboración Propia.

Los ensayos de resistencia obtenidos a través de rotura de probetas de 4x8" a edades de 3 y 7 días de muestras de fibra metálica dramix 65/35 y fibra sintética BarChip R50 superan lo requerido por la norma ASTM C39 , encontrándose 2.63% encima la fibra sintética de Barchip R50.

3.6.4. Ensayo de Flexo-Tracción:

Se ha realizado ensayos de flexotracción, solicitados en laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Pontificia Católica del Perú, se tomó 03 paneles de Fibra Metálica Drámix 65/35 de la empresa PRODAC y 08 paneles de Fibra sintética Barchip R50 de la empresa EPC PERU SAC.

Las pruebas que se realizaron todos los resultados estuvieron dentro de los parámetros, tanto como para la fibra metálica como para la fibra sintética, como se indica en el cuadro adjunto:

Tabla N° 09: Ensayo de Flexotracción-Abosrción de energía

ENSAYO DE FLEXOTRACCION LABORATORIO PUCP					
PANEL EFNARC	PROVEEDOR	TIPO DE FIBRA		DOSIS	ABSOCION ENERGIA (JOULES)
P1	PRODIMIN	DRAMIX 65/35	METALICA	20 Kg/m3	574
P2	PRODIMIN	DRAMIX 65/35	METALICA	20 Kg/m3	753
P3	PRODIMIN	DRAMIX 65/35	METALICA	20 Kg/m3	542
P4	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	05 Kg/m3	780
P5	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	05 Kg/m3	673
P6	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	05 Kg/m3	589
P7	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	04 Kg/m3	591
P8	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	04 Kg/m3	728
P9	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	04 Kg/m3	819
P10	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	04 Kg/m3	748
P11	EPC PERU SAC	BARCHIP R50	SINETICA	04 Kg/m3	821

Fuente: Elaboración propia.

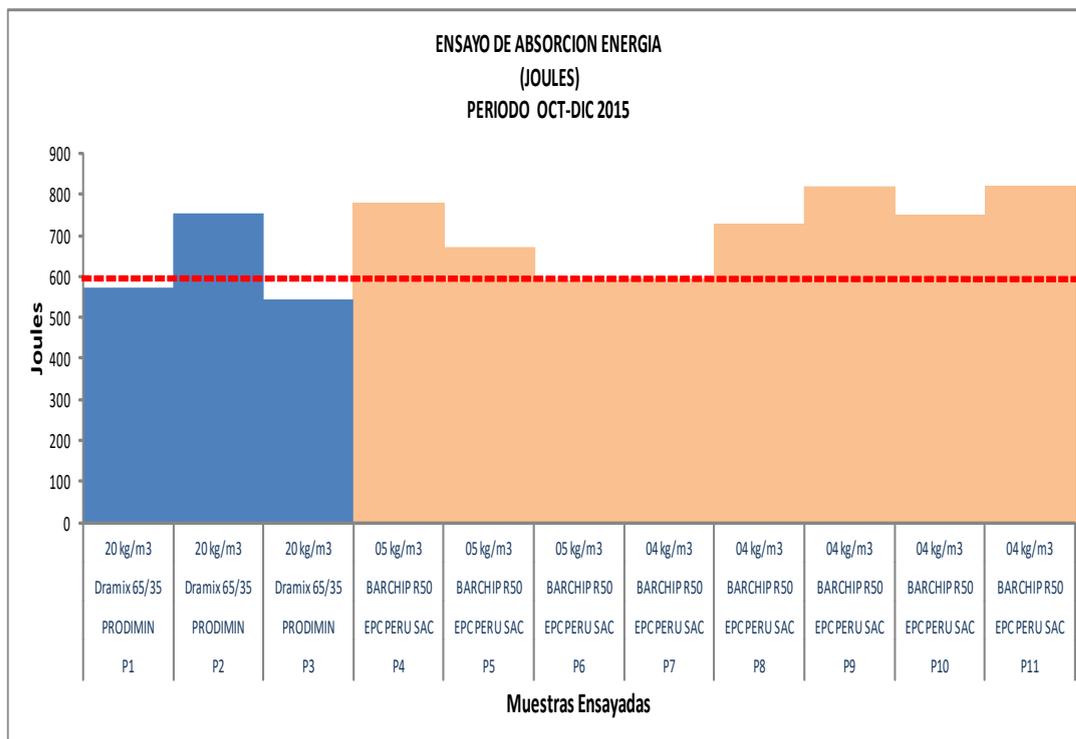


Figura N° 22: Energía de Absorción Energía Fibra Metálica vs Barchip R50

Fuente: Elaboración propia.

3.7. CÁLCULO DEL ESPESOR DEL SHOTCRETE EN GALERIA

Teniendo como objetivo el demostrar la utilización de 2pul. de espesor en la Unidad Minera Huarón, a continuación, se realizará el siguiente cálculo del espesor del shotcrete, utilizando datos reales de una galería.

Geometría de la galería

Ancho de la galería $B = 4.00\text{m}$

Altura de la galería $H_t = 4.00\text{m}$

Espesor del shotcrete primario: $e_1 = 0.05\text{m}$

Espesor del shotcrete secundario $e_2 = 0.05\text{m}$

Materiales

Macizo Rocosó

Clasificación geomecánica del macizo rocoso

$$\text{Barton (Q)} \quad Q = 2.9 \quad J_n = 6 \quad J_r = 3$$

$$RMR = 9 \ln(Q) + 44 \quad RMR = 53.58 \quad \text{ROCA REGULAR}$$

$$\text{Esfuerzo a la compresión} \quad R_c = 1186.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Densidad de la roca} \quad \rho_r = 2690 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Angulo de fricción interna} \quad \phi = 38.65^\circ$$

$$\text{Cohesión} \quad c = 392.76 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de Elasticidad

$$E_2 = (2 \text{ RMR} - 100) \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2 \quad E_2 = (2 \times 53.58 - 100) \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_2 = 7.16 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Coeficiente de Poisson} \quad \beta = 0.25$$

Módulo de Balasto según Peck

$$k_r = \frac{2 \times E_2}{(1 - \beta)B} \quad k_r = \frac{2 \times 7.16}{(1 - 0.25)^4} \times 10^4 \quad k_r = 4.7 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$$

Cargas consideradas:

Barton (Q)

$$P_{v1} = \frac{2 \times J_n^{1/2}}{3 \times J_r \times Q^{1/3}} \quad P_{v1} = 3.652 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{h1} = P_{v1} \times \frac{\beta}{1 - \beta} \quad P_{h1} = 1268 \text{ kg/m}^2$$

Bieniawski

$$P_{v2} = \frac{100 - RMR}{100} \times B \times \rho_r \quad P_{v2} = 3.792 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{h1} = P_{v2} \times \frac{\beta}{1 - \beta} \quad P_{h2} = 1.421 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$$

Diseño del Shotcrete

Revestimiento primario

Factor de carga en galería FC=1.5

Barton (Q)

$$e1 = \frac{Fc \times (Pv1) \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh2})} \quad e1 = \frac{1.5 \times (3.798) \times 10^3 \times 4}{2 \times (0.8 \times 285)} = 0.045 < 0.05 \text{ m}$$

$$e2 = \frac{Fc \times (Pv2) \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh1})} \quad e1 = \frac{1.5 \times (3.798) \times 10^3 \times 4}{2 \times (0.8 \times 285)} = 0.045 < 0.05 \text{ m}$$

Revestimiento secundario

Factor de carga en galería FC=1.9

Barton (Q)

$$e1 = \frac{Fc \times (0.75Pv1) \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh2})} \quad e1 = \frac{1.5 \times (0.75 \times 3.798) \times 10^3 \times 4}{2 \times (0.8 \times 285)} = 0.047 < 0.05 \text{ m}$$

$$e2 = \frac{Fc \times (0.75Pv2) \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh1})} \quad e1 = \frac{1.5 \times (0.75 \times 3.798) \times 10^3 \times 4}{2 \times (0.8 \times 285)} = 0.049 < 0.05 \text{ m}$$

Tabla N° 10: Cuadro de Rebestimiento del Shotcrete

Labor	Jn	Jr	Q	RMR	Pv1	Pv2	e1	e2
Galería	6	3	2.9	53.5	3.799	3.801	0.05	0.05

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS.

La calidad del shotcrete final depende de los procedimientos usados en su aplicación., aquellos procedimientos se incluyen en la preparación de la superficie, técnicas de lanzados, es decir manipulación del robot, iluminación, ventilación, comunicación y el entrenamiento de los operadores.

4.1. PRUEBAS DE RESISTENCIA

Se inicia la prueba con el mixer 226 cargando una cantidad de 4 cubos de convencional sintético para la labor SN 250C W, SN 250C E, Nv. 250, Norte.

- El slump en superficie nos dio un valor de 10 3/4"
- T. H₂O = 9.1°C

- T. M. = 11.5°C

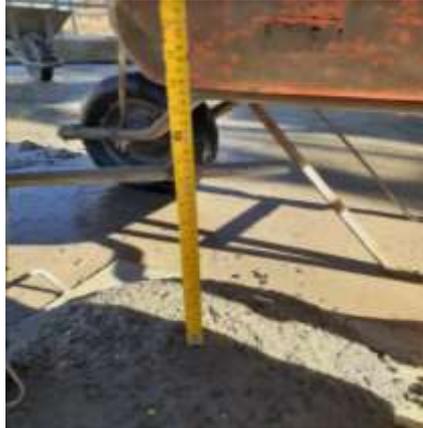


Figura N° 23: Medición del Slump

Fuente: Elaboración Propia.

- El mixer ingresó a la labor el robot se encontraba cerca a la labor para poder realizar las pruebas.
- El robot 59 llegó a la labor.

SN 250 CW

Slump de la mezcla antes del lanzado= 10"

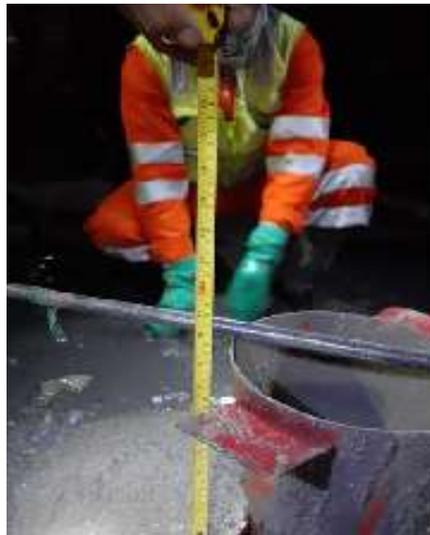


Figura N° 24: Medición del Slump (antes del lanzado)

Fuente: Elaboración Propia.

- P dinámica= 3.1 bar
- Resultado de la cantidad de acelerante para SN 250 CW (P-E: 2.5)

Tabla N° 11: Resultados obtenidos

Nv.	Tiempo (min)	Masa (kg)	T. lanzado (min)	% Lanzado	Masa total (kg)
2.5	1	9.32	3	6.94	27.96

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N° 25: Prueba de resistencia

Fuente: Elaboración Propia.

a) Inicio de disparo shotcrete

La distancia de la tobera a la superficie de recepción del shotcrete debe ser de 1,5m, aquí se dan los mejores resultados para los requerimientos de trabajo: alto

grado de compactación y mínimo rebote. La mejor distancia es de un metro. Si la distancia es demasiado corta, es imposible que se forme la capa de concreto sobre la superficie del soporte, ya que el material se arranca continuamente y arrastrado por el chorro.



Figura N°26: Distancia de la Tobera

Fuente: Elaboración Propia.

- **ANGULO DE LANZADO**

La dirección del chorro debe formar un ángulo de 90 grados con la superficie de aplicación. El operador deberá mantener la tobera de proyección en dirección perpendicular a la superficie de soporte, mayor será la cantidad de rebote si no lanza con el ángulo adecuado.



Figura N° 27: Angulo de lanzado

Fuente: Elaboración Propia.

b) Fin del disparo shotcrete

El shotcrete es un material que requiere cuidadosa atención, desde el diseño hasta su colocación, por lo cual es esencial que se establezcan adecuados procedimientos de control de calidad para asegurar un buen producto final.

c) Toma de panel

Prueba Dinamómetro

- 1 hr (12:30 pm)

T mezcla: 22°C T amb. 22.3°C

$$\frac{278 + 299 + 334.5 + 289.5 + 312 + 227 + 291.5 + 237 + 265.5 + 297.5}{10} = 283.15$$

- 2 hrs (13:30 pm)

T mezcla: 20.4°C T amb. 20.6°C

$$\frac{395 + 379 + 418.5 + 332.5 + 391 + 349 + 411 + 422 + 381.5 + 401}{10} = 388.05$$

- **3 hrs (14:30 pm)**

T mezcla: 20.6°C T amb. 20.5°C

$$\frac{541.5 + 503 + 492 + 563 + 628 + 469.5 + 504 + 531 + 502.5 + 511}{10}$$

$$= 524.55$$

$$\frac{524.55 + 35}{640} = 0.874 \text{ MPa.}$$

SN 250 CW

- a) Slump de la mezcla antes del lanzado= 10"
- b) P dinámica= 4.0 bar
- c) Resultado de la cantidad de acelerante para SN 250 CW (P-E: 2.5)

Tabla N° 12: Resultado de la cantidad

Nv.	Tiempo (min)	Masa (kg)	T. lanzado (min)	% Lanzado	Masa total (kg)
3	1	11.184	3	8.39	33.552
3	3	33.476	3	8.37	33.476

Fuente: Elaboración Propia.

- d) Inicio de disparo shotcrete= 11:16 am
- e) Fin del disparo shotcrete= 11:25 am
- f) Toma de panel = 11:30 am

Prueba Dinamómetro

- **1 hr (12:30 pm)**

T mezcla: 24.3°C T amb. 21.4°C

$$\frac{222.5 + 244.5 + 241.5 + 209.5 + 276 + 266.5 + 227.5 + 254 + 243 + 268.5}{10}$$

$$= 245.35$$

- **2 hrs (13:30 pm)**

T mezcla: 21.6°C T amb. 20.9°C

$$\frac{399.5 + 432 + 414 + 449.5 + 405 + 422.5 + 405 + 434 + 413 + 404}{10} = 417.85$$

- **3 hrs (14:30 pm)**

T mezcla: 23.3°C T amb. 18.3°C

$$\frac{525.5 + 475.5 + 525.5 + 484 + 509.5 + 483 + 550.5 + 484.5 + 492 + 612}{10} = 514.2$$

$$\frac{514.2 + 35}{640} = 0.858 \text{ MPa.}$$



Figura N° 28: Resultado pistola Hilti

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 13 : Características Geométricas y Observaciones Pre Y Post – Ensayo
(FLEXION CON CARGA CENTRADA EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, APOYADA EN SUS CUATRO EXTREMOS)

NORMA DE ENSAYO: EFNARC 1996 (Acápites 10.49)
SOLICITANTE: BARCHIP PERU SAC
MUESTRAS : 02 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaborada por el cliente
P-1 BC-50 Fibra: Sintética Barchip R50
P-2 BC-50 Fibra: Sintética Barchip R50
PROCEDENCIA: COMPAÑÍA MINERA HUARON S.A. – HUAYLLAY – PASCO – PASCO
FECHA DE LANZADO: 11 de Julio de 2018
FECHA DE ENSAYO: 8 de agosto de 2018
CONDICIONES MUESTRA: Curado en cuarto de curado desde su llegada al Laboratorio hasta un el día del ensayo.
COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T=17°C y 85% H.R., aprox.)

Identific. del Espécimen	Tipo de Espéc.	Lado (mm)						Espesor "t" (mm) medido en								"t" calculados (mm)		Fisura Radial (Nº)	Validez del Resultado		Observaciones Antes, durante y después del Ensayo	
		l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	Prom	Adm. Max. Min.	Perímetro				Interior (sup. rotura)							t c.l.	Prom.		Adm. Mâx Min
								t1	t2	t3	t4	t1-1	t1-2	t1-3	t1-4	t	t					
								-	-	-	-	t2-1	t2-2	t2-3	t2-4							
P-1	Panel de Shotcrete Cuadrado	598	600	596	597	598	610	104	106	108	105	104	106	108	105	110	108.4	110	5	Ok	-	
								-	-	-	-	108	110	112	108					ok		
								590	-	-	-	109	111	109	109					ok		
P-2	Panel de Shotcrete Cuadrado	602	600	600	599	600	610	108	109	101	112	108	109	101	112	111	109.0	110	4	Ok	-	
								-	-	-	-	110	108	106	108					ok		
								590	-	-	-	112	110	110	110					ok		

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)

Los especímenes cumplen con este requisito.

Según el acápite 10.4 de la norma, se debe controlar el desplazamiento central a una velocidad de 1.5mm por minutos hasta alcanzar el valor de 25mm.

Fuente: Resultados de los Ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas PUCP.

Tabla N° 14 : Resultados de Ensayos Flexión en Losas Cuadradas de Shotcrete con Fibras,
(FLEXION CON CARGA CENTRADA EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, APOYADA EN SUS CUATRO EXTREMOS)

NORMA DE ENSAYO: EFNARC 1996 (Acápito 10.4)
SOLICITANTE: BARCHIP PERU SAC
MUESTRAS : 02 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaborada por el cliente
PROCEDENCIA: COMPAÑÍA MINERA HUARON S.A. – HUAYLLAY – PASCO – PASCO
FECHA DE LANZADO: 11 de Julio de 2018
FECHA DE ENSAYO: 8 de agosto de 2018
CONDICIONES MUESTRA: Curado en cuarto de curado desde su llegada al Laboratorio hasta un el día del ensayo.
COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T=17°C y 85% H.R., aprox.)

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados								
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10m	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (Kn)	49.483	61.928	36.422	59.940	59.169	53.824	44.622	37.090	36.422
	Deflexión (mm)	1.073	4.309	25.794	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.794
	Energ. Abs. (J)	22.054	181.342	1279.584	221.70	518.98	806.020	1047.927	1250.36	1279.584
P-2	Carga (Kn)	44.504	63.358	36.861	61.572	57.056	54.515	48.741	39.323	36.861
	Deflexión (mm)	1.049	6.612	26.285	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	26.285
	Energ. Abs. (J)	16.360	324.610	1325.379	223.53	516.78	795.841	1056.113	1276.67	1325.379

(*): 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 (tipo mecano) con una Máquina estructural de 500KN de Capacidad y+- 200mm 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.

Fuente: Resultados de los Ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas PUCP.

Tabla N° 15: Características Geométricas y observaciones Pre Y Post – Ensayo – 4kgr
(FLEXION CON CARGA CENTRADA EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, APOYADA EN SUS CUATRO EXTREMOS)

NORMA DE ENSAYO: EFNARC 1996 (Acápite 10.4)
SOLICITANTE: BARCHIP PERU SAC
MUESTRAS : 03 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaborada por el cliente
P-1 BC-50 Fibra: Sintética Barchip R50 Dosificación: 4 kg/m²
P-2 BC-50 Fibra: Sintética Barchip R50 Dosificación: 4 kg/m²
P-3 BC-50 Fibra: Sintética Barchip R50 Dosificación: 4 Kg/m²
PROCEDENCIA: COMPAÑÍA MINERA HUARON S.A. – HUAYLLAY – PASCO – PASCO
FECHA DE LANZADO: 11 de Julio de 2018
FECHA DE ENSAYO: 8 de agosto de 2018
CONDICIONES MUESTRA: Curado en cuarto de curado desde su llegada al Laboratorio hasta un el día del ensayo.
COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T=17°C y 85% H.R., aprox.)

Identific. del Espécimen	Tipo de Espèc.	Lado (mm)						Espesor "t" (mm) medido en								"t" calculados (mm)		Fisura Radial (Nº)	Validez del Resultado	Observaciones Antes, durante y después del Ensayo	
		l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	Prom	Adm. Max. Min.	Perímetro				Interior (sup. rotura)							t c.l.		Prom.
								t1	t2	t3	t4	t1-1	t1-2	t1-3	t1-4						
								-	-	-	-	t2-1	t2-2	t2-3	t2-4	t3-1	t3-2				
P-1	Panel de Shotcrete Cuadrado	603	604	502	604	603	610	105	106	105	105	105	105	105	110	108.0	110	5	Ok	-	
							590	-	-	-	-	108	109	110					108		ok
							-	-	-	-	-	109	109	111					110		-
P-2	Panel de Shotcrete Cuadrado	601	601	604	604	603	610	104	106	108	109	104	106	109	109	111	108.2	110	5	Ok	-
							590	-	-	-	-	106	109	110	108					ok	
							-	-	-	-	-	106	111	110	108					-	
P-3	Panel de Shotcrete Cuadrado	600	601	599	598	600	610	107	106	105	106	102	105	109	106	107	107.5	110	5	Ok	-
							590	-	-	-	-	106	106	111	107					ok	
							-	-	-	-	-	107	106	114	112					-	

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)

Los especímenes cumplen con este requisito.

Según el acápite 10.4 de la norma, se debe controlar el desplazamiento central a una velocidad de 1.5mm por minutos hasta alcanzar el valor de 25mm.

Fuente: Resultados de los Ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas PUCP.

Tabla N° 16 : Resultados de Ensayos Flexión en Losas Cuadradas de Shotcrete Con Fibras.
(FLEXION CON CARGA CENTRADA EN LOSAS CUADRADAS DE SHOTCRETE CON FIBRAS, APOYADA EN SUS CUATRO EXTREMOS)

NORMA DE ENSAYO: EFNARC 1996 (Acápite 10.4)
SOLICITANTE: BARCHIP PERU SAC
MUESTRAS : 03 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaborada por el cliente
PROCEDENCIA: COMPAÑÍA MINERA HUARON S.A. – HUAYLLAY – PASCO – PASCO
FECHA DE LANZADO: 11 de Julio de 2018
FECHA DE ENSAYO: 8 de agosto de 2018
CONDICIONES MUESTRA: Curado en cuarto de curado desde su llegada al Laboratorio hasta un el día del ensayo.
COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T=19°C y 69% H.R., aprox.)

Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados								
		Fisuración	Máxima o Última	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10m	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-Final Ensayo*
P-1	Carga (Kn)									
	Deflexión (mm)	31.470	48.647	21.284	25.869	35.955	30.349	26.312	21.284	21.284
	Energ. Abs. (J)	0.979	4.369	25.001	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.001
P-2	Carga (Kn)									
	Deflexión (mm)	12.733	122.315	749.928	145.806	320.544	488.892	628.304	749.915	749.928
	Energ. Abs. (J)	39.718	55.360	23.301	30.619	37.980	34.279	28.318	23.304	23.301
P-3	Carga (Kn)									
	Deflexión (mm)	0.993	4.524	25.003	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.003
	Energ. Abs. (J)	18.937	140.962	814.010	160.896	345.887	528.813	684.344	813.944	814.010
P-3	Carga (Kn)									
	Deflexión (mm)	55.590	55.690	31.305	43.464	37.570	38.112	33.787	31.311	31.305
	Energ. Abs. (J)	1.125	1.125	25.003	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.003
		24.072	24.072	899.949	172.997	365.464	554.632	735.011	899.853	899.949

(*): 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 (tipo mecano) con una Máquina estructural de 500KN de Capacidad y+-200mm 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.

Fuente: Resultados de los Ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas PUCP.

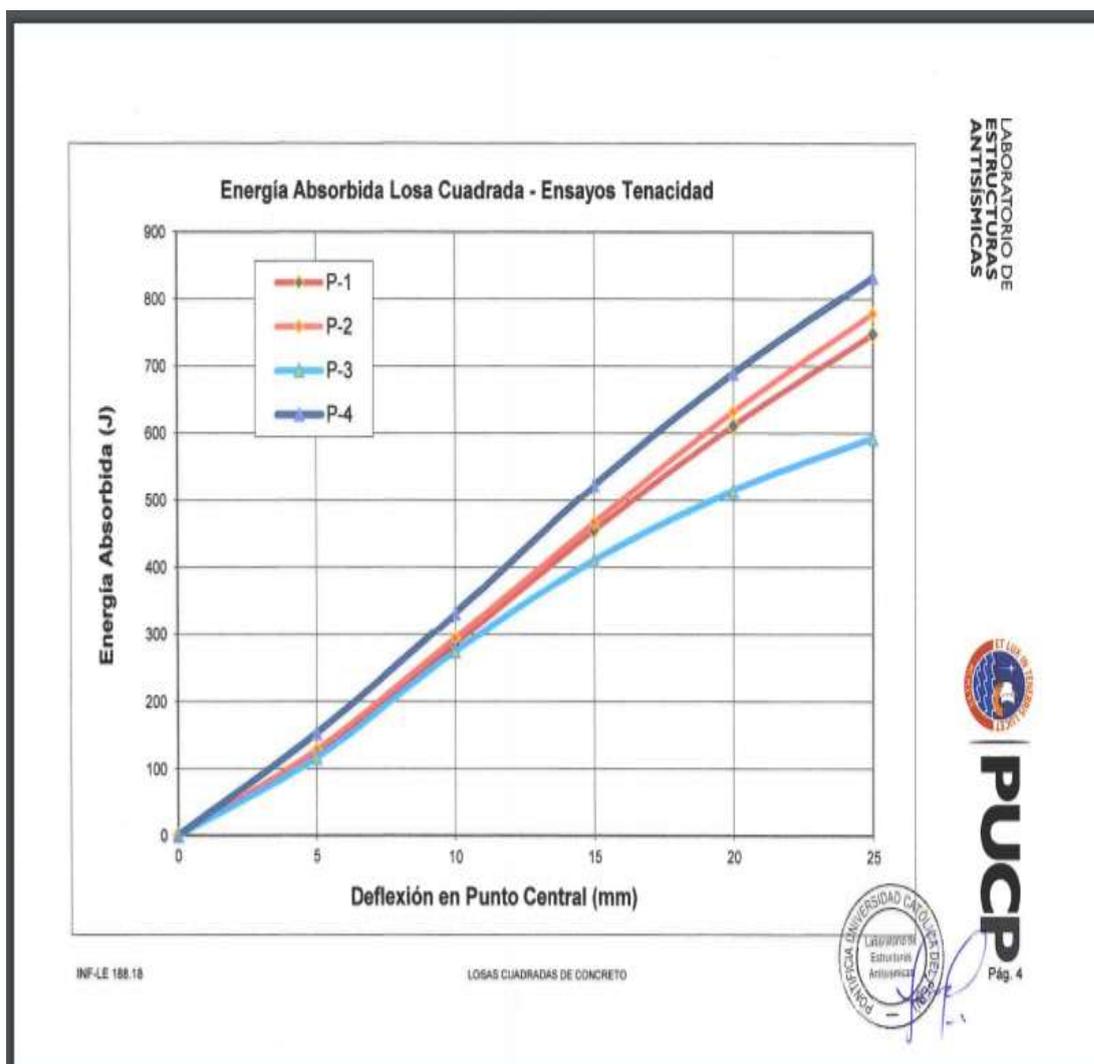


Figura N° 29: Resultados de Ensayos

Fuente: Resultados de los Ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Rocas PUCP.

4.2. ANALISIS DE DATOS

Para todos los casos se mantiene la misma dosificación ya que la fibra no altera las constantes proporciones de cemento, aditivos, agregado y agua. La única variación realizada será la fibra sintética que se emplearan 4 kilos por metro cubico, que en la actualidad se usa 20 kilos de fibra metálica.

Los resultados obtenidos en las baterías de ensayos a la Tenacidad De Flexotracción (energía de absorción), que se realizaron el 2018, guardan coherencia entre sí y muestran claramente que la fibra Sintética en una dosis de 5 a 4kg. por metro cubico de shotcrete brindan un desempeño y se mantiene fuertemente dentro de los parámetros solicitados por Huarón como mínimo de 700 Joules, superando 20% los resultados obtenidos de la fibra metálica Drámix 65/35.

4.2.1. Condición de diseño:

Para todos los casos se mantiene la misma dosificación ya que la fibra no altera las constantes proporciones de cemento, aditivos, agregado y agua. La única variación realizada será la fibra sintética que se emplearan 4 kilos por metro cubico, que en la actualidad se usa 20 kilos de fibra metálica.

Tabla N° 17 : Diseño de mezcla Fibra sintética/Fibra Metálica

MATERIALES	UNIDAD	FIBRA SINTETICA	FIBRA METALICA DRAMIX 65/35
Cemento Tipo I	Kg/m3	400.00	400.00
Arena	Kg/m3	1,608.00	1,608.00
Agua	Lt/m3	170.00	170.00
Neoplast 8500	Kg/m3	3.20	3.20
Euco SureShot AF	Lt/m3	35.60	35.60
Fibra	Kg/m3	4.00	20.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Condición de lanzado:

Se realizaron pruebas a todas las muestras que se efectuarán bajo las mismas condiciones de operación: Una misma presión de lanzado (4.0 bar), un mismo equipo de lanzado, un único operador de lanzado y de manera consecutiva.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis se han empleado las siguientes premisas:

- Precios unitarios de la Fibra Metálica del sistema de logística Huaron.
- Precios de Proveedor Referencial solicitada a la empresa Elasto Plastic Concrete Perú SAC.
- Volumen de Shotcrete 2100 m³/mes

Tabla N° 18: Comparación de Reducción de Costos

PARAMETROS	UNIDAD	FIBRA SINTETICA	FIBRA METALICA DRAMIX 65/35
Precio unitario	US\$/Kg	5.15	1.295
Dosis	Kg/m ³	4.00	20.00
Costo Unitario	US\$/m ³	20.60	25.90
Volumen de Shot.	m ³ /mes	2,100.00	2,100.00
Costo Total	US\$	43,260.00	54,390.00
Ahorro	US\$/mes		11,130.00

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene un ahorro estimado de 11,130.00 US\$/mes , este ahorro estimado se puede aumentar haciendo un control de los materiales que se requieren para la elaboración del shotcrete, haciendo un seguimiento del diseño del shotcrete (respetando la relación agua/cemento), calibrando el robot antes del inicio del lanzado. Más adelante veremos como podemos aumentar el ahorro de costos en sostenimiento haciendo un control de los cubos de shotcrete utilizados en las labores.

4.4. FACTOR DE SEGURIDAD

La unidad minera exige tener un espesor mínimo de 2" para controlar las fuerzas tensionales y compresionales a la cual está sujeta la roca. A través de los siguientes requerimientos:

- **Requerimientos Mecánicos**

Debe poseer resistencia a temprana edad, suficiente para contrarrestar las tensiones o relajaciones particularmente en el último tramo excavado.

Obtener resistencias suficientes para equilibrar los esfuerzos de corte o cizalla y flexo-tracción, para de esa manera soportar eficazmente a las sollicitaciones del "empuje de roca".

- **Requerimientos físicos:**

Protección contra la meteorización, la erosión o deterioro de la superficie rocosa del macizo rocoso atravesado. Impedir el ingreso del aire y humedad en las aberturas de la roca.

Impedir que la variación de temperatura circundante a la excavación adquiera alto rango.

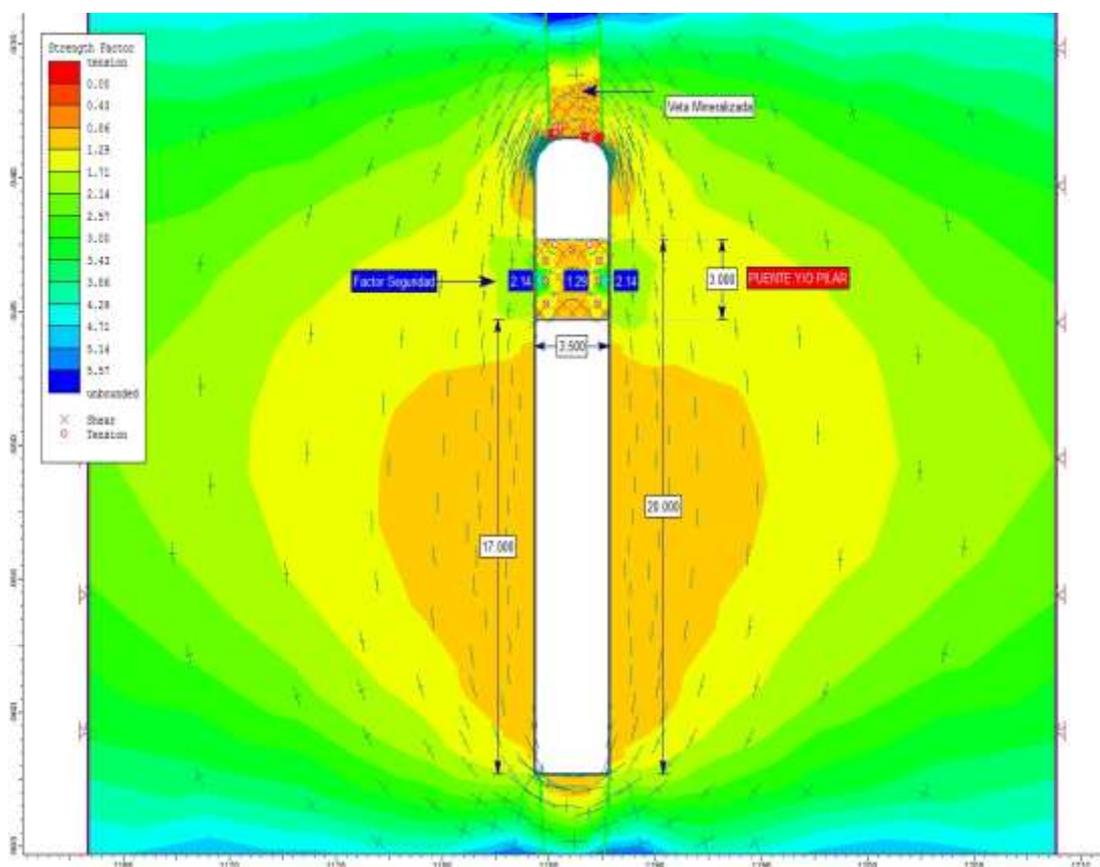
- **Requerimientos hidráulicos:**

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

A continuación, se detalla los resultados obtenidos por los tres tipos de calidad de roca evidenciados en unidad minera Huaron como muestras representativas.

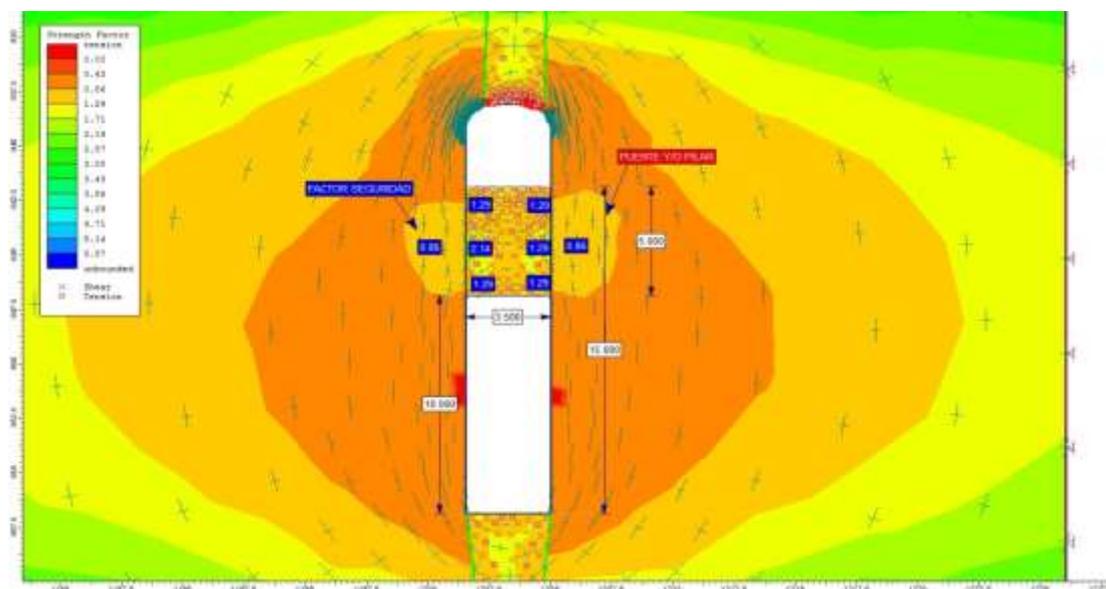
La correlación de los métodos empíricos a través del uso de herramientas de cálculo numérico se presenta a continuación donde el resultado del Factor Seguridad es como se indica en las figuras diseñadas para labores en explotación, la profundidad de análisis fue de 400m, con tajos de abertura expuesta mayor a 10m.

Figura 30: Factor Seguridad S/R Roca Regular (RMR 41-60)



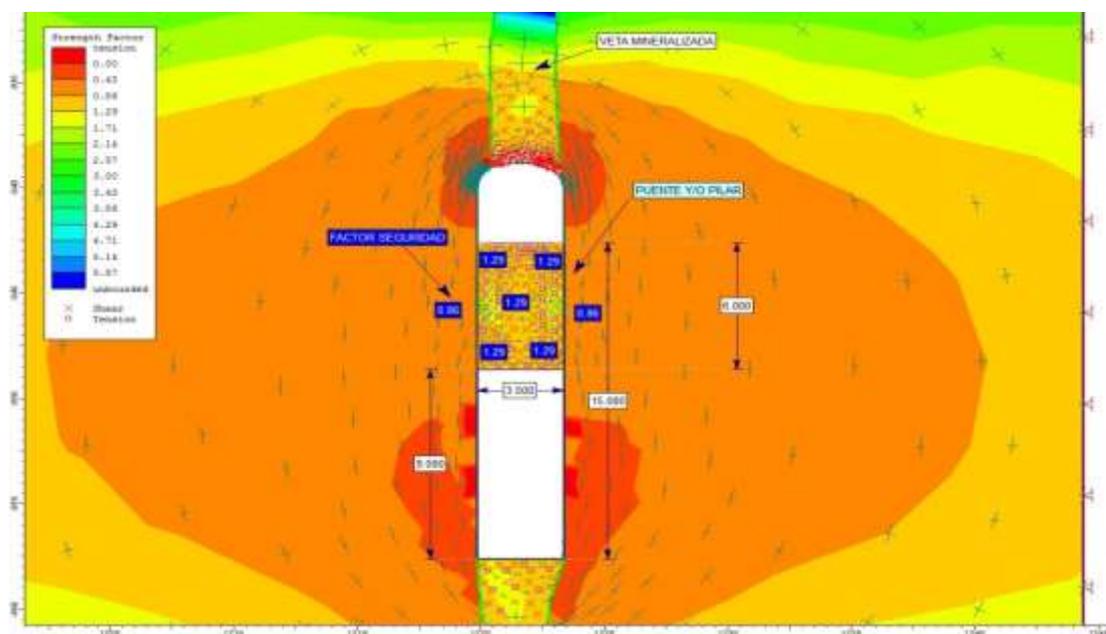
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 31: Factor Seguridad S/R Roca Mala (RMR 31-40)



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 32: Factor Seguridad S/R Roca Muy Mala (RMR 15-30)



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 19: Dimensionamiento y Factor Seguridad según su RMR

RMR	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	MET. MINADO	DIMENSIÓN	F. SEGURIDAD
0-20	MUY MALA	MECANIZADO	6.0 m	1.3
21-40	MALA	MECANIZADO	5.0 m	1.3
41-60	REGULAR	MECANIZADO	3.0 m	1.3

Fuente: Elaboración Propia.

Según los resultados realizados en la Unidad Minera Huaron se utiliza un factor de seguridad de 20% es decir, sin variar nuestro diseño de shotcrete utilizamos nuestro factor de seguridad 1.2 para asegurar una mejor estabilidad y seguridad en las labores en interior mina.

4.4.1. Especificaciones Tecnicas

El soporte en este método está hecho con una capa de concreto lanzado de un espesor considerable, capaz de contribuir a la estabilidad total de la excavación. El espesor mínimo del soporte está definido por las condiciones de construcción, con el objetivo de garantizar, como mínimo, el espesor teórico de diseño. Las dimensiones del revestimiento también forman parte de la función del tamaño de la excavación y el avance del proceso constructivo. El objetivo principal del revestimiento, con carácter estructural, es el de garantizar la estabilidad general de la excavación completa. El papel del soporte inicial en concreto lanzado es el de limitar la convergencia de la excavación, como también el de evitar una relajación excesiva del suelo, el cual podría reducir su resistencia y por lo tanto limitar su contribución a la estabilidad de la excavación.

Para obtener un concreto durable y asegurar que las propiedades del material satisfagan los requerimientos, el proceso de aplicación tiene que cumplir los siguientes criterios:

- El concreto a utilizar sea de alto desempeño con un mínimo de variaciones en su calidad.
- Durante el proceso, debe hacerse un control de la relación agua/cemento, con una relación predefinida de 0.4 a 0.5, para asegurar una reducción en agrietamiento, brindar una resistencia alta a la compresión y reducir la permeabilidad significativamente. –
- Asegurar, en la boquilla, una mezcla homogénea que no presente problemas de pulsación o bloqueos de la bomba.
- El rebote de los agregados debe ser inferior al 10%, asegurando la construcción del revestimiento con un material bien gradado.
- El rebote de la fibra de acero deberá ser inferior al 20%, para así ofrecer un efectivo control frente a las fisuras y buen desempeño estructural.
- La unidad de dosificación automática y exacta del acelerante debe funcionar de manera sincronizada con la bomba de concreto.
- Capas de hasta 150 milímetros de espesor deben ser lanzadas en una sola pasada, lo cual redundará en estructuras más homogéneas.
- Controlar los niveles de polvo para que el lanzador tenga buena visibilidad y controle mejor el lanzado.
- Durante el lanzado es necesario tener un suministro extra de concreto como contingencia.

4.4.2. Indicadores de Seguridad (Frecuencia, severidad y accidentabilidad del año 2019)

Tabla N° 20: Indices de Seguridad



PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A.
Gerencia del Programa de Seguridad y Salud Ocupacional

ESTADÍSTICA DE ACCIDENTES PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A. + EMPRESAS CONTRATISTAS MINEROS Y DE ACTIVIDADES CONEXAS													
AÑO 2019													
	2019												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2019
Acc. Leves	1	2	0	5	3	1	2	6	1	7	4	2	34
Acc. Incap.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	1	5
Acc. Mortal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1	2	0	5	3	2	2	6	1	10	4	3	39
HHT. Mensual	319,404	315,878	303,930	299,008	310,223	307,079	324,669	310,172	318,292	331,454	328,658	325,288	3,794,054
Días perdidos	0	0	0	0	0	28	31	31	30	75	107	89	391
Índice Mensual													
Frec. (1.50)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.26	0.00	0.00	0.00	9.05	0.00	3.07	1.32
Sev. (600)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.18	95.48	99.94	94.25	226.28	325.57	273.60	103.06
Acc. (0.90)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	2.05	0.00	0.84	0.14
lfar. (8.80)	3.13	6.33	0.00	16.72	9.67	6.51	6.16	19.34	3.14	30.17	12.17	9.22	10.28
Incidentes	1	1	1	1	0	3	1	3	1	1	2	1	16
Daños a la Propiedad	2	1	3	2	1	5	3	4	5	2	1	3	32
Actos y Condiciones	2,746	2,719	2,770	2,697	2,747	2,692	2,558	2,500	2,720	2,518	2,613	2,404	31,684
N° de Personal	1,630	1,603	1,567	1,480	1,491	1,496	1,506	1,553	1,598	1,604	1,594	1,594	1,560

Fuente: Área de Seguridad y Salud Ocupacional Unidad Minera Huaron.

En esta tabla podemos mostrar los indicadores de seguridad detallado mes a mes y el total del año 2019 donde se presentó 34 eventos leves, 5 eventos incapacitantes leves y no se presentó ningún evento fatal, nuestro estudio nos ayudó a incrementar la seguridad en interior mina ya que como bien apreciamos en otras unidades mineras la seguridad es un tema complicado, sin embargo en la unidad minera Huaron no se ha presentado ningún evento fatal desde el año 2014.

4.5. OTRA FORMA DE REDUCIR COSTOS.

Por parte de la industria minera se logra utilizar métodos empíricos apoyados de acuerdo a la clasificación y/o clasificación de macizo rocoso para su diseño del sistema, utilizando áreas y sistemas específicos para así proporcionar un comportamiento respecto a estabilidad y el tipo de apoyo apropiado.

Tabla N° 21: Longitud de avance considerando una área teórica con sobrerotura de 15%

LABOR	LONGITUD DE AVANCE	LONGITUD + RESANE	A	H	A. SOBREROTURA (15%)	H. SOBREROTURA (15%)
SN 372W	14.20	16.91	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 374	4.10	4.90	3.5	2.8	4.0	3.2
BP 639E	8.10	9.58	4	3.2	4.6	3.7
CAM 640	4.80	5.69	4	3	4.6	3.5
VE 640-8A	8.60	10.32	3.5	2.8	4.0	3.2
RA 978	13.10	15.36	4	4.2	4.6	4.8
SN 978E	9.90	11.88	3.5	3.8	4.0	4.4
SN 250CE	22.40	26.88	3.5	3.8	4.0	4.4
RA 251	3.00	3.60	4	4.2	4.6	4.8
BP 824C	14.50	16.92	4	3.2	4.6	3.7
VE 371-1	8.50	9.99	3.5	2.8	4.0	3.2
VE 372-2	2.50	2.98	3.5	2.8	4.0	3.2
RA 475	7.10	8.28	4	3.2	4.6	3.7
SN 124CW	13.50	15.81	3.5	2.8	4.0	3.2
RA 824E	3.00	3.51	4	3.2	4.6	3.7
SN 871E	6.00	7.12	3.5	2.8	4.0	3.2
VE 871S	7.60	9.08	3.5	2.8	4.0	3.2
RA 530	8.00	9.35	4	3.2	4.6	3.7
RA 768S	7.50	8.75	4	3.2	4.6	3.7
SN 502W	3.00	3.51	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 902ES	9.50	11.29	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 770BN	11.00	13.42	3.5	2.8	4.0	3.2
VE 500	9.30	11.16	3.5	2.8	4.0	3.2
BP 996	5.10	6.03	4	3.2	4.6	3.7
SN 142DW	8.20	9.66	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 828DN	6.00	7.12	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 314E-1N	7.50	8.86	3.5	2.8	4.0	3.2
CAM 16	2.50	2.98	4	3	4.6	3.5
VE 16E	5.20	6.18	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 10BW	16.40	19.33	3.5	2.8	4.0	3.2
SN 10DE	8.20	9.67	3.5	2.8	4.0	3.2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo demostrado en la Tabla N°21 tenemos los datos planteados para una correcta determinación de la cubicación, tomando en cuenta el avance promedio, una longitud de resane 0.5m, el dato del área teórica (ancho y altura) según el tipo

de labor, el lanzamiento de shotcrete se hace a 1m de los hastiales, es decir a la altura teórica se le disminuye en 1m y por último un factor de cubicación que va de acuerdo al ancho, altura y al porcentaje de rebote en mina. A ello basado una sobrerotura producto de la perforación y voladura de 15%.

Tabla N° 22: Cubicación de labores en base a la sobrerotura 15%

FACTOR TABLA (2")	CUBICACIÓN	CUBICACIÓN TOTAL	CUBICACIÓN REDON SOBROTURA (15%)	CUBICACIÓN TOTAL
0.72	2.25	12.18	2.00	12.00
0.72	2.20	3.53	2.00	4.00
0.82	2.66	7.85	3.00	8.00
0.79	2.53	4.49	3.00	4.50
0.72	2.16	7.43	2.00	7.50
0.97	3.30	14.90	3.50	15.00
0.88	2.64	10.45	3.00	10.50
0.88	2.64	23.65	3.00	24.00
0.97	2.91	3.49	3.00	3.50
0.82	2.87	13.87	3.00	14.00
0.72	2.42	7.19	2.50	7.00
0.72	2.22	2.15	2.00	2.00
0.82	2.87	6.79	3.00	7.00
0.72	2.46	11.38	2.50	11.50
0.82	2.83	2.88	3.00	3.00
0.72	2.29	5.13	2.50	5.00
0.72	2.21	6.54	2.00	7.00
0.82	2.85	7.66	3.00	8.00
0.82	2.87	7.18	3.00	7.00
0.72	2.50	2.52	2.50	3.00
0.72	2.27	8.13	2.50	8.00
0.72	1.99	9.66	2.00	10.00
0.72	2.16	8.04	2.00	8.00
0.82	2.66	4.95	3.00	5.00
0.72	2.38	6.96	2.50	7.00
0.72	2.28	5.13	2.50	5.00
0.72	2.35	6.38	2.50	6.50
0.79	2.43	2.36	2.50	2.50
0.72	2.26	4.45	2.50	4.50
0.72	2.38	13.92	2.50	14.00
0.72	2.37	6.96	2.50	7.00

Fuente: Elaboración propia.

En la primera columna podemos apreciar el factor de cubicación según la tabla adjuntada en la Tabla N°30 que va ser multiplicado por el área obteniendo el resultado de la cantidad de cubos de shotcrete con una sobrerotura planeada de 15%.

En la primera columna de color azul podemos apreciar el resultado de la cantidad de shotcrete por avance promedio

En la segunda columna de color azul podemos apreciar el resultado de la cantidad de shotcrete planeado con una sobrerotura de 15% utilizado en el avance total que después será comparado con el reporte de la contratista.

Tabla N° 23: Longitud de avance considerando una área teórica con sobrerotura de 20%

LABOR	LONGITUD DE AVANCE	LONGITUD + RESANE	A	H	A. SOBREROTURA (20%)	H. SOBREROTURA (20%)
SN 372W	14.20	16.91	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 374	4.10	4.90	3.5	2.8	4.2	3.4
BP 639E	8.10	9.58	4	3.2	4.8	3.8
CAM 640	4.80	5.69	4	3	4.8	3.6
VE 640-8A	8.60	10.32	3.5	2.8	4.2	3.4
RA 978	13.10	15.36	4	4.2	4.8	5.0
SN 978E	9.90	11.88	3.5	3.8	4.2	4.6
SN 250CE	22.40	26.88	3.5	3.8	4.2	4.6
RA 251	3.00	3.60	4	4.2	4.8	5.0
BP 824C	14.50	16.92	4	3.2	4.8	3.8
VE 371-1	8.50	9.99	3.5	2.8	4.2	3.4
VE 372-2	2.50	2.98	3.5	2.8	4.2	3.4
RA 475	7.10	8.28	4	3.2	4.8	3.8
SN 124CW	13.50	15.81	3.5	2.8	4.2	3.4
RA 824E	3.00	3.51	4	3.2	4.8	3.8
SN 871E	6.00	7.12	3.5	2.8	4.2	3.4
VE 871S	7.60	9.08	3.5	2.8	4.2	3.4
RA 530	8.00	9.35	4	3.2	4.8	3.8
RA 768S	7.50	8.75	4	3.2	4.8	3.8
SN 502W	3.00	3.51	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 902ES	9.50	11.29	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 770BN	11.00	13.42	3.5	2.8	4.2	3.4
VE 500	9.30	11.16	3.5	2.8	4.2	3.4
BP 996	5.10	6.03	4	3.2	4.8	3.8
SN 142DW	8.20	9.66	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 828DN	6.00	7.12	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 314E-1N	7.50	8.86	3.5	2.8	4.2	3.4
CAM 16	2.50	2.98	4	3	4.8	3.6
VE 16E	5.20	6.18	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 10BW	16.40	19.33	3.5	2.8	4.2	3.4
SN 10DE	8.20	9.67	3.5	2.8	4.2	3.4

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo demostrado en la Tabla N°23 tenemos los datos planteados para una correcta determinación de la cubicación, tomando en cuenta el avance promedio, una longitud de resane 0.5m, el dato del área teórica (ancho y altura) según el tipo de labor, el lanzamiento de shotcrete se hace a 1m de los hastiales, es decir a la altura teórica se le disminuye en 1m y por último un factor de cubicación que va de acuerdo al ancho, altura y al porcentaje de rebote en mina. A ello basado una sobrerotura producto de la perforación y voladura de 20%.

Tabla N° 24: Cubicación de labores en base a la sobrerotura 20%

FACTOR TABLA (2")	CUBICACIÓN	CUBICACIÓN TOTAL	CUBICACIÓN REDON SOBRORETURA (20%)	CUBICACIÓN TOTAL (20%)
0.75	2.34	12.68	2.50	13.00
0.75	2.30	3.68	2.50	4.00
0.85	2.75	8.14	3.00	8.00
0.82	2.62	4.66	3.00	5.00
0.75	2.25	7.74	2.50	8.00
1.00	3.40	15.36	3.50	15.50
0.92	2.76	10.93	3.00	11.00
0.92	2.76	24.73	3.00	25.00
1.00	3.00	3.60	3.00	4.00
0.85	2.98	14.38	3.00	14.50
0.75	2.52	7.49	3.00	7.50
0.75	2.31	2.24	2.50	2.00
0.85	2.98	7.04	3.00	7.00
0.75	2.57	11.86	3.00	12.00
0.85	2.93	2.98	3.00	3.00
0.75	2.39	5.34	2.50	5.50
0.75	2.30	6.81	2.50	7.00
0.85	2.95	7.94	3.00	8.00
0.85	2.98	7.44	3.00	7.50
0.75	2.60	2.63	3.00	3.00
0.75	2.36	8.47	2.50	8.50
0.75	2.08	10.07	2.00	10.00
0.75	2.25	8.37	2.50	8.50
0.85	2.75	5.13	3.00	5.00
0.75	2.48	7.25	2.50	7.00
0.75	2.38	5.34	2.50	5.50
0.75	2.45	6.64	2.50	7.00
0.82	2.53	2.45	3.00	2.50
0.75	2.36	4.64	2.50	5.00
0.75	2.48	14.50	2.50	14.50
0.75	2.47	7.25	2.50	7.50

Fuente: Elaboración propia.

En la primera columna podemos apreciar el factor de cubicación según la tabla adjuntada en la Tabla N°30 que va ser multiplicado por el área obteniendo el resultado de la cantidad de cubos de shotcrete con una sobrerotura planeada de 20%.

En la primera columna de color azul podemos apreciar el resultado de la cantidad de shotcrete por avance promedio

En la segunda columna de color azul podemos apreciar el resultado de la cantidad de shotcrete planeado con una sobrerotura de 20% utilizado en el avance total que después será comparado con el reporte de la contratista.

Tabla N° 25: Longitud de avance considerando una área teórica con sobrerotura de 25%

LABOR	LONGITUD DE AVANCE	LONGITUD + RESANE	A	H	A. SOBREROTURA (25%)	H. SOBREROTURA (25%)
SN 372W	14.20	16.91	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 374	4.10	4.90	3.5	2.8	4.4	3.5
BP 639E	8.10	9.58	4	3.2	5.0	4.0
CAM 640	4.80	5.69	4	3	5.0	3.8
VE 640-8A	8.60	10.32	3.5	2.8	4.4	3.5
RA 978	13.10	15.36	4	4.2	5.0	5.3
SN 978E	9.90	11.88	3.5	3.8	4.4	4.8
SN 250CE	22.40	26.88	3.5	3.8	4.4	4.8
RA 251	3.00	3.60	4	4.2	5.0	5.3
BP 824C	14.50	16.92	4	3.2	5.0	4.0
VE 371-1	8.50	9.99	3.5	2.8	4.4	3.5
VE 372-2	2.50	2.98	3.5	2.8	4.4	3.5
RA 475	7.10	8.28	4	3.2	5.0	4.0
SN 124CW	13.50	15.81	3.5	2.8	4.4	3.5
RA 824E	3.00	3.51	4	3.2	5.0	4.0
SN 871E	6.00	7.12	3.5	2.8	4.4	3.5
VE 871S	7.60	9.08	3.5	2.8	4.4	3.5
RA 530	8.00	9.35	4	3.2	5.0	4.0
RA 768S	7.50	8.75	4	3.2	5.0	4.0
SN 502W	3.00	3.51	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 902ES	9.50	11.29	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 770BN	11.00	13.42	3.5	2.8	4.4	3.5
VE 500	9.30	11.16	3.5	2.8	4.4	3.5
BP 996	5.10	6.03	4	3.2	5.0	4.0
SN 142DW	8.20	9.66	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 828DN	6.00	7.12	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 314E-1N	7.50	8.86	3.5	2.8	4.4	3.5
CAM 16	2.50	2.98	4	3	5.0	3.8
VE 16E	5.20	6.18	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 10BW	16.40	19.33	3.5	2.8	4.4	3.5
SN 10DE	8.20	9.67	3.5	2.8	4.4	3.5

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo demostrado en la Tabla N°25 tenemos los datos planteados para una correcta determinación de la cubicación, tomando en cuenta el avance promedio, una longitud de resane 0.5m, el dato del área teórica (ancho y altura) según el tipo de labor, el lanzamiento de shotcrete se hace a 1m de los hastiales, es decir a la altura teórica se le disminuye en 1m y por último un factor de cubicación que va de acuerdo al ancho, altura y al porcentaje de rebote en mina. A ello basado una sobrerotura producto de la perforación y voladura de 25%.

Tabla N° 26: Cubicación de labores en base a la sobrerotura 25%

FACTOR TABLA (2")	CUBICACIÓN	CUBICACIÓN TOTAL	CUBICACIÓN REDON SOBROTURA (25%)	CUBICACIÓN TOTAL (25%)
0.78	2.43	13.19	2.50	13.00
0.78	2.39	3.82	2.00	4.00
0.89	2.88	8.52	3.00	9.00
0.86	2.75	4.89	3.00	5.00
0.78	2.34	8.05	2.00	8.00
1.01	3.43	15.51	3.50	15.50
0.96	2.88	11.40	3.00	11.50
0.96	2.88	25.80	3.00	26.00
1.01	3.03	3.64	3.00	4.00
0.89	3.12	15.06	3.00	15.00
0.78	2.62	7.79	3.00	8.00
0.78	2.40	2.33	2.50	2.50
0.89	3.12	7.37	3.00	7.50
0.78	2.67	12.33	3.00	12.50
0.89	3.07	3.12	3.00	3.00
0.78	2.48	5.55	2.50	6.00
0.78	2.39	7.08	2.50	7.00
0.89	3.09	8.32	3.00	8.50
0.89	3.12	7.79	3.00	8.00
0.78	2.71	2.73	3.00	3.00
0.78	2.46	8.81	2.50	9.00
0.78	2.16	10.47	2.00	10.50
0.78	2.34	8.70	2.00	9.00
0.89	2.88	5.37	3.00	5.50
0.78	2.57	7.54	3.00	8.00
0.78	2.47	5.56	2.50	6.00
0.78	2.54	6.91	3.00	7.00
0.86	2.65	2.57	3.00	3.00
0.78	2.45	4.82	2.50	5.00
0.78	2.57	15.08	3.00	15.00
0.78	2.57	7.54	3.00	8.00

Fuente: Elaboración propia.

En la primera columna podemos apreciar el factor de cubicación según la tabla adjuntada en la Tabla N°30 que va ser multiplicado por el área obteniendo el resultado de la cantidad de cubos de shotcrete con una sobrerotura planeada de 25%.

En la primera columna de color azul podemos apreciar el resultado de la cantidad de shotcrete por avance promedio

En la segunda columna de color azul podemos apreciar el resultado de la cantidad de shotcrete planeado con una sobrerotura de 15% utilizado en el avance total que después será comparado con el reporte de la contratista.

Tabla N° 27: Resumen de resultados por cubicación

LABOR	CUBICACIÓN ROBOCON	CUBICACIÓN TOTAL (15%)	CUBICACIÓN TOTAL (20%)	CUBICACIÓN TOTAL (25%)
SN 372W	16.00	12.00	13.00	13.00
SN 374	6.50	4.00	4.00	4.00
SN 978E	17.50	10.50	11.00	11.50
SN 250CE	29.00	24.00	25.00	26.00
VE 372-2	3.00	2.00	2.00	2.50
RA 475	8.50	7.00	7.00	7.50
RA 824E	4.50	3.00	3.00	3.00
SN 871E	6.50	5.00	5.50	6.00
VE 871S	12.00	7.00	7.00	7.00
RA 768S	9.50	7.00	7.50	8.00
SN 502W	12.50	3.00	3.00	3.00
SN 770BN	16.00	10.00	10.00	10.50
BP 996	10.50	5.00	5.00	5.50
SN 142DW	15.00	7.00	7.00	8.00
VE 16E	6.50	4.50	5.00	5.00
SN 10BW	16.00	14.00	14.50	15.00
SN 10DE	12.00	7.00	7.50	8.00
	201.50	132.00	137.00	143.50

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°27 tenemos un cuadro comparativo de los resultados de cubicación obtenidos teóricamente con una sobrerotura de 15%, 20% y 25%. Hacemos una comparación de resultados con los datos reportados por la empresa contratista.

Es notable la diferencia de valores, es decir haciendo un supuesto donde todas las labores tienen una sobrerotura de 20% vs los datos reportados por la empresa contratista la diferencia sigue siendo notoria.

Hacer el control de la cubicación de las labores es una forma adicional de reducir costos , este ahorro se logrará visualizar a fines de cierre de los periodos.

Tabla N° 28: Diferencia de cubos shotcrete con la empresa contratista

CUBICACIÓN ROBOCON	CUBICACIÓN TOTAL (m3) (15%)	CUBICACIÓN TOTAL (m3) (20%)	CUBICACIÓN TOTAL (m3) (25%)
201.50	132.00	137.00	143.50
Diferencia	69.50	64.50	58.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 29: Diferencia en US\$ de cubos shotcrete con la empresa contratista

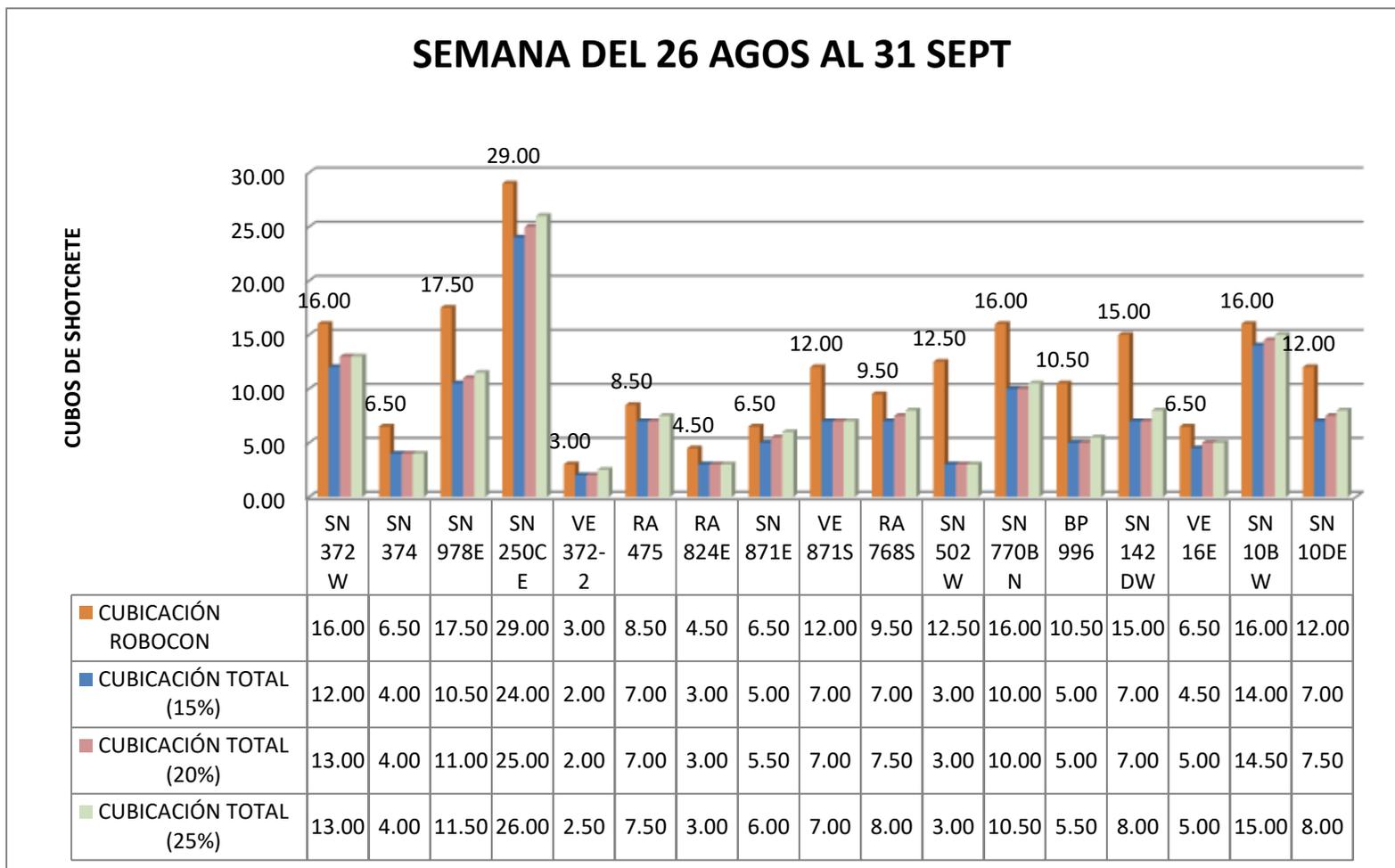
PRECIO 1m3 SHOTCRETE US\$/m3	CUBICACIÓN TOTAL (US\$) (15%)	CUBICACIÓN TOTAL (US\$) (20%)	CUBICACIÓN TOTAL (US\$) (25%)
120	8340	7740	6960

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis se realizó en base a lo calculado anteriormente, en la Unidad Minera Huaron se maneja un P.U. de 1m3 de Shotcrete al precio de 120 US\$, es notable la diferencia en costo

- Para una sobrerotura estimada de 15% en todas las labores en interior mina el exceso en costos resultó en **8340 US\$**.
- Para una sobrerotura estimada de 20% en todas las labores en interior mina el exceso en costos resultó en **7740 US\$**.
- Para una sobrerotura estimada de 25% en todas las labores en interior mina el exceso en costos resultó en **6960 US\$**.

Figura N° 33: Comparación de cubos de Shotcrete Contratista - Compañía.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 30: Factor de Cubicación de Shotcrete de acuerdo al espesor

FACTOR SHOTCRETE ESPESOR 2"																																									
		F.SEG.(%)					20					REB.(%)					8.7					RUG.(%)					20					RN´					12.6				
		ALTO																																							
ANCHO		2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9													
2.0		0.45	0.47	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81													
2.3		0.47	0.49	0.50	0.51	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83													
2.6		0.49	0.51	0.52	0.53	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85													
2.9		0.51	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87													
3.2		0.53	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89													
3.5		0.55	0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91													
3.6		0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92													
3.7		0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92													
3.8		0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93													
4.1		0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95													
4.2		0.60	0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96													
4.3		0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96													
4.4		0.62	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97													
4.5		0.62	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98													
4.6		0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98													
4.7		0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99													
4.8		0.64	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00													
4.9		0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01													
5.0		0.66	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01													
5.1		0.66	0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02													
5.2		0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03													
5.3		0.68	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03													
5.4		0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04													
5.5		0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.05													
5.6		0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05													
5.9		0.72	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07													
6.0		0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.07	1.08													
6.2		0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.07	1.08	1.09													
6.5		0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11													
6.8		0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.07	1.08	1.09	1.11	1.12	1.14													
7.1		0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.13	1.14	1.16													
7.4		0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.07	1.08	1.09	1.11	1.12	1.14	1.15	1.16	1.18													
7.7		0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.13	1.14	1.16	1.17	1.18	1.20													
8.0		0.86	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.07	1.08	1.09	1.11	1.12	1.14	1.15	1.16	1.18	1.19	1.20	1.22													

MULTIPLICAR POR LA LONGITUD PROMEDIO MEDIDA EN CAMPO

Fuente: Manual Shotcrete Solutions Robocon.

CONCLUSIONES

- Según el análisis económico haciendo uso del Barchip R50 se obtiene un ahorro de 11,130.00 US\$/mes en el costo de sostenimiento en la unidad minera.
- Según el análisis de costos considerando una sobrerotura de 15% en todas las labores el exceso de costos es 8,340 US\$, para una sobrerotura de 20% el exceso de costos es 7,740 US\$ y para una sobrerotura de 25% el exceso de costos sería 6,960 US\$, por lo tanto sería un ahorro en costos tener un control de la cubicación de los cubos shotcrete.
- Los análisis de ensayo a la tenacidad de flexotracción (energía de absorción), obtenidos con la fibra sintética Barchip R50, alcanzan valores promedio de 750 Joules con una dosificación de 4 Kg/m³, cuando lo requerido en la unidad es de 600 Joules, superando 20% los resultados obtenidos de la fibra metálica Drámix 65/35.
- La desventaja que tiene la fibra metálica con respecto a la fibra sintética (Barchip R50) es que se acumula en las pozas de bombeo y si no tienen una protección en las bombas estas dañan, es por ello que se recomienda el uso de protección con mallas para las bombas, no tiene observación alguna respecto a la fibra sintética, los parámetros requeridos son iguales e inclusive superiores a los obtenidos con la Fibra Metálica Dramix 65/35 (la que se está empleando actualmente).
- El mixer al salir de planta hace girar con muchas revoluciones su trompo ocasionando que el slump baje muy rápido, como consecuencia al llegar a la labor le agregan agua para subir su slump y baja su resistencia. Se

recomienda disminuir a lo mínimo sus revoluciones para evitar que el slump caiga rápido.

- El éxito en la aplicación del shotcrete dependerá de: Una adecuada selección y control de calidad de insumos; planta de concreto y equipos de transporte (mixers) y lanzado en buenas condiciones, lo cual se logra mediante la implementación efectiva de un programa de mantenimiento preventivo; condición adecuada de los servicios en interior mina, como presión y caudal de aire, personal competente con habilidad y técnica adecuada.
- En la reducción de costos existen muchas facilidades para la comparación de precios y servicios por parte de proveedores, tomando en cuenta destacar los ajustes en materia, mejorando la eficiencia y reduciendo el riesgo de errores que puedan generar gastos extras de dinero.
- Una cuestión en diseño en interior mina es el espesor de shotcrete que se va a utilizar, el contratista tendrá que distribuir el volumen de concreto necesario para poder lograr el espesor requerido. Más que un problema teórico, es un problema práctico, especialmente si el espesor es grande (> 200 mm). Una forma sería utilizar calibradores que te ayuden a medir el espesor requerido.
- Un parámetro muy importante en la aplicación como bien se mencionó, es el desarrollo de la resistencia inicial, mientras exista mayor ganancia dentro de los primeros minutos y primeras horas, habrá más seguridad y economía.

RECOMENDACIONES

- Este ahorro estimado de 11,130.00 US\$/mes empleando el Barchip R50 (Fibra Sintética) en el costo de sostenimiento se puede incrementar haciendo un control de lo mencionado en la tesis (Agregado, Control del diseño del shotcrete, calibración del robot antes de su uso)
- Como hemos podido apreciar en el análisis de costos es notable el exceso en costos por ello se recomienda hacer un control de la cantidad de cubos de shotcrete que se utilizan en el sostenimiento en las labores en interior mina con el objetivo de ahorrar costos.
- Por los resultados obtenidos el departamento de Geomecánica UM. Huaron, no tiene observación alguna respecto a la fibra sintética generando un factor de seguridad según los requerimientos de la unidad minera la cual puede ser empleada en la unidad, los parámetros requeridos son iguales e inclusive superiores a los obtenidos con la Fibra Metálica Dramix 65/35 (la que se está empleando actualmente).
- Se sugiere emplear la fibra sintética en labores que no cuentan con sistema de bombeo, para labores en profundización y rampas sería su uso limitado y controlado.
- No agregar agua a la mezcla cuando se llegue a la labor, ya que se modificaría la relación agua /cemento y un exceso de aditivo plastificante, haciendo disminuir su resistencia ocasionando un accidente.
- Se recomienda las labores desatadas o percutadas para el sostenimiento con shotcrete ya que se observó en varias oportunidades que los equipos mixer y

robot de lanzamiento de shotcrete están esperando a que se preparen las labores, esto dificulta que se complete con el sostenimiento para cumplir con el metro sostenido, metro avanzado.

- Se recomienda hacer un correcto mapeo geomecánico para continuar reduciendo los accidentes por desprendimiento de rocas .
- Es recomendable el uso de calibradores para respetar el espesor del shotcrete planeado en las labores en interior mina y poder asegurar un correcto lanzamiento de shotcrete.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Torres, L. (2016) "Diseño y aplicación de shotcrete para optimizar el sostenimiento en la unidad económica San Cristóbal -Minera Bateas"
2. Informe técnico preliminar paneles de shotcrete reforzado con Fibra Sintética – Barchip R50PAN American Silver Perú S.A.C. Unidad Huarón.
3. Barchip Perú S.A.C. (2018) Determinación De la tenacidad Del concreto con fibras usando losa cuadrada en flexión, con carga centrada y apoyo perimetral.
4. Elasto Plastic Concrete, "Hoja Técnica BarChip R50"
5. Barchip Inc. (2018) "Informe técnico Preliminar Paneles de Shotcrete reforzado con Fibra Sintética"
6. Elasto Plastic Concrete Perú S.A.C. (2015) Determinación de la tenacidad del Concreto con Fibras, usando losa cuadrada en flexión, con carga centrada y apoyo perimetral.
7. Castro, C. (2018) "Cubicación de reservas de agregados para determinar la vida útil en la cantera la Viña Cayalti – Chiclayo" - Universidad Cesar Vallejo
8. Ramos, E. (2017) "Diseño de la mezcla del concreto convencional y concreto lanzado (Shotcrete) para obtener un concreto de buena calidad; en la compañía minera Volcán S.A. Unidad Andaychagua"
9. Hinostroza, M. (2019) "Parámetros geo mecánicos en la evaluación del macizo rocoso para el diseño del tajeo de producción veta travieso en la Unidad Huarón – Pan American Silver Huarón S.A."
10. Chapoñan, J. & Quispe, J. (2017) " Análisis del comportamiento en las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de pavimentos rígidos"

adicionando fibras de polipropileno en el A.A.AH.H. Villamaría – Nuevo Chimbote”

11. Bejarano, D. (2019) “ Estudio de la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de Guadua Aguntifolia Kunt”
12. Montoya, G. (2020) “ Alternativa de rehabilitación del pavimento asfáltico reciclado en el frío mediante el uso del concreto zeolítico sintético, en Lima 2020”
13. Fernandez, C. (2018) “ Parámetros para maximizar la adhesión del shotcrete pro proceso húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte, en Trujillo 2018”
14. Melbye, T. (2015) “ Shotcrete para Soporte de Rocas, en Zurich 2015

ANEXOS

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

NORMA DE ENSAYO:	EFNARC 1996 (Acepte 10.4)	Requisitos Norma:	$t_{máx}: 110\text{mm} = (100+10)$	$t_{máx}: 110\text{mm} = (100+10)$
SOLICITANTE:	ELASTO PLASTIC CONCRETE PERÚ S.A.C.	(Valores Admisibles)	$t_{mín}: 590\text{mm} = (600-10)$	$t_{mín}: 100\text{mm} = (100-0)$
MUESTRAS:	02 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaborada por el cliente:			
	P-7 F. SINTÉTICA 4 KILOS-1	Fibra: Sintética Barchip BCR50	Dosif: 4kg/m ³	
	P-8 F. SINTÉTICA 4 KILOS-2	Fibra: Sintética Barchip BCR50	Dosif: 4kg/m ³	
PROCEDENCIA:	PANAMERICAN SILVER - MINA HUARON			
FECHA DE LANZADO:	17 de Octubre de 2015			
FECHA DE ENSAYO:	17 de Noviembre de 2015			
CONDICIONES MUESTRA:	Curado desde su llegada al laboratorio hasta tres días antes del ensayo.			
COND. AMBIENTALES:	Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T = 21°C y 71% H.R., aprox.)			

Identific. del Especimen	Tipo de Espéc.	Lado (mm)						Espesor "t" (mm) medido en:								"t" calculados (mm)		Figura Radial (N°)	Validez del Resultado \bar{t}	Observaciones: Antes, Durante y Después del Ensayo				
		l _x	l _y	l _z	l ₄	Prom.	Adm. Máx. Min.	Perímetro				Interior (Sup. Rotura)				t c.l.	Prom.				Adm. Máx. Min.			
								t1'	t2'	t3'	t4'	t1-1	t1-2	t1-3	t1-4							t2-1	t2-2	t2-3
P-7	Panel de Shotcrete Cuadrado	601	600	598	601	600	610	100	103	100	102	100	103	100	102	102	101.8	110	4	ok				
								-	-	-	-	100	102	102	103						102	103	101	103
								590	104	-	-	102	103	101	103						106	106	104	106
P-8	Panel de Shotcrete Cuadrado	603	602	598	605	602	610	103	104	102	103	103	104	102	103	107	105.2	110	4	ok				
								-	-	-	-	106	106	104	106						106	106	105	107
								590	-	-	-	106	106	105	107									

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)

Los especímenes cumplen 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 seis (6) páginas en total, incluyendo una (1) cubierta y dos (2) registros gráficos (gráficas) Carga (kN) vs. Desplazamiento Total (mm) del ensayo realizado.

Se prohíbe la reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP.



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

NORMA DE ENSAYO: EFNARC 1996 (Acepte 10.4)
SOLICITANTE: ELASTO PLASTIC CONCRETE PERU S.A.C.
MUESTRAS: 02 Losas Cuadradas de shotcrete reforzado con fibras, elaborada por el cliente.
PROCEDENCIA: PANAMERICAN SILVER - MINA HUARON
FECHA DE FABRICACIÓN: 17 de Octubre de 2015
FECHA DE ENSAYO: 17 de Noviembre de 2015
CONDICIONES MUESTRA: Curado desde su llegada al laboratorio hasta tres días antes del ensayo.
COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T = 21°C y 71% H.R. aprox.)

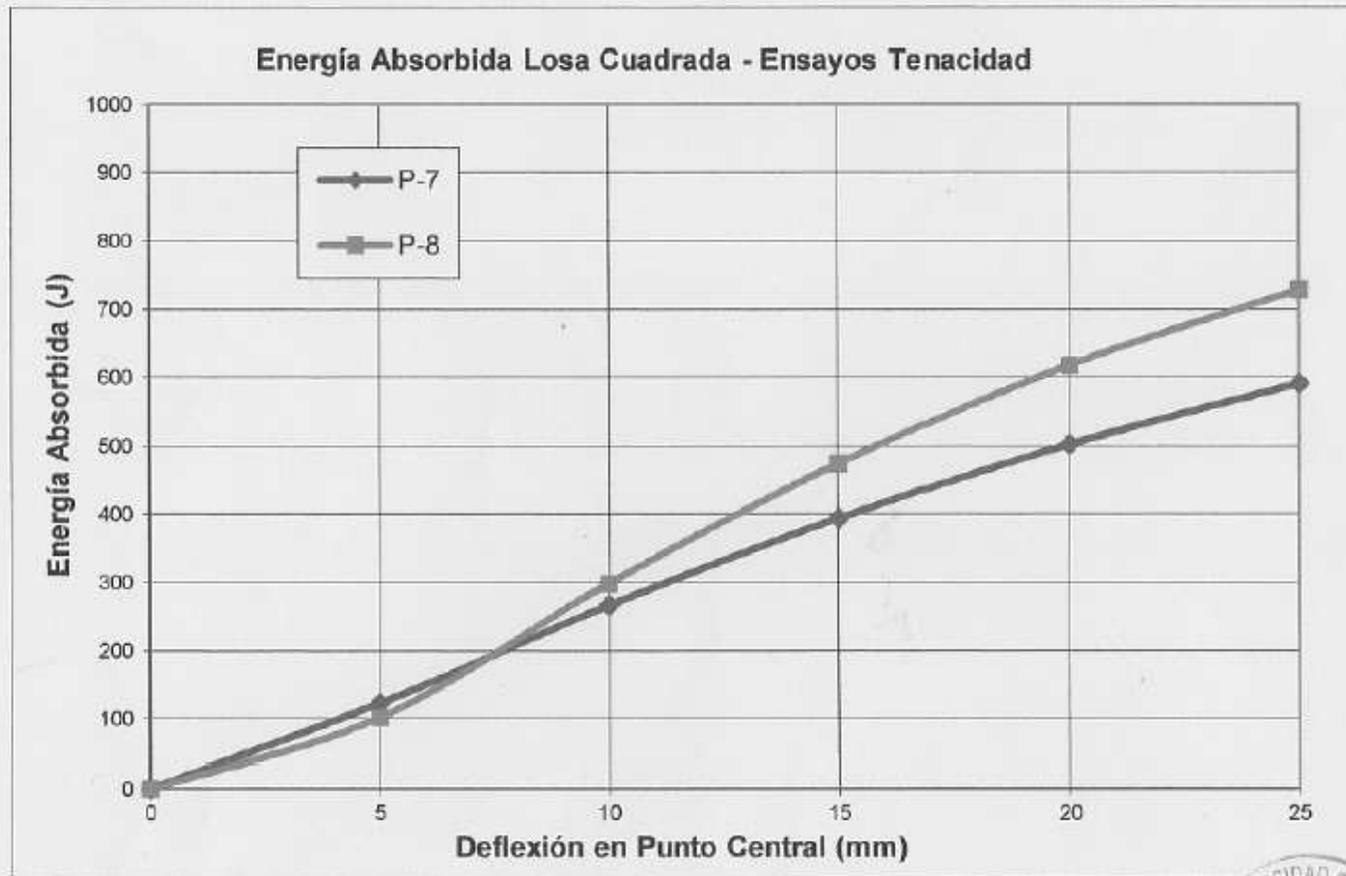
Identificación Muestra/Panel	Parámetro Medido	Valores Registrados y/o Calculados								
		Fisuración	Maxima o Ultima	Máxima Alcanzada	0-5mm	0-10mm	0-15mm	0-20mm	0-25mm	0-Final Ensayo*
P-7	Carga (kN)	34.774	35.751	16.311	28.391	27.290	29.900	19.326	16.405	16.311
	Deflexión (mm)	0.972	1.947	25.168	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.168
	Energ. Abs. (J)	13.304	39.366	593.868	122.627	266.610	393.868	502.050	591.147	593.868
P-8	Carga (kN)	33.926	48.912	18.433	29.641	38.039	32.181	25.352	18.761	18.433
	Deflexión (mm)	0.710	7.217	25.175	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	25.175
	Energ. Abs. (J)	10.161	189.854	731.940	101.867	238.682	474.016	617.817	728.689	731.940

(*) : 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 (tipo mecano) con una Máquina estructural de 500KN de Capacidad y +/-200mm 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 seis (6) páginas en total, incluyendo una (1) carátula y dos (2) registros gráficos (globales) Carga (kN) vs- Desplazamiento Total (mm) de ensayo realizado.
 Se prohíbe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio de Estructuras - PUCP.

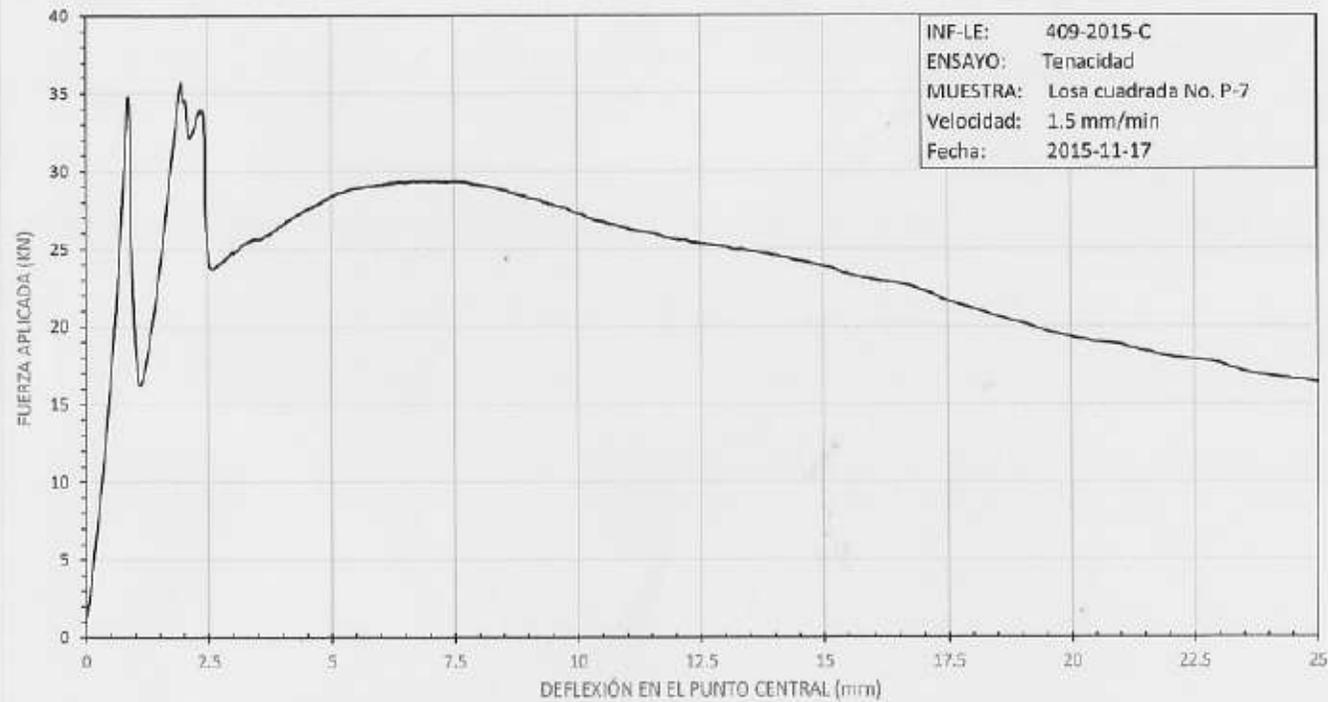






PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas-LEDI





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas-LEDI

