

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“OPTIMIZACIÓN DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE PARA MEJORAR EL AVANCE EN EL NIVEL 1680 CORTADA SUR, COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**Autores:**

Christian Eugenio Gonzales De La Cruz

Mike Paul Jimenes Benites

**Asesor:**

Mg. Ing. Eduardo Manuel Noriega Vidal

<https://orcid.org/0000-0001-7674-7125>

Trujillo - Perú

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 presidente(a)	LILIANA CASTRO ZAVALETA	43803365
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	RONALD SMITH MAYTA RODAS	42319154
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	RONALD ANTONIO ALVARADO OBESO	44562630
	Nombre y Apellidos	N° DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### Informe

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Tecnologica del Peru</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>creativecommons.org</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>renati.sunedu.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>alicia.concytec.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.uwiener.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## DEDICATORIA

A Dios: Por haberme dado la fortaleza y perseverancia de seguir adelante a pesar de todas las adversidades encontradas en mí andar.

A mis padres: Cristobal, padre, por su apoyo a lo largo de mi vida. Especialmente a Luzmila, mi madre, quien desde el cielo me guio por el camino del bien y cuida los pasos que doy.

A mis hijos y esposa: Mis amados hijos, Yamila y Alessio, por ser la razón de mí existir y motor de superación. Rosita, mi esposa, por ser esa mujer que siempre me animaba cuando las cosas no salían bien y me daba ánimos para no desfallecer en mi meta trazada.

A mi familia en general: Por haber sido mi soporte en todo este tiempo.

**Christian Eugenio Gonzales de la Cruz.**

A Dios: El creador de todo ya que sin el nada de esto hubiera sido posible, sus caminos trazados para mi vida fueron los correctos.

A mis padres: Serapio, mi padre, por brindarme su apoyo desde pequeño y enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa. Eulalia, mi madre, por el amor incondicional y palabras de aliento que me hacían renovar mis fuerzas en los momentos difíciles.

A mis hijos y esposa: Mis adorados hijos, Anderson, Jimena, Kenia y Grecia, por ser la razón de mi existir y de superación diaria, por ustedes trato de superarme diariamente. Marleny, mi esposa, por ser el soporte que dios me puso en mi camino y por la cual solo siento admiración y amor, este logro también es tuyo por brindarme cobijo en épocas difíciles.

A mi familia en general: Por siempre desearme lo mejor y muestras de afecto a lo largo de mi vida.

**Mike Paul Jimenes Benites**

## AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a primeramente a Dios por mantenernos con salud ante esta crisis sanitaria que estamos afrontando actualmente, a nuestros padres por habernos dado la vida, por enseñarnos a no claudicar nunca por más obstáculos que se nos presenten en la vida y luchar día a día por conseguir cada una de nuestras metas trazadas.

A la Universidad Privada del Norte, por la formación académica, la oportunidad de realizar una carrera profesional y ser el orgullo de nuestras respectivas familias.

Al Ing. Eduardo Manuel Noriega Vidal, quien ha sabido guiarnos en este peldaño final de nuestra carrera, quien gracias a sus conocimientos y experiencia supo manejar de buena manera esta nueva metodología de enseñanza que ahora se ha vuelto nuestra nueva normalidad, ha sabido sobrellevar a carta cabal el curso, absolviendo siempre todas nuestras dudas y siempre mostrando su predisposición para con nosotros, sus alumnos, y de esta manera podamos salir victoriosos culminando la carrera de manera satisfactoria. Le deseamos salud, prosperidad y bendiciones en su camino, esperamos que siga contribuyendo con sus amplios conocimientos y pueda seguir formando profesionales a carta cabal, para el beneficio de nuestro querido país llamado, Perú.

A nuestros compañeros de aulas, quienes serán nuestros colegas, sin el apoyo de ustedes todo hubiera sido más difícil, esperamos que este vínculo formado en las aulas de la prestigiosa Universidad Privada del Norte, perdure hasta la eternidad. Les deseamos éxitos en todos los aspectos de su vida, son los sinceros deseos de sus ahora colegas, Mike Jimenes y Christian Gonzales.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD .....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
TABLA DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	22
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	27
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la masa rocosa en Mina Poderosa-----	27
Tabla 2. Clasificación de la masa rocosa, NV 1680 CR SE-----	27
Tabla 3. Parámetros geomecánicos-----	28
Tabla 4. Diagrama de Análisis del Proceso de Shotcrete (Actual)-----	35
Tabla 5. Dosificación de materiales por metro cúbico-----	36
Tabla 6. Dosificación de Fibra de Acero por metro cúbico-----	36
Tabla 7. Resistencia a la Compresión-----	38
Tabla 8. Promedio porcentaje de rebote-----	40
Tabla 9. Prueba asentamiento de shotcrete o control Slump -----	46
Tabla 10. Resistencia a la Compresión del concreto a los 14, 21 y 28 días de ensayo -----	49
Tabla 11. Diagrama de Análisis del Proceso de Shotcrete (Propuesto) -----	51
Tabla 12. Cuadro de avances-----	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones de la zonificación del Nv. 1680 CR SE-----	28
Figura 2. Análisis cinemático – Software DIPS-----	30
Figura 3. Estabilidad de la cuña más representativa-----	31
Figura 4. Análisis plástico del corte transversal con sostenimiento actual-----	32
Figura 5. Diseño de Shotcrete Estructural -----	34
Figura 6. Distancia de Lanzado-----	37
Figura 7. Forma de Lanzado para evitar excesivo Rebote -----	37
Figura 8. Secuencia de Aplicación del Lanzado de Shotcrete-----	38
Figura 9. Posición Correcta del lanzado de Shotcrete -----	39
Figura 10. Estabilidad de la cuña más representativa, después del lanzado de shotcrete 2” ---	43
Figura 11. Modelamiento plástico con sostenimiento con shotcrete de 2” -----	44

## RESUMEN

Compañía Minera Poderosa, empresa dedicada a la explotación de oro, viene desarrollando proyectos de ampliación en la veta Karola; que a través de su cortada en el nivel 1680 viene realizando avances; sin embargo, la calidad del macizo rocoso con RMR entre 31 y 50, y con sistemas de fallas identificados ocasionan ciertos retrasos en la operación. Por tanto, la presente investigación tiene como objetivo optimizar el sostenimiento con Shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur, Compañía Minera Poderosa S.A. La investigación es de tipo aplicada, el enfoque es cuantitativo y el diseño es no experimental ya que no se manipula la variable independiente. La roca predominante es la diorita, la misma que según la clasificación de Bieniawski posee un RMR que varía entre 31 y 50, que con el mapeo geomecánico ayudó a determinar el sistema de fallas en el avance de la cortada sur.

Se concluye que, la optimización del sostenimiento con Shotcrete vía humedad permitió mejorar el avance del nivel 1680 cortada sur, viéndose reflejado en el avance programado versus el ejecutado en un 105% en los últimos 6 meses, del mismo modo permitió reducir los costos de s./ 1600 a s./ 1116.6.

**PALABRAS CLAVES:** Shotcrete, fallas, optimización, resistencia a la comprensión.

## ABSTRACT

Compañía Minera Poderosa, a company dedicated to the exploitation of gold, has been developing expansion projects in the Karola vein; that through its cut at level 1680 it has been making progress; however, the quality of the rock mass with RMR between 31 and 50, and with identified fault systems cause certain delays in the operation. Therefore, the objective of this research is to optimize support with Shotcrete to improve progress at level 1680 cut south, Compañía Minera Poderosa S.A. The research is of the applied type, the approach is quantitative and the design is non-experimental since the independent variable is not manipulated. The predominant rock is diorite, the same that according to the Bieniawski classification has an RMR that varies between 31 and 50, which with geomechanical mapping helped to determine the system of important faults in the advance of the southern cut.

It is concluded that the optimization of the support with Shotcrete via humidity allowed to improve the advance of the level 1680 cut south, being reflected in the programmed advance versus the one executed by 105% in the last 6 months, in the same way it allowed to reduce the costs of S/ 1600 to S/ 1116.6.

**KEYWORDS:** Shotcrete, failures, optimization, compressive strength

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Toda persona que trabaja en una unidad minera subterránea tiene que saber, que un buen análisis de los parámetros geomecánicos de la roca nos permitirá optimizar el proceso de sostenimiento de concreto lanzado o shotcrete y por consiguiente todo el proceso de minado, no realizar este estudio al macizo rocoso es perjudicial para lograr el rendimiento y aprovechamiento al máximo de los materiales y recursos, lo que nos llevara a pérdida de material, tener costos unitarios elevados en los procesos y sobre todo en el shotcrete vía húmeda pues es una mezcla de insumos que si no se dosifican de la manera más optima, producirá mucho rebote y por consiguiente pérdida de material (ISEM, 2007).

Un estudio destacado por Seguridad Minera, indica que el método dominante del futuro será el shotcrete por vía húmeda debido a que ofrece un mejor ambiente de trabajo, mayor calidad, uniformidad y producción, todo esto está relacionado directamente con el análisis al macizo rocoso y los parámetros geomecánicos que estos arrojen. El uso del shotcrete para aplicaciones de soporte de rocas ha aumentado en forma exponencial en los últimos 15 años, lo cual ha impulsado un intenso desarrollo del mismo, y entre los años 1971 y 1980 se produjo un desarrollo impresionante del método por vía húmeda en Escandinavia, con la consiguiente transformación total de su mercado de Shotcrete, se pasó de 100% de vía seca a 100% de vía húmeda, y la aplicación pasó de manual a robótica, siempre respetando los controles establecidos para la implementación del sostenimiento, los cuales fueron los apropiados para la masa rocosa y tipo de roca de las distintas labores en las que se trabajó y se sigue trabajando actualmente (Seguridad Minera, 2007).

A nivel mundial, existen ejemplos de varios países donde la tecnología del concreto lanzado ha alcanzado niveles muy altos y en donde los estudios han demostrado grandes ventajas técnicas y económicas de esta tecnología. Actualmente, un 70% del shotcrete se aplica mediante vía húmeda (más de 8 millones de metros cúbicos al año en todo el mundo), mientras

que el 30% restante se aplica por vía seca. En algunas regiones del mundo predomina el método por vía húmeda, por ejemplo, casi 100% en Escandinavia e Italia (Martínez, 2011).

Tomando como referencia los estudios realizados en Escandinavia reflejan que mejoró sustancialmente las condiciones del ambiente de trabajo, trayendo consigo mayor seguridad para los trabajadores de túneles, los resultados obtenidos en la comparativa realizada entre los métodos de shotcrete vía seca y vía húmeda, pusieron en evidencia mayores ventajas sobre el método de vía seca. Si nos seguimos negando a aceptar este cambio, lo único que lograremos será, que los operarios del proceso por vía seca sigan rodeados de un ambiente de trabajo en medio de una gran cantidad de polvo, que se sigan emitiendo polvo no sólo desde la boquilla, sino también desde la máquina de proyección. Como norma general, los resultados de las mediciones de polvo en el ambiente de trabajo eran más de tres veces la cantidad permisible, a diferencia del método por vía seca, el de vía húmeda ofrece una calidad constante (López, 2007).

En el Perú, el método predominante es el shotcrete vía seca; sin embargo, la brecha se va acortando estimándose que no existen registros al respecto que aún el 60% corresponde a la aplicación por shotcrete vía seca, correspondiendo un importante 40% al shotcrete vía húmeda. Es importante resaltar que después de un meticuloso análisis de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso, la primera mina en el país que apostó por el soporte de rocas por medio de shotcrete vía húmeda en sus operaciones cotidianas, fue la mina Cobriza de DOE RUN en mayo del 2000, donde derribaron el mito equivocado que el método por vía húmeda no ofrece resultados de alta calidad y logrando obtener ventajas tales como, reducción de agua utilizada, los aditivos usados mantenían la mezcla fresca lo cual facilitaba el trabajo, mezclas homogéneas, reducción de la pérdida de cemento producto de un rebote controlado llegando a alcanzar 5% sin menguar la resistencia final obtenida, mejor adherencia, superior resistencia a la compresión, poca variación en los resultados.

La Empresa Corporación Chino Mike E.I.R.L. enterados de esta problemática que podría estar afectando a sus colaboradores y haciendo un cuadro comparativo sobre las ventajas y desventaja entre ambos métodos de sostenimiento con shotcrete, entre las desventajas más notorias del método de sostenimiento con shotcrete vía seca son las de altos costos operativos, alto margen de rebote y sobre todo la generación excesiva de polvo, la cual genera afectaciones directas a los operarios que a la postre pueden llegar a sufrir la enfermedad de silicosis, por ello se decidió apostar por este estudio que busca comprobar que el sostenimiento por vía húmeda genera mejor ambiente de trabajo, mitigando de gran manera la generación de polvo, mayor seguridad para los operarios en las labores, debido a que este método ofrece una calidad constante, compresiones que pueden llegar hasta los 100MPa, poca variación en los resultados, el rebote por este método es mucho menor, mejor adherencia. Por tal motivo, la investigación está orientada a hacer un análisis de los parámetros geomecánicos para poder implementar este sostenimiento por la vía húmeda, pues nos brindan mayores ventajas sobre el método de vía seca, procediendo luego al sostenimiento mediante shotcrete vía húmeda, previamente determinados por el estudio geomecánico de las labores mineras, en calidad de roca mala, con RMR de rango 21a 40.

Betancur & López (2020), en su tesis titulada “Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la Mina la Maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales”, año 2020”, tiene por objetivo general caracterizar y clasificar el macizo rocoso del nivel veintiuno de la mina subterránea La Maruja, usando los sistemas de clasificación RMR y Q de Barton para sectorizar el nivel y estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte que propendan por la estabilidad de la excavación y labores mineras, se ha considerado el tipo de investigación experimental, porque, recabaron muestras en campo y analizaron estas muestras en los laboratorios respectivos, al concluir la

tesis se logró obtener, una clasificación geomecánica en el nivel 21 de la mina La Maruja, en el distrito minero de Marmato, Caldas y un análisis de cuñas con el fin de estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte.

Quispe (2019), en su tesis titulada “Diseño de sostenimiento mediante la caracterización del macizo rocoso”, año 2019, tiene por objetivo determinar las condiciones del macizo rocoso para caracterizar los tramos en galerías, para la determinación del estado tensional-deformación al para diseñar las labores mineras y de este modo dar seguridad al personal y equipos, se ha considerado el tipo de investigación experimental, porque, se recopilaron datos de campo, que comprende el mapeo geomecánico, pruebas in situ de resistencia de la matriz rocosa, toma de muestras de roca en las labores y las características técnicas adaptables a los tipos de sostenimiento, al concluir la tesis se determina que, la minería subterránea, la geomecánica, incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento.

Medina (2019), en su tesis titulada “Minimización de riesgos por caída de rocas mediante la evaluación geomecánica en la mina heraldos negros compañía minera San Valentín S.A. Huancavelica”, año 2019, tiene por objetivo evaluar y controlar los riesgos de la caída de rocas en la minera Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A., Huancavelica, se ha considerado el tipo de investigación descriptivo aplicativo correspondiente a un diseño no experimental, mediante la evaluación geomecánica, para evitar los riesgos de accidentabilidad en las labores mineras de desarrollo, preparación y explotación en función del macizo rocoso. Al concluir la tesis se determina que, la evaluación geomecánica de calidad de

roca con RMR se encuentra en un promedio de 42-54; donde el estereograma determina que existe cuñas mordidas, echadas y abiertas; con un factor de seguridad (FS) de 1.5, 1.2, 0.4, 0.3 y 0.2 en la bóveda formando trozos, bloques de roca que tienen un buen entrapamiento de cuña de roca. La rampa es considerada una labor permanente.

Fabián & Guerrero (2017), en su tesis titulada “Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina – Ancash”, año 2017, se tiene como objetivo, determinar la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina, se ha considerado el tipo de estudio de la presente investigación como aplicada porque, persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar. Al concluir la tesis se determinó que, con la aplicación de la geomecánica en la Cía. Minera Reyna Cristina – Ancash se ha demostrado que después de la aplicación del proyecto en los frentes de avances de carbón, los accidentes mortales se han reducido al 100% en el periodo de enero a octubre del 2015 con una diferencia de dos mortales que corresponden al año 2014.

Calderón (2018), en su tesis titulada “Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería gavilán de oro de la UEA Ana María”, año 2018, se tiene como objetivo, realizar una caracterización geomecánica y determinar el tipo de sostenimiento de la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María, se ha considerado el tipo de investigación utilizada fue descriptiva - cuantitativa, la misma que le permitió examinar los datos de manera científica (forma numérica). Al concluir la tesis se obtuvo que, el tipo de sostenimiento requerido para la galería Gavilán de Oro fue determinado por la caracterización geomecánica, mediante la clasificación Q de Barton, usando el gráfico de Grimstad y Barton (1993) donde se recomendó el colocado de pernos de manera sistemática con espaciados de

1.7, 2.4, 2.2, 3.6, 2.2, 2.6 metros para las estaciones geomecánicas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 respectivamente; la presencia de agua se aprecia en las seis estaciones geomecánicas y por ello se sugirió el perno helicoidal con resina pero por cuestiones de costos se optó por el perno Hydrabolt galvanizado de 5 pies cuya capacidad de sostenimiento es de 16 t/m<sup>2</sup>. Tapia (2017), en su tesis titulada “Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – Inpecon SAC – Mina Chipmo CIA Minera Buenaventura unidad Orcopampa”, año 2017, la cual tiene como objetivo, Diseñar y aplicar correctamente el shotcrete vía húmeda en la mina Chipmo, optimizar el sostenimiento logrando así beneficios económicos a la Cía. minera Buenaventura unidad Orcopampa, se ha considerado que el tipo de investigación es no experimental, el tipo de diseño a utilizarse es el diseño transversal descriptivo, ya que se recolectarán datos de la resistencia a 7, 14 y 28 días con el propósito de cumplir el planeamiento denominado. Al concluir la tesis se determinó que, En la evaluación del macizo rocoso de la mina Chipmo, cuenta con dos zonas, Prometida y Nazareno, donde la zona alta de Prometida se caracteriza por el tipo de roca IIIA a IIIB y la zona de profundización de Prometida se caracteriza por roca IVA a IVB con presencia de filtración de aguas acidas. La zona alta de Nazareno se caracteriza por el tipo de roca IIIB a IVA y la zona de profundización IVA a IVB, por tal motivo se realizó el diseño de mezcla de shotcrete con 9 bolsas cemento, que cumple con lo requerido por la unidad minera ( $F'_{C} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ), logrando obtener una resistencia a la compresión promedio de 223.06 Kg/cm<sup>2</sup>

Guzmán (2008), en su tesis titulada “Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la Mina Cobriza”, año 2008, la cual tiene como objetivo general, determinar el uso del shotcrete con fibras como un método seguro para el sostenimiento a corto plazo, se ha considerado el tipo de investigación experimental pues se realizaron ensayos in-situ. Al concluir la tesis se obtiene que, de los resultados de los ensayos a compresión podemos concluir que pese al uso de una u otra fibra la resistencia a los 28 días es mayor al 100% y que para el uso del shotcrete

vía húmeda como método de sostenimiento inmediato la resistencia a 1 día es mayor al 25%.

Algunos de los conceptos que brindan soporte a esta investigación desde el punto de vista de la optimización, sostenimiento, shotcrete y parámetros geomecánicos del macizo rocoso y que guardan relación con esta investigación, son los términos de: Minería Subterránea, hace referencia a toda actividad que se ejecuta en el interior de la corteza terrestre, como excavaciones, chimeneas, galerías, socavones y todo tipo de perforación que se le haga a la tierra, que son guiadas por planos que nos direccionan al yacimiento con el menor recurso posible (MINEM). La finalidad de toda operación minera es la de extraer mineral económicamente rentable, donde podemos encontrar metales preciosos, ligeros, siderúrgicos, especiales, industriales, esquicitos y los denominados minerales combustibles (MINEM), pero para llegar a estos minerales se tiene que hacer procesos de perforación y voladura en las distintas labores que se esté operando lo que significa que se tienen que hacer agujeros en el macizo rocoso y luego rellenar los mismos con carga explosiva para fragmentar la roca, esto se repite en todas las labores avance que son excavaciones horizontales que nos van a brindar la vía de acceso para introducirnos al yacimiento mineral y así poder explotarlo (significados).

El macizo rocoso se analiza mediante parámetros geomecánicos para poder caracterizar a la roca, de esa forma poder clasificarla mediante su RMR y obtener su resistencia, grado de fracturación, discontinuidades, presencia de agua, así mismo mediante los parámetros de su índice de Q de Barton y GSI (Centro Geotécnico Internacional), partiendo del análisis del macizo rocoso y los parámetros geomecánicos determinados por el departamento encargado, se determina las pautas a seguir para los procesos de perforación y voladura, y así mismo al proceso de sostenimiento que es el proceso de refuerzo que se le realiza a una labor con la roca no es competente para brindar seguridad a los operarios y maquinaria que se encuentren laborando en las distintas labores, mencionar que esta actividad es de alto costo y disminuye la velocidad de avance y/o producción pero es de vital importancia porque es lo que brindara

seguridad y confianza a los operarios y maquinaria en las labores (Sánchez et al., 2003), existen diversos tipos de sostenimiento los cuales se utilizarán siguiendo los lineamientos dictados por la clasificación del macizo rocoso, entre los diferentes tipos de sostenimiento tenemos el sostenimiento con shotcrete, que de acuerdo al Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés), es definido como el mortero o concreto aplicado neumáticamente y proyectado a alta velocidad. Por otro lado, el término Concreto lanzado, de acuerdo a la Federación Europea de Productores y Aplicadores de Productos Especiales para Estructuras (EFNARC, por sus siglas en inglés), es una mezcla de cemento agregado y agua proyectado neumáticamente desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea.

El shotcrete vía húmeda, es un concreto previamente mezclado en un trompo mezclador de concreto donde se combinan los insumos como el agua, gravilla la cual está normada por la norma ASTM-33 la que la clasifica en gruesos y finos, cemento y fibras metálicas que sumarán al concreto características de ductilidad y tenacidad lo que le permite obtener condiciones mucho más seguras, todo ello producirá una calidad constante a lo largo del proceso de lanzamiento de shotcrete (360 en Concreto), la mezcla ya lista se descarga en el recipiente de la máquina shotcretera, la cual mediante presión de aire y bombeo transporta a presión a través de una manguera, en la boquilla del extremo de la manguera, se agrega aire al concreto y también acelerantes de fraguado para lograr una mejor resistencia debido a que produce un concreto más compacto, firme y duradero. Asimismo, mejoran la adherencia porque evitan el escurrimiento del concreto sobre el terreno, y este se adhiere inmediatamente a la superficie (ISEM), todo este proceso genera un rebote de shotcrete proyectado que es la pérdida o merma de la mezcla proyectada en la labor sostenida y para minimizar las pérdidas toma gran relevancia la optimización del proceso de sostenimiento.

Cuando nos referimos a optimización debemos de saber que es el análisis exhaustivo

de todas las actividades y recursos que están inmersas en un determinado proceso con el único fin de obtener la mejor ruta, condiciones y medios que nos lleven a maximizar un rendimiento y de esta forma utilizar de mejor manera los recursos (Granio, 2018), entonces si se logra una buena gestión en todo el proceso partiendo desde los análisis de los parámetros geomecánicos, una buena dosificación del shotcrete, da como resultado la optimización del sostenimiento con shotcrete en las diversas labores de avance. Al shotcrete finalmente se le hacen las pruebas in-situ para comprobar si la optimización fue la correcta y brindar seguridad a las labores, estas pruebas son realizadas mediante instrumentos y algunos de ellos son; penetrómetro, el mismo que se usa para medir la resistencia del shotcrete en la primera fase de su curado en el rango de 1 a 2 horas de haber sido proyectado (Mecmesin), Pistola Hilti, que es una pistola que proyecta clavos mediante presión y sirve para medir la resistencia del shotcrete en un rango de 2 a 4 horas después del lanzamiento de shotcrete (Hilti).

Las labores mineras subterráneas siempre van a estar supeditadas a los parámetros geomecánicos del Macizo Rocosos; implicando claro está, a tomar como punto de partida las propiedades de la roca Intacta. En la medida de lo posible que se controlen estos parámetros y se realicen los respectivos planes de minado con las consideraciones respectivas, utilizando para su sostenimiento el método de shotcrete vía húmeda, se podrá mantener una estabilidad correcta y adecuada en las labores mineras subterráneas, las cuales nos garantizarán la vida útil de la labor minera, un ambiente de trabajo agradable libre de excesiva contaminación ambiental producto del polvo, mejor cuidado de los equipos mineros, la seguridad física para las personas y obviamente una mejor rentabilidad en las finanzas de la compañía minera.

El tema se enmarca en la línea de investigación Nuevas tecnologías y sistemas de construcción, aprobado por la Universidad Privada del Norte, en esa línea y a partir de todo lo indicado es necesario realizar la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿Cuál es la optimización del sostenimiento con Shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada

sur, Compañía Minera Poderosa S.A.?

La justificación de esta investigación esta direccionada en probar que se necesita estudiar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso y de esta manera lograr establecer los requerimientos mínimos para el diseño del sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la labor materia de estudio, que permita un soporte adecuado para su tipo de roca, controles para la implementación del sostenimiento apropiados para la masa rocosa y tipo de roca, realizando las coordinaciones necesarias con los supervisores de mina para que el estándar y parámetros dados por el departamento de geomecánica sea de conocimiento de los trabajadores, así como su cumplimiento, verificar la implementación y cumplimiento del presente estándar y seguimiento de su aplicación con todas las áreas involucradas.

Desde el punto de vista económico, se menciona que el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda es más rentable a corto, mediano y largo plazo, pues su rápido fraguado permite seguir avanzando con mayor rapidez, el poco rebote no genera muchas pérdidas económicas por desperdicio de material, a la postre todo ello impacta en una mayor producción con menos gastos económicos.

Finalmente, como justificación académica, podemos decir que al finalizar esta investigación probaremos fehacientemente que mediante el método de shotcrete vía húmeda, los beneficios obtenidos son ampliamente superiores haciendo una razón entre beneficios y desventajas. Con lo cual quedara expresado que al hacer la comparación de los métodos de shotcrete seco y húmedo, podemos decir que el primero debe ser utilizado para aplicaciones de volúmenes pequeños (reparaciones) y en condiciones muy especiales (distancias largas, interrupciones repetidas, etc.), mientras que el método por vía húmeda debe utilizarse en todo trabajo de soporte de rocas, todo ello mediante un exhaustivo y detallado estudio a realizar partiendo desde el análisis de los parámetros geomecánicos, lo que a su vez nos hará ganar conocimientos a lo largo de esta investigación.

De acuerdo a nuestra investigación y análisis podemos determinar que, El objetivo general de esta investigación es la de optimizar el sostenimiento con Shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur, Compañía Minera Poderosa S.A.

Para tal efecto se plantearon los siguientes objetivos específicos: Primeramente, Determinar los parámetros geomecánicos de las labores de avance en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A., como segundo objetivo, Evaluar las condiciones de las labores de avance en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A., como tercer objetivo, Diseñar la dosificación óptima y el proceso de lanzado Shotcrete por vía húmeda para el sostenimiento de las labores de avance en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A. y como cuarto objetivo, Lograr la optimización de la labor y el porcentaje de avance en cuanto a cumplimiento y la mejora en la labor, mediante la optimización del sostenimiento con Shotcrete en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A.

Esta investigación tiene como hipótesis que, optimizando el sostenimiento con Shotcrete se mejorará el avance en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación es un conglomerado de procesos metódicos, críticos y experimentales que se llegan a aplicar para el estudio de un fenómeno o problema. Esta investigación es aplicada porque busca solucionar problemas prácticos mediante el uso de los conocimientos ganados y al mismo tiempo que se van obteniendo diversos conocimientos que ayudan a la investigación (Hernández et al, 2014).

Con un nivel de investigación explicativa puesto que la investigación está enfocada a responder las causas de eventos, sucesos y fenómenos de distinta índole, donde su interés se centra explícitamente en explicar porque se suscitó un suceso o evento, en qué condiciones se presentó o porque se llegan a relacionar las variables (Hernández et al, 2014).

De enfoque cuantitativo, todo ello debido a que la presente investigación tiene como finalidad la de realizar y analizar los distintos estudios realizados en materia de optimización del sostenimiento con Shotcrete bajo los parámetros de la geomecánica del macizo rocoso, y que a la postre sirva como guía para realizar el diseño para el ingeniero para que pueda ajustar su diseño en cada una de las labores mineras independientemente de la presencia de diferentes tipos de roca y de esta manera lograr el sostenimiento adecuado. El enfoque cuantitativo es un conjunto de procesos, de igual forma es secuencial y probatorio, donde cada etapa precede a la siguiente sin poder saltarse u obviar los pasos, partiendo de una idea y cuando se llega a delimitar dan pase a los objetivos y preguntas de la investigación, donde lógicamente se revisa información del tema a investigar para poder construir un marco teórico (Hernández et al, 2014).

El diseño de la investigación por los estudios realizados muestra un diseño, no experimental de corte Transversal porque la investigación se realizó sin manipular las variables, donde se observaron y levanto muestras in situ para después analizarlas en laboratorio, todo esto en un determinado tiempo para poder describir las variables y el comportamiento de las mismas en un determinado momento (Hernández et al, 2003).

El diseño descriptivo-propositivo es un estudio que permite recoger información de un fenómeno, donde se hace un diagnóstico y evaluación, para luego realizar un análisis y fundamentación de teorías para luego finalizar con una propuesta de solución (Tantalean, 2015)

La población está definida como un conjunto de factores pertenecientes al dominio espacial en el que se desarrolló el estudio que por determinadas características han sido seleccionadas por el investigador, para el análisis de las variables de interés en una investigación (Carrasco, 2017). Para la presente investigación la población está conformada por todas las labores del nivel 1680 de la Compañía Minera Poderosa S.A.

La muestra Representa un subgrupo de la población de la que se recolectaron los datos y tiene el atributo central de ser representativa de la población, con la finalidad de generalizar los resultados obtenidos (Hernández et al, 2014). En este sentido, para la muestra se considerado el avance de la Cortada Sur nivel 1680 de la Compañía Minera Poderosa S.A.

Para esta investigación se utilizó el método Inductivo – Deductivo, debido a que se obtienen conocimientos que parten desde lo particular a lo general y viceversa, partiendo del estudio de las variables que forman parte de la investigación y es por eso que se observó el reporte brindado por la supervisión permanente de la unidad de producción Marañón, la cual se usó como guía de cabecera con la finalidad de verificar el fiel cumplimiento de los estándares en los procedimientos de la aplicación del sostenimiento con shotcrete vía húmeda, con la finalidad primordial de salvaguardar la seguridad de los trabajadores.

Según Arias (2012), las técnicas de muestreo es una de las formas en que los investigadores intentan recopilar información y/o datos para investigar. En esta investigación, se recolectaron datos de resistencia a la compresión, la adherencia, el rebote del shotcrete proyectado, el consumo de agua y el uso de fibras plásticas, aditivos y finalmente el volumen de shotcrete, para llevar un mejor control se realizó cuadros y tablas en Excel de los datos obtenidos tanto en laboratorio como en muestras de campo, del mismo modo, se realizó un análisis detallado para finalmente presentar los resultados.

Según Arias (2006), los instrumentos son todo tipo de recurso, objeto, dispositivo o formato tanto en papel o digital, que se llega a utilizar en la investigación para obtener, registrar o almacenar la información que se vaya recabando. Las herramientas que tomamos en cuenta fueron las pruebas que realizan las empresas especializadas y que proveen los insumos para este tipo de sostenimiento bajo condiciones complejas. Indicar que, los principales instrumentos para el diseño y supervisión son, Cartillas geomecánicas, dosificación del Shotcrete y cuaderno de apuntes de supervisión; para probar la resistencia del shotcrete se usará el ensayo de probetas de los paneles que se obtendrán provenientes de las labores mineras y a los cuales se les someterá a distintas pruebas durante el tiempo que dure nuestro análisis, la prueba de Slump o cono de Abrams, que se realiza con concreto fresco, el penetrómetro de concreto, que controla el tiempo de resistencia inicial del shotcrete y evitar desprendimientos de shotcrete en el proceso de lanzado, del mismo modo, la Pistola Hilti, que sirve para el control de resistencias temprana de haber lanzado el shotcrete y la prensa hidráulica que medirá la resistencia uniaxial después de 7, 14, 21 y 28 días de haberse tomado las muestras. Todos ellos cuentan con estándares normativos internacionales ya sea ASTM o EN.

En ese sentido, se realizaron pruebas a cargo de la empresa MASTERLEM SAC quien brinda asistencia técnica de con la finalidad de realizar las pruebas necesarias bajo las siguientes normas:

- ASTM C 136-14: Granulometría de los agregados gruesos y finos ASTM C 127: Densidad y absorción de los agregados.
- ASTM D 117-17: Determinación de la cantidad de material fino por el tamiz #200. ASTM C 566: Contenido de humedad de los agregados.
- ASTM C 40/C40M-19: Impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto. ASTM C 128-15: Ensayo normalizado para peso específico del agregado fino.

El presente estudio se realizó el levantamiento de muestras de la cortada sur del nivel 1680 y posteriormente se las analizo en el laboratorio para ver la calidad de la roca y su

resistencia, para ello se usó las cartillas geomecánicas y poder hacer una correcta Clasificación de Bieniawski (RMR), de igual forma se realizó la simulación del comportamiento de la roca al ser alterada producto del proceso de perforación y voladura, ya con los datos de laboratorio se procedió a diseñar el sostenimiento con shotcrete y la dosificación optima, en la labor se procedió a realizar el sostenimiento de la roca no competente y todos los detalles fueron anotados en el cuadernos de tareo, donde se detalló las horas que utiliza la cuadrilla de shotcrete para terminar 1m de avance lineal de shotcreteo, los materiales consumidos por metros cúbico, el % de rebote del shotcrete, las pruebas de Slump realizadas al shotcrete, posibles incidentes que se puedan llegar a suscitar.

Cabe señalar que antes de iniciar la labor de sostenimiento se tiene que hacer el llenado del IPERC donde también se anotan datos y posibles incidentes que pueden llegar a afectar la normalidad del trabajo y así mismo la verificación del cumplimiento de todas las medidas de seguridad y equipos de PPP, acto seguido las siguientes recomendaciones, el desatado de las rocas sueltas, realizar el lavado de superficie de labor con agua a presión, colocación de calibradores por 1m<sup>2</sup> y finalmente el lanzamiento de shotcrete (2").

Para determinar los resultados de resistencia a la compresión y flexión de las muestras de shotcrete en la labor, se utilizara el penetrómetro y pistola Hilti, lo cual nos brindara valores que posteriormente serán vaciados en cuadros de Excel para el análisis respectivo y lo mismo para las muestras de probetas de shotcrete que son analizados en laboratorio a los 7, 14 y 28 días de haberse tomado las muestras, dicho reporte será proporcionado por el laboratorio que realiza las pruebas y nos servirán para hacer muestras comparativas y de este modo poder determinar si se está cumpliendo con los estándares establecidos por Compañía Minera Poderosa S.A. en lo que a sostenimiento con shotcrete vía húmeda se refiere. Indicar que, antes de realizar el lanzamiento de shotcrete se deberá realizar Cumpliendo este procedimiento se podrá realizar un mejor estudio y análisis de las muestras, para finalmente tomar nota de todo lo acontecido en la labor ejecutada para lo cual nos valimos del cuaderno de tareo.

La recopilación de los datos ha sido validada por expertos en la materia, lo que demuestra la una correcta coherencia y relación entre las preguntas de investigación, los indicadores y los objetivos planteados en esta investigación. La validez de contenido establece que las variables medidas son consistentes y técnicamente adecuadas para la base y propósito del estudio (Carrasco, 2017). Referente a la confiabilidad, se refiere a la calidad de la herramienta para reproducir resultados similares luego de aplicaciones repetidas a la misma persona o grupo (Carrasco, 2017). Tanto para la Validez y Confiabilidad de los instrumentos usados en esta investigación como lo son la cartilla de geomecánica y dosificación del shotcrete fueron validados por expertos en los temas referentes a geomecánicas y sostenimiento con shotcrete vía húmeda, de nuestra casa superior de estudios superiores, otros docentes con gran trayectoria institucional e ingenieros geomecánicos de Compañía Minera Poderosa S.A., los cuales nos brindaron su respaldo y aprobación de nuestra investigación, de igual forma se hizo uso de instrumentos para pruebas del shotcrete los cuales cuentan con certificaciones internacionales que avalan su confiabilidad como lo son las normas, ASTM C143 para la prueba del Slump o cono de Abrams, Penetrómetro Mecmesin bajo la norma EN 14488-2, Pistola Hilti L140 EN 14488-2 y prensa hidráulica regulada por la norma EN 14488-5.

En esta investigación se respetó los derechos de autor, citándolos correctamente bajo las normas APA, los principios de veracidad y autenticidad. También la información que fue recopilada fue entregada de manera voluntaria por los operarios, y se tomaron en cuenta los principios de confiabilidad y garantizándoles que no serán perjudicados por los datos brindados, Los datos de los sujetos no deben compartirse sin su consentimiento o contra su voluntad. Si cada trabajador está dispuesto a participar en el estudio, los resultados se mostrarán en formato agregado (Palomino, 2017).

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Parámetros geomecánicos de las labores de avance en el nivel 1680 Cortada

#### Sur, Compañía Minera Poderosa S.A

El registro de la información geomecánica se efectúa mediante los formatos de recomendación y evaluación geomecánica de la labor en mención, así como el levantamiento geomecánico en campo.

**Tabla 1**

*Clasificación de la masa rocosa en Mina Poderosa*

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

**Nota:** La clasificación geomecánica de la masa rocosa se realizó utilizando el criterio de Bieniawski de 1989 (RMR – Rock Mass Rating o Valoración de la Masa Rocosa). El criterio de Bieniawski (1989) modificado para esta evaluación a fin de clasificar a la masa rocosa, se presenta en las tablas 1 y 2.

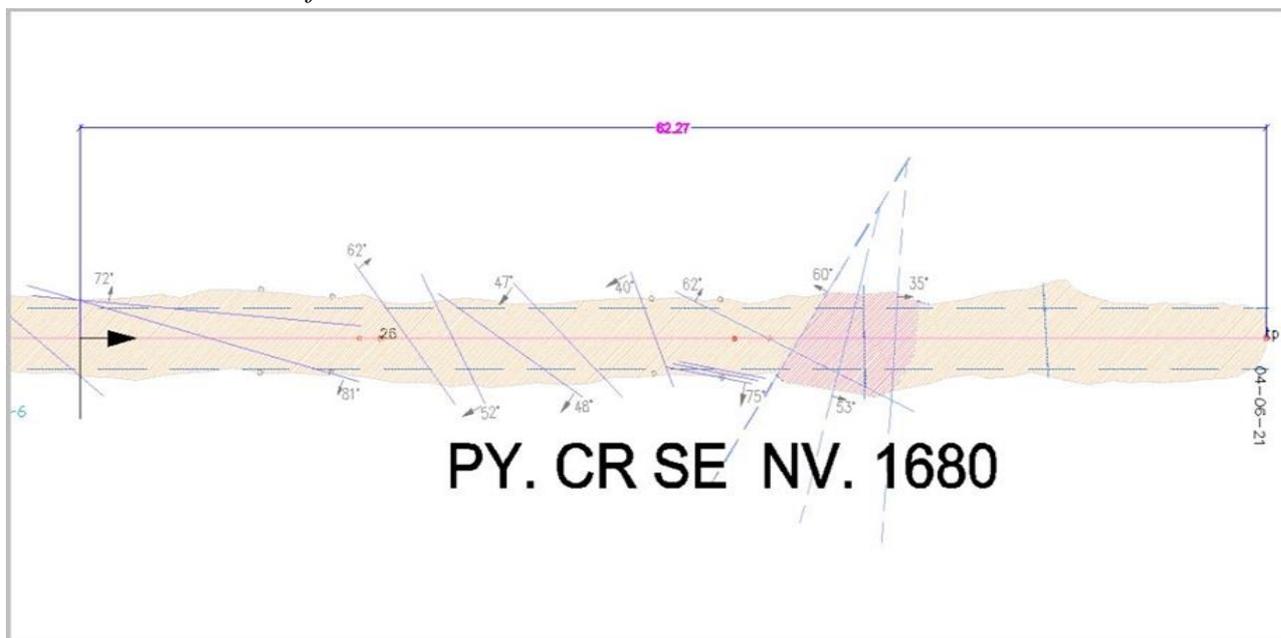
**Tabla 2**

*Clasificación de la masa rocosa, NV 1680 CR SE*

Sector	Litología	Tipo de Roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR
Corona	Diorita	IV A	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
	Alterada				
Hastiales	Diorita	III B	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
	Alterada				

**Nota:** La roca predominante en el nivel 1680 es la diorita con un RMR en corona promedio entre 31-40 y en hastiales entre 41-50.

**Figura 1**  
*Condiciones de la zonificación de la NV 1680 CR SE*



**Nota:** Con la evaluación de las condiciones de la cortada en el nivel 1680 se pudo determinar mediante el mapeo geomecánico los planos de falla más importantes.

**Tabla 3**  
*Parámetros geomecánicos*

<b>Sección</b>	3.5 x 3.5
<b>Radio</b>	1.3
<b>Buzamiento</b>	60
<b>Pendiente</b>	0.45
<b>GSI</b>	26
<b>Sostenimiento</b>	P.H. de 7' + Malla 4X4
<b>Litología</b>	Diorita Alterada
<b>RMR – Corona</b>	31-40
<b>RMR – Hastiales</b>	41-50
<b>Nº fracturas/m<sup>2</sup></b>	18
<b>Tipo de roca - Corona</b>	IV A / Mala A
<b>Tipo de roca - Hastiales</b>	III B / Regular B
<b>Calidad de la roca según su GSI</b>	MF/R (D) a MF/P (E)
<b>Condiciones de cuñas</b>	Cuña inestable
<b>Alteraciones</b>	Moderadamente alto
<b>Agua Subterránea</b>	Goteras

Se realizó un levantamiento de información en la labor, para poder obtener diversos parámetros geomecánicos (tabla 3) y de esta manera poder optar por el sostenimiento idóneo para nuestra labor materia de estudio.

### **3.2. Evaluación de las condiciones de las labores de avance en el nivel 1680**

#### **Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A**

#### **Análisis de las condiciones de estabilidad en Nv. 1680 Cortada Sur**

##### **Condiciones Estructurales**

De acuerdo con la zonificación que se tiene en la labor, hacia el tope de la CR SE, se tiene una roca de MF/R (D) a MF/P (E), y como se ha corroborado en campo, presenta tres familias de estructuras predominantes, las cuales forman cuñas. La falla hacia el tope presenta un buzamiento de 60 grados y una dirección de buzamiento de 303°, con relleno suave y presencia de agua (goteo). Así mismo, estas familias de fracturas y la presencia de la falla forman falsas cajas a los hastiales y corona, así como también la formación de cuñas.

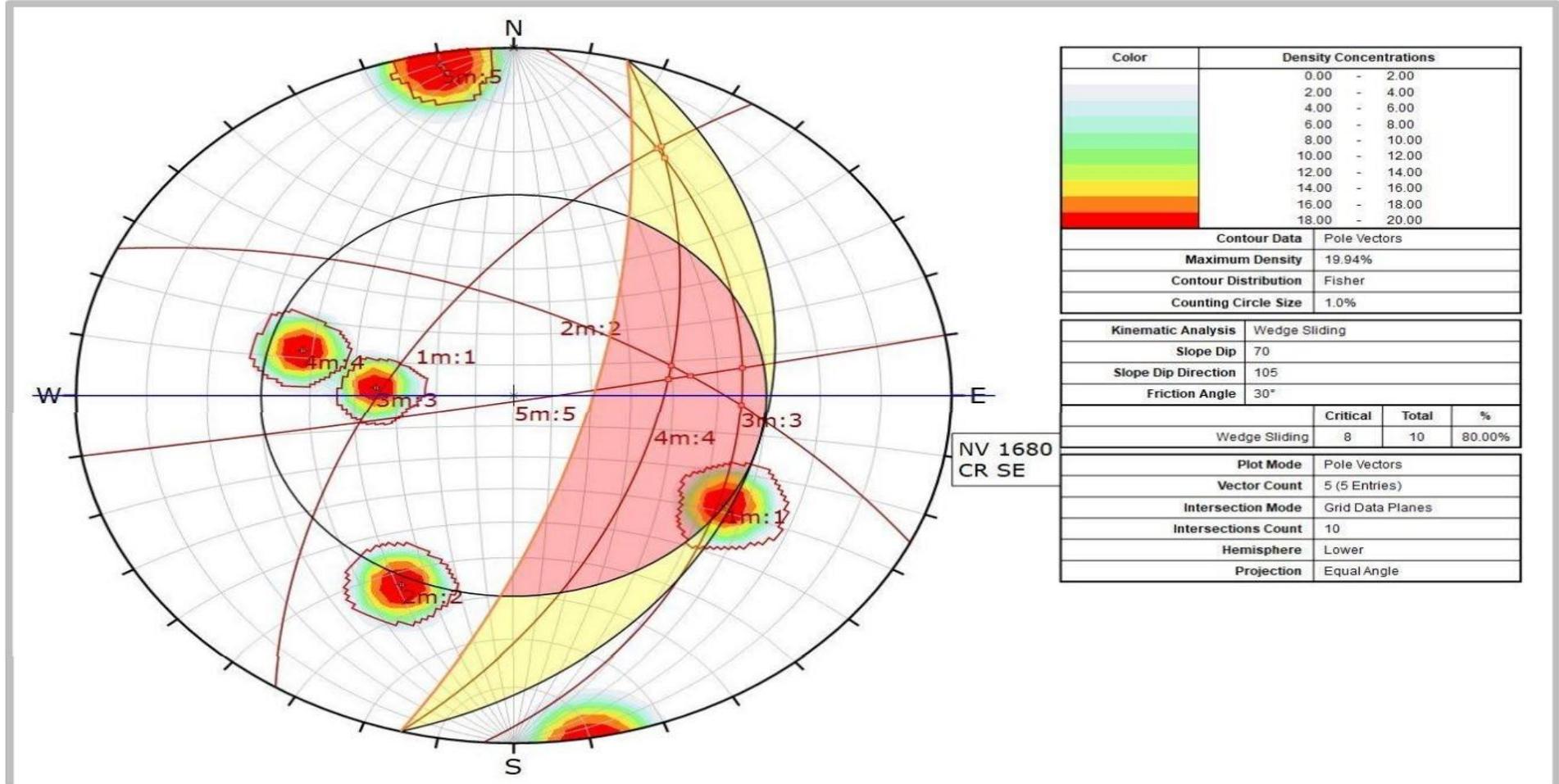
##### **Condiciones de sostenimiento**

El sostenimiento actual que se viene usando es P.H. de 7 pies + malla galvanizada de 2x2, con una distribución de 11 P.H. por tramo de malla.

## Análisis de Estructuras

**Figura 2**

Análisis cinemático – Software DIPS



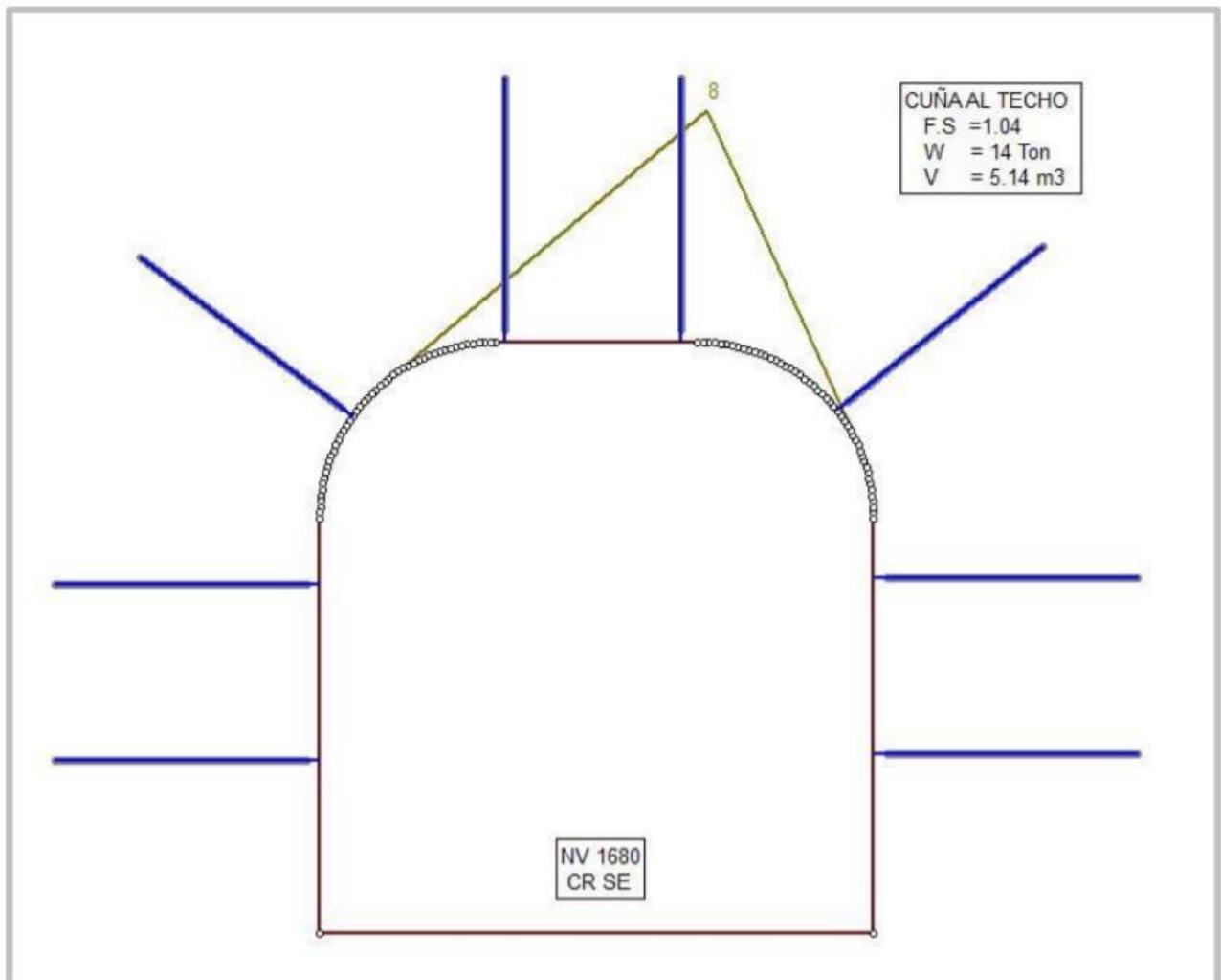
**Nota:** Mediante el análisis con el Software DIPS, se modeló el comportamiento cinemático de las fracturas y fallas que forman cuñas, las cuales tienen un 80% de probabilidad de deslizamiento en dirección al avance.

### Análisis de estabilidad de cuñas

Debido a la presencia de formación de cuñas, se modeló la estabilidad de estas empleando el software Unwegde, ingresando las 3 familias más representativas y 2 familias que en campo evidenciaron la formación de cuñas, tanto a la corona como hacia los radios de corona- hastial. El modelado pudo determinar la formación de 3 cuñas, de las cuales la más representativa (que se forma hacia la corona), presenta una masa de 14 toneladas y un volumen de 5.14 m<sup>3</sup>, con un F.S. de 0.65 sin sostenimiento y un F.S. de 1.04 con el sostenimiento actual de P.H. 7' + malla 2x2, con lo cual, considerando que la CR SE del NV 1680 es una labor permanente, no es recomendable continuar solo con este elemento de sostenimiento, como se aprecia en la figura 3.

#### Figura 3

*Estabilidad de la cuña más representativa*

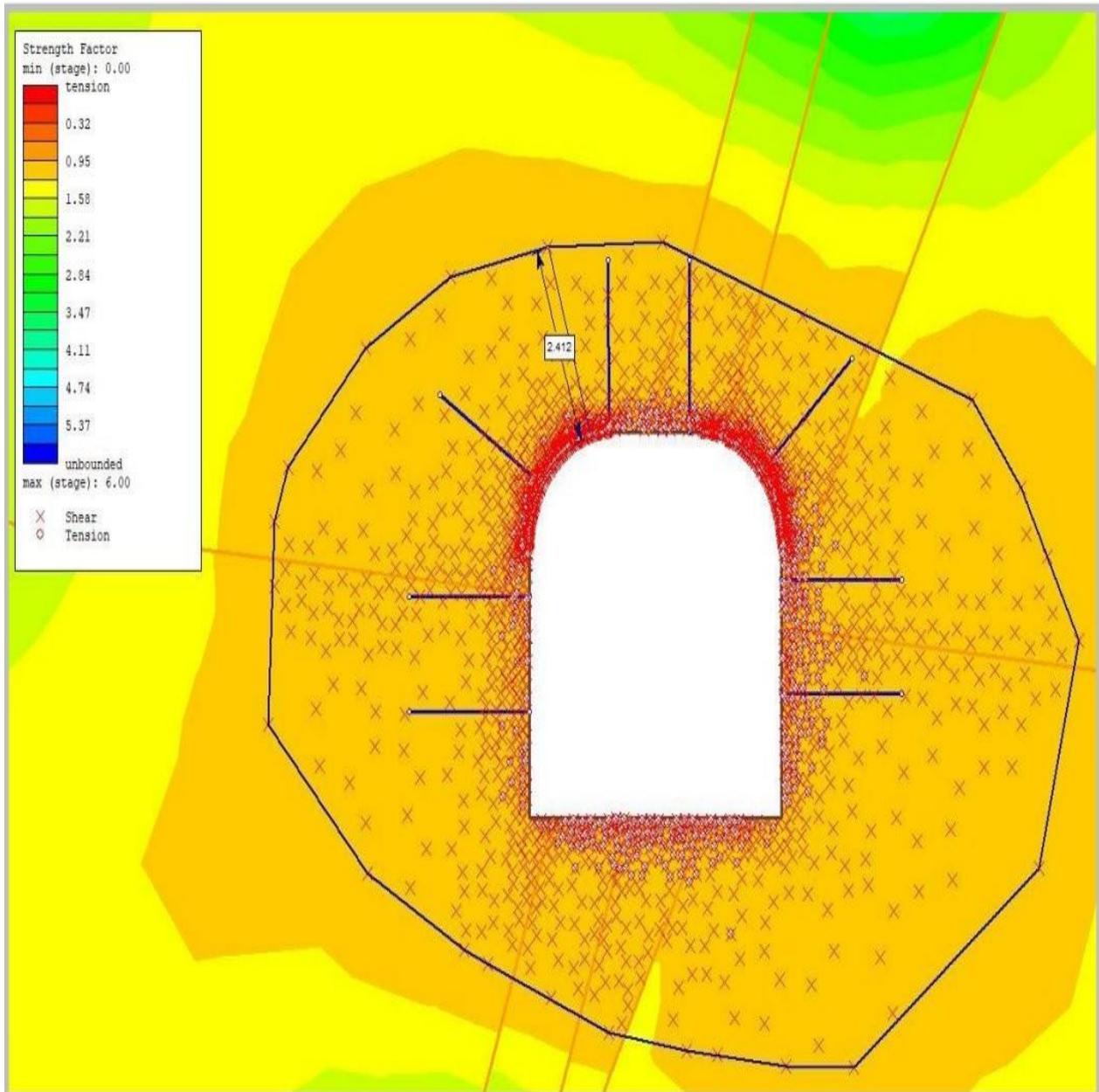


## Análisis Plástico

Mediante el análisis de elementos finitos realizado con el software RS2, se ha realizado el modelamiento numérico de la estabilidad actual de la CR SE del NV 1680. Para lo cual se ha considerado un modelamiento plástico, debido a la formación de cuñas y presencia de relleno suave. Con este modelamiento plástico se obtuvo que la zona plástica alcanza una altura de 2.4 metros por encima de la corona, por lo cual no se garantiza la estabilidad, sosteniendo con P.H. de 7' + malla 2x2, como se aprecia en la figura 4.

**Figura 4**

*Análisis plástico del corte transversal con sostenimiento actual*



### **3.3. Diseño de la dosificación óptima y el proceso de lanzamiento de Shotcrete por vía húmeda para el sostenimiento de las labores de avance en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A.**

Somos una empresa líder a nivel local dedicada a brindar el servicio de sostenimiento con shotcrete convencional en minería, con calidad y seguridad, buscando la satisfacción de nuestro cliente y grupos de interés.

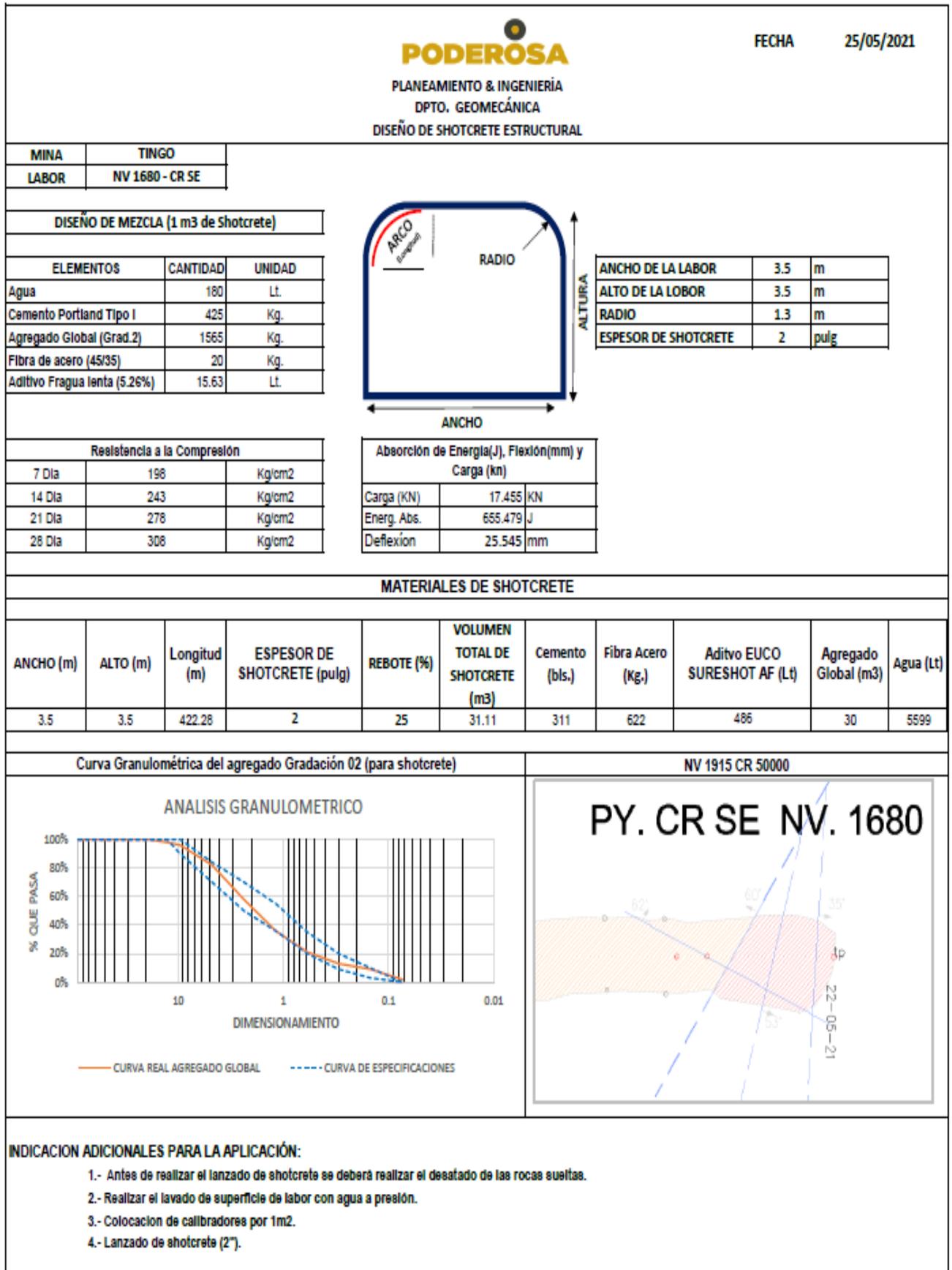
En la actualidad la empresa corporación Chino Mike E.I.R.L. realiza labores de sostenimiento vía húmeda en las instalaciones de la Empresa Minera Poderosa S.A. Teniendo como objetivo cumplir con los estándares indicados por el departamento de Geomecánica y haciendo que su cuadrillo de lanzamiento de Shotcrete labore con los requerimientos mínimos para el sostenimiento con shotcrete vía húmeda, en labores abiertas, que permita un soporte adecuado para el tipo de roca.

El sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, serán determinados de acuerdo al estudio Geomecánicos de las labores mineras, en calidad de roca mala, con RMR de rango 21a 40.

El espesor será de 2 pulgadas (5 centímetros), 3 pulgadas (7.5 centímetros) y 4 pulgadas (10 centímetros), según evaluación geomecánica. En el caso de la labor materia de este estudio, se está lanzando Shotcrete de 2 pulgadas de espesor.

Para el control del espesor, se utilizará calibradores de plástico o madera, uno por metro cuadrado y su longitud dependerá del espesor adecuado al terreno a soportar.

**Figura 5**  
*Diseño de Shotcrete Estructural*



**Tabla 4**  
**Diagrama de Análisis del Proceso de Shotcrete (Actual)**

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO						
Diagrama No. 1 Hoja No. 1		OPERARIO ■	MATERIAL ■	EQUIPO ■		
Objetivo:		RESUMEN				
Analizar los procesos de lanzado de Shotcrete		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO		
Proceso analizado:		Operación	7			
Lanzado de Shotcrete		Transporte	2			
		Espera	2			
Metodo:		Inspección	14			
Actual ■ Propuesto □		Almacenamiento	2			
Localización: Mina Tingo		Área Trabajada (m3)	3			
		Tiempo (hr/hombre)	8horas/480 minutos			
Operario: Trabajador		Costo	200 soles/hora			
		Total	1600 soles			
Elaborado por:	Fecha:	Comentarios		Los Procesos deben ser mejorados.		
	10/11/2021					
Aguilar Rondo Homero Alexander						
Descripción	Cantidad	Tiempo	Símbolo			Observaciones
			○	⇨	D	
Transporte de material	1	20	●			PRIORITARIO
Coordinación de Transporte	1	10		●		SE PUEDE COORDINAR ANTES
Inspeccion de los materiales	1	5			●	SE PUEDE REALIZAR ANTES
Descarga de los materiales para la ejecución de la actividad	1	15			●	PRIORITARIO
Desatado de roca suelta	1	20	●			PRIORITARIO
Limpieza de labor por parte de Scoop	1	110		●		SE PUEDE REALIZAR HORAS ANTES
Regado de la labor	1	5	●			PRIORITARIO
Calibrado de la labor	1	10	●			PRIORITARIO
Limpieza de la labor/roca suelta	1	10	●			PRIORITARIO
Instalación de los Equipos	1	30	●			PRIORITARIO
Verificación de los Equipos	1	5			●	PRIORITARIO
Verificación del Supervisor	1	10			●	PRIORITARIO
Prueba de Slump	5	25			●	PRIORITARIO
Toma de Probetas para pruebas	6	30			●	PRIORITARIO
Lanzado de Shotcrete	1	120	●			PRIORITARIO
Inspección del Supervisor a la labor	1	15			●	PRIORITARIO
Limpieza de Equipos	1	20	●			PRIORITARIO
Traslado para guardar Equipos	1	20		●		SE PUEDE DISPONER DE ESPACIO
TOTAL		27	480			

**Nota:** Se elaboró el Diagramas de Análisis de Procesos (DAP), de este modo se pudo determinar las actividades involucradas en el proceso de lanzado de shotcrete y el tiempo de ejecución.

Se puede apreciar que son 27 las actividades realizadas, con un tiempo de ejecución de 480 minutos y un gasto total de 1600 soles en todo el proceso de lanzado de shotcrete.

En la dosificación de shotcrete optimizada se tiene que para 1 m<sup>3</sup> de shotcrete la cantidad de agua, cemento, agregado, fibra de acero y aditivo debe ser 180 L, 425 kg, 1565 kg, 20 kg y 15.56 L respectivamente; en ese sentido se han podido obtener resultados en cuanto a resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días resistencias a la compresión de 198, 243 278 y 308 kg/cm<sup>2</sup>

La dosificación de la mezcla referente al agua cemento(a/c) estará en el rango de 0.40 - 0.45.

La dosificación por metro cubico (m3) de mezcla será el siguiente:

**Tabla 5**

*Dosificación de materiales por metro cúbico*

Relación Agua / Cemento	180 litros
Cemento	425 kg (10 bolsas)
Agregados	1500 a 1700 kg

La dosificación de fibra de acero por metro cúbico de mezcla, será el siguiente:

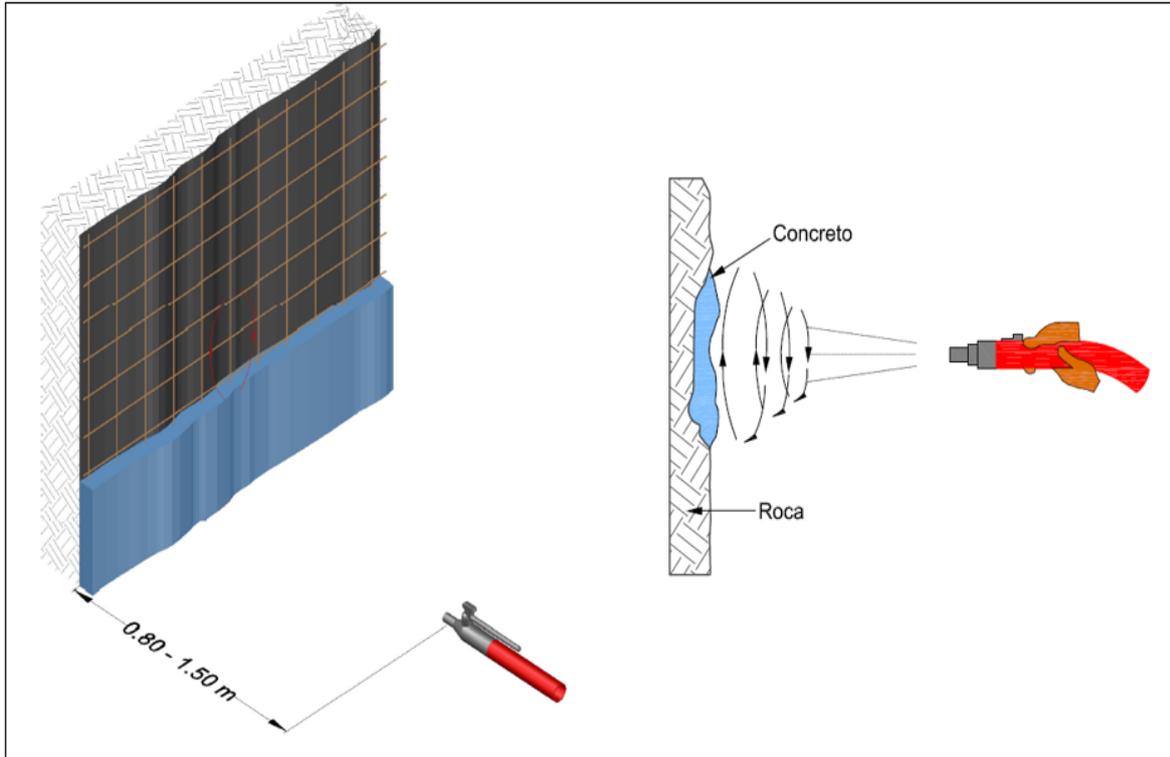
**Tabla 6**

*Dosificación de Fibra de Acero por metro cúbico*

Tipo de Macizo Rocoso IV-A	25 kg
Tipo de Macizo Rocoso IV-B	30 kg
Tipo de Macizo Rocoso V	30 kg
Aditivo acelerante de fraguado	8.5% máximo en relación al cemento
Plastificante	1.4% máximo en relación al cemento

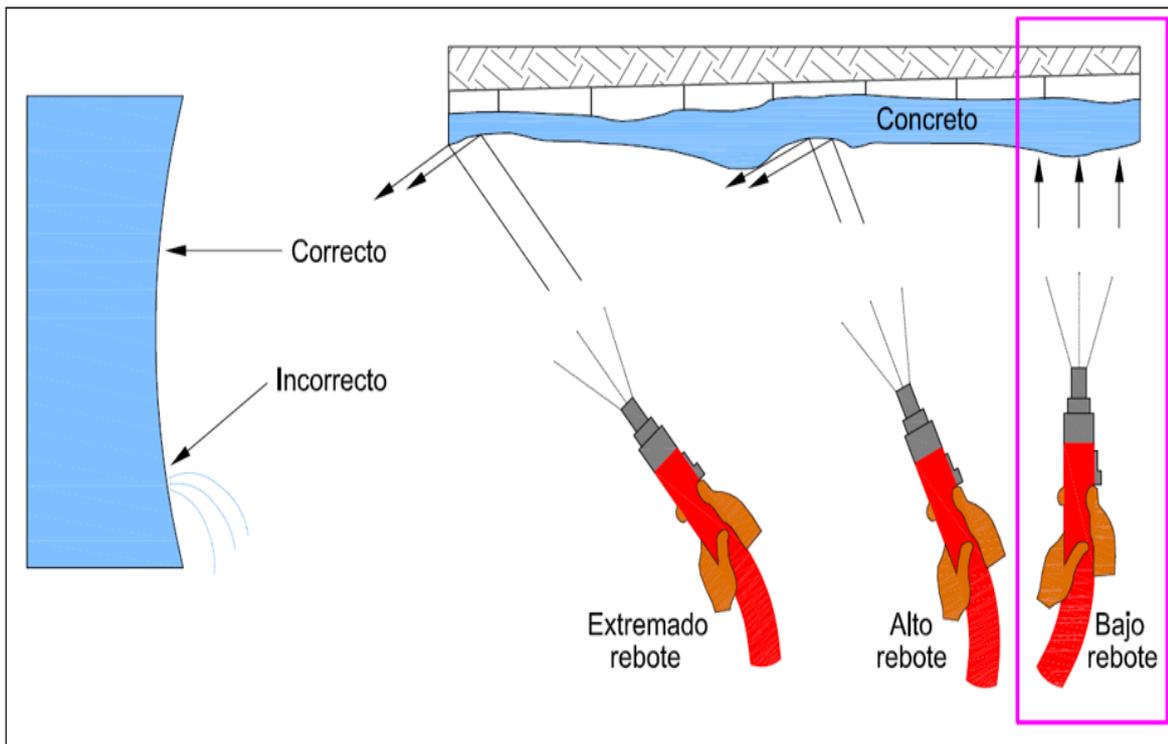
Para el lanzado del Shotcrete se debe colocar la boquilla de la tobera a una distancia no mayor de 1.50 metro ni menor de 0.80 metro, con el objeto de evitar el incremento del rebote (Figura 6).

**Figura 6**  
*Distancia de Lanzado*



El rebote del Shotcrete en vía húmeda estará en el rango de 10% a 15%.

**Figura 7**  
*Forma de Lanzado para evitar excesivo Rebote.*



La resistencia del Shotcrete en condiciones normales será de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y las pruebas de resistencia a la compresión se realizarán a los 7, 14, 21 y 28 días.

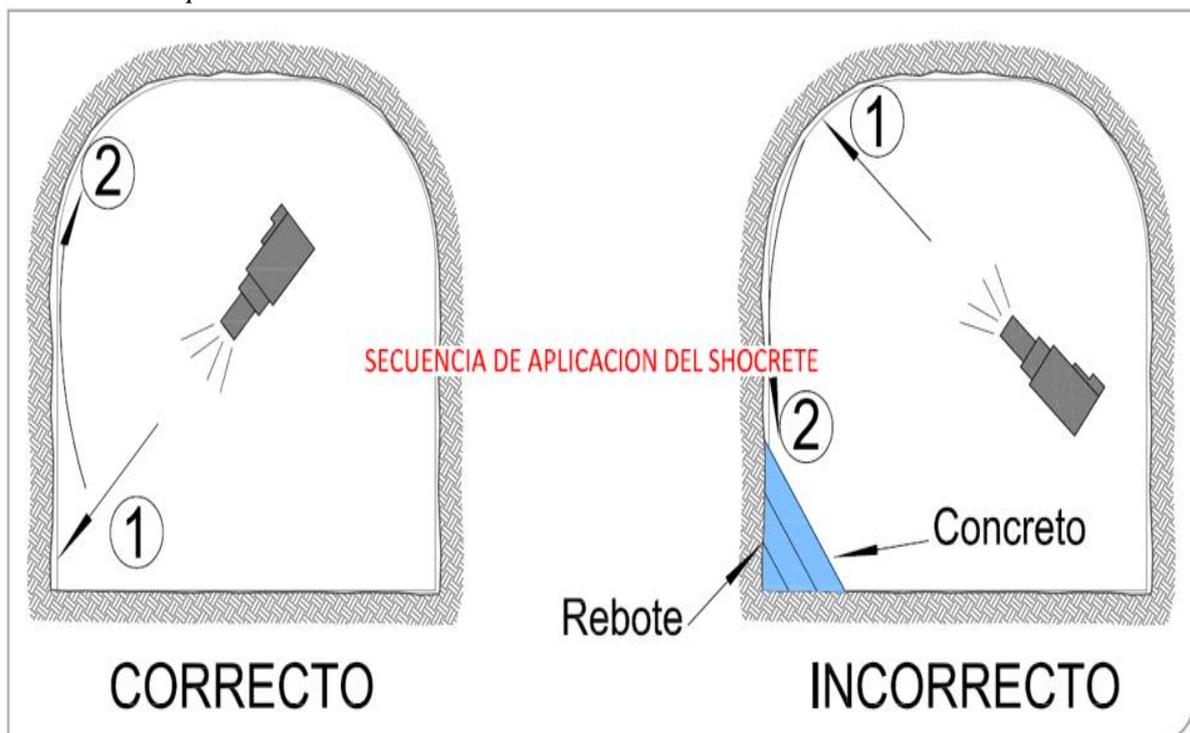
**Tabla 7**  
*Resistencia a la Compresión*

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>	
7 días	198.000 kg/cm <sup>2</sup>
14 días	243.000 kg/cm <sup>2</sup>
21 días	278.000 kg/cm <sup>2</sup>
28 días	308.000 kg/cm <sup>2</sup>

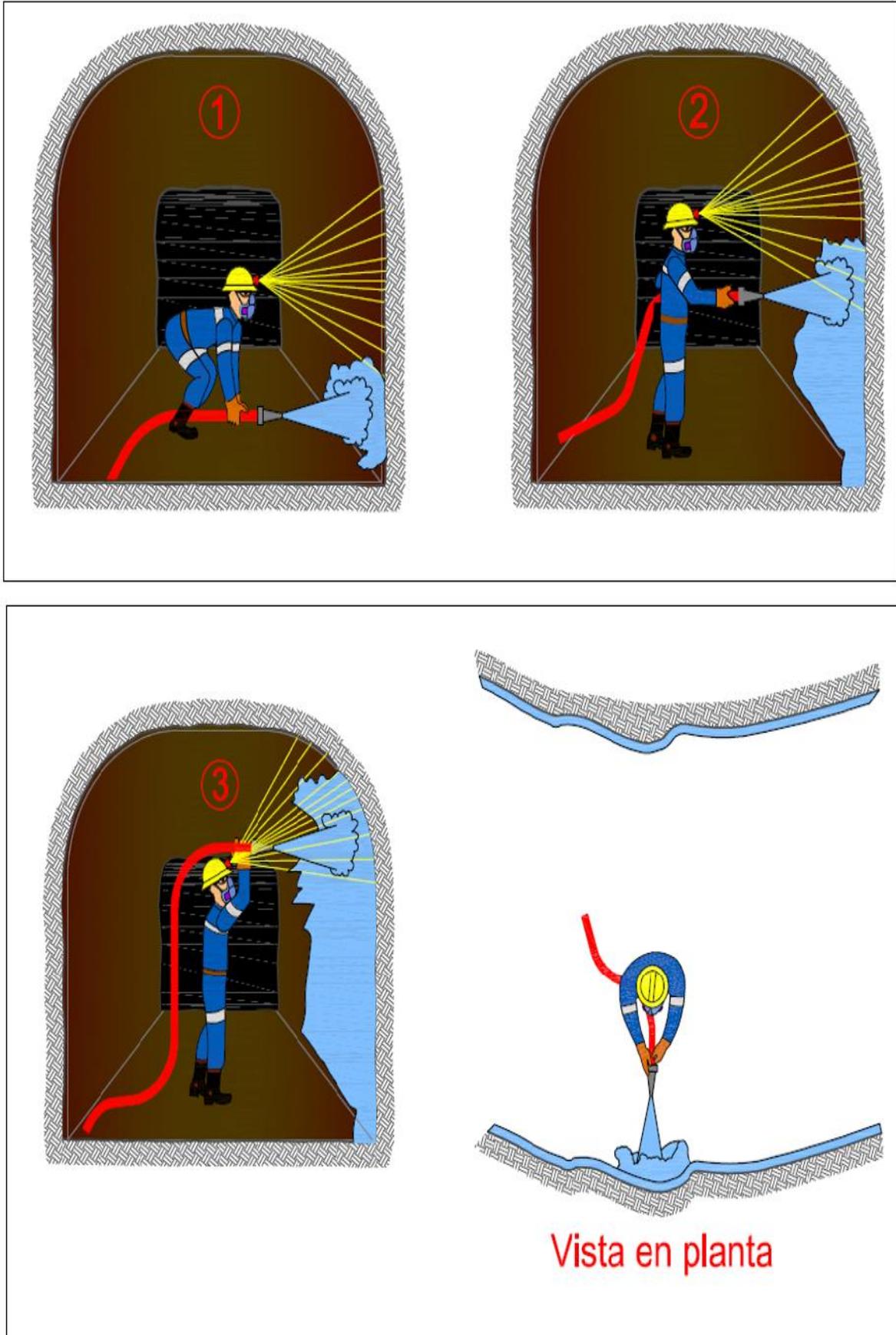
**Nota:** Se toman probetas de muestras cada 40 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de lanzado de Shotcrete, las cuales son llevadas a laboratorio para las pruebas respectivas.

A continuación, mediante figuras se detalla la secuencia de la correcta aplicación del Shotcrete y el correcto lanzado de Shotcrete, la posición correcta del lanzado. Esto reducirá el efecto de rebote del concreto lanzado, mejor eficacia para el sostenimiento de la labor y mayor efectividad en todo el proceso operativo (figura 8 y 9).

**Figura 8**  
*Secuencia de Aplicación del Lanzado de Shotcrete*



**Figura 9**  
*Posición Correcta del lanzamiento de Shotcret*



**Tabla 8**  
*Promedio % de rebote*

CONTROL DEL % DE REBOTE DEL SHOTCRETE											FECHA: Julio-2021		
ITEM	Presión del Aire (Bar)	Código del Equipo	FECHA DE CONTROL	SUPERVISOR	MINA	NIVEL	LABOR	Balde/Trompo	Total Balde Proyectada	Cubicación Total Proyectada (m <sup>3</sup> )	Total Balde del Rebote	Cubicación del Rebote (m <sup>3</sup> )	% REBOTE
1	3.10	SHCM-02	10/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	135	2.924	15	0.325	11.11%
2	2.90	SHCM-02	11/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	135	2.924	15.5	0.336	11.48%
3	4.00	SHCM-02	12/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	135	2.924	12.3	0.266	9.11%
4	4.00	SHCM-02	13/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	117	2.534	10	0.217	8.55%
5	3.20	SHCM-02	14/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	72	1.559	7.9	0.171	10.97%
6	3.90	SHCM-02	15/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	135	2.924	11.5	0.249	8.52%
7	3.90	SHCM-02	16/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	112.5	2.437	11	0.238	9.78%
8	3.20	SHCM-02	17/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	67.5	1.462	7	0.152	10.37%
9	4.20	SHCM-02	18/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	157.5	3.411	11.9	0.258	7.56%
10	4.00	SHCM-02	19/07/2021	NIZAMA	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	148.5	3.216	12.5	0.271	8.42%
11	3.10	SHCM-02	20/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	157.5	3.411	18	0.390	11.43%
12	3.90	SHCM-02	21/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	90	1.949	8	0.173	8.89%

CONTROL DEL % DE REBOTE DEL SHOTCRETE											FECHA: Julio-2021		
ITEM	Presión del Aire (Bar)	Código del Equipo	FECHA DE CONTROL	SUPERVISOR	MINA	NIVEL	LABOR	Balde/Trompo	Total Balde Proyectada	Cubicación Total Proyectada (m <sup>3</sup> )	Total Balde del Rebote	Cubicación del Rebote (m <sup>3</sup> )	% REBOTE
13	3.30	SHCM-02	22/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	90	1.949	9	0.195	10.00%
14	3.40	SHCM-02	23/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	157.5	3.411	14.7	0.318	9.33%
15	3.10	SHCM-02	24/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	112.5	2.437	12.5	0.271	11.11%
16	3.50	SHCM-02	25/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	135	2.924	10.9	0.236	8.07%
17	3.40	SHCM-02	26/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	180	3.898	17	0.368	9.44%
18	4.40	SHCM-02	27/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	121.5	2.631	8.5	0.184	7.00%
19	3.50	SHCM-02	28/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	135	2.924	10.9	0.236	8.07%
20	3.40	SHCM-02	29/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	94.5	2.047	9.5	0.206	10.05%
21	3.20	SHCM-02	30/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	67.5	1.462	7	0.152	10.37%
22	3.80	SHCM-02	31/07/2021	REYNALDO	KAROLA	1680	CR-SE	4.5	157.5	3.411	15	0.325	9.52%

**Nota:** Porcentaje tomados entre los días 10 de julio al 31 de julio del 2021.

### **3.4. Optimización de la labor y el porcentaje de avance en cuanto a cumplimiento mediante el sostenimiento con Shotcrete en el nivel 1680 Cortada Sur, Compañía Minera Poderosa S.A.**

#### **Optimización de la labor con el Sostenimiento Shotcrete Vía Húmeda**

Debido a que la zona plastificada no puede ser controlada con el sostenimiento de P.H. de 7' + malla galvanizada de 2x2, se requiere reforzar el tipo de sostenimiento. Debido a la formación de falsas cajas tanto en la corona como hastiales y la formación de cuñas hacia la corona, se plantea el lanzamiento de shotcrete de 2" ( $\sigma_c = 23.5 \text{ MPa}$ ) como reforzamiento al sostenimiento de P.H. de 7' + malla galvanizada de 2x2. Esta propuesta ha sido modelada tanto para la estabilidad de la cuña (con el software UNWEDGE), como para la estabilidad de la zona plástica (con el software RS2).

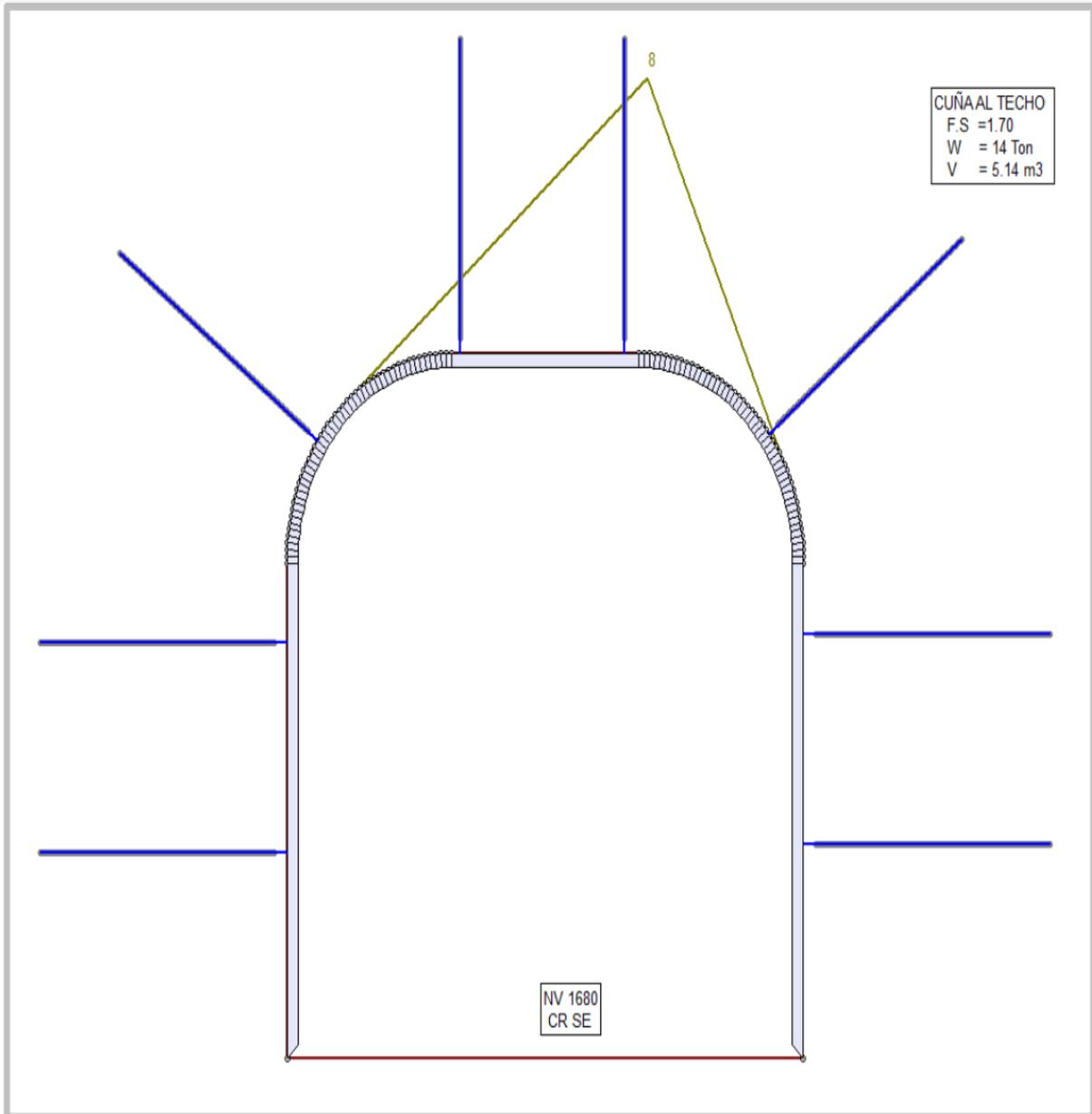
A continuación, se detallada la estabilidad lograda con el shotcrete de 2", las mismas que fueron corroboradas tanto en campo, en laboratorio y mediante software, todas ellas realizadas a la labor.

#### **Estabilidad de Cuñas**

Al modelado anterior (figura 3), se le adicionó una capa de shotcrete de 2" la misma que fue lanzada como tipo de sostenimiento en la labor, con lo cual se logra obtener un F.S. de 1.70 para la cuña más desfavorable (anteriormente con F.S. = 1.04), con lo cual se tendría totalmente controlada la cuña, como se evidencia en la figura 10.

**Figura 10**

*Estabilidad de la cuña más representativa, después del lanzamiento de shotcrete de 2''*



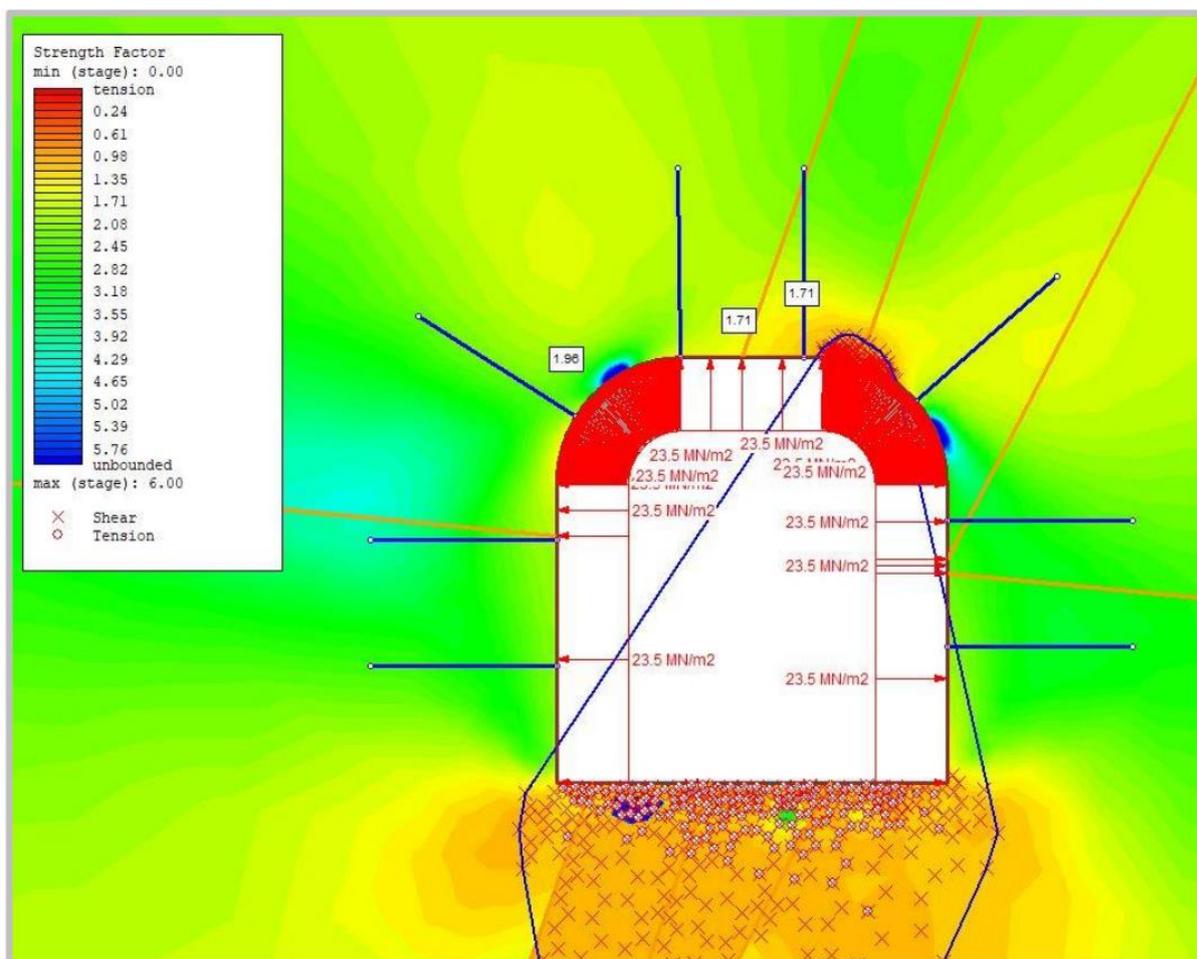
**Nota:** Con esta simulación queda en manifiesto que el reforzamiento realizado con shotcrete al sostenimiento existente, es el adecuado por mejorar el factor de seguridad en toda la labor y se debe de seguir dando este sostenimiento por ser una labor permanente.

## Estabilidad de la zona Plástica

Así mismo, se modeló el comportamiento de la zona plástica, con la resistencia que indica el estándar (para un lanzado de shotcrete de 2”), verificando que la zona plástica es controlada totalmente con el sostenimiento con shotcrete de 2”. actualmente ya proyectado, obteniendo valores del F.S. de 1.71 a 1.96 (anteriormente los valores eran de 1.04) como se evidencia en la figura 11.

**Figura 11**

*Modelamiento plástico con sostenimiento con shotcrete de 2”*



**Nota:** *Queda en manifiesto que, según el análisis de estabilidad de la cuña, el F.S. de la cuña más desfavorable es de 1.04 con sostenimiento con P.H. de 7', lo cual no es recomendable para una labor permanente y según el análisis de elementos finitos (con el software RS2) se pudo determinar que el radio plástico tiene una longitud aproximada de 2.4 metros, lo que implica que el sostenimiento con P.H. no garantizaría la estabilidad de la labor y fue muy apropiado el reforzamiento con shotcrete vía húmeda de 2” en toda labor, la misma que está en constante evaluación por parte del departamento de geomecánica.*

## **Pruebas realizadas al Shotcrete para comprobar su fiabilidad y resistencia**

Para analizar la eficiencia de los procesos y métodos utilizados para el sostenimiento de Shotcrete vía húmeda que han sido ejecutados por parte de Corporación Chino Mike E.I.R.L., se hace una serie de pruebas y análisis tanto en campo como en laboratorios de la Compañía Minera Poderosa S.A.

Al realizar estos procedimientos, se tendrá certeza que la empresa Corporación Chino Mike E.I.R.L. a seguido todos los parámetros indicados por el departamento de Geomecánica, los mismos que nos han sido facilitados para regirnos con los parámetros estipulados.

A continuación, presentamos las distintas pruebas que se realizan al trabajo realizado tanto en campo y laboratorio.

### **Seguimiento en campo del shotcrete en estado fresco; Control de Slump o Asentamiento de Shotcrete**

Tiene por objetivo realizar los controles en campo antes de realizar el lanzado de shotcrete, permitiendo ver el grado de asentamiento del shotcrete, en este caso el contratista realiza la medición por cada lanzado de shotcrete con sus accesorios como son el Cono de Abrams (Recipiente de material no absorbente – metálico), plancha metálica, espátula, cucharón, flexómetro y varilla metálica).

**Tabla 9**

Prueba asentamiento de shotcrete o control Slump

<b>PRUEBA DE ASENTAMIENTO CONTROL DE CONCRETO FRESCO ANTES DEL LANZADO</b>														
Ítem	Fecha	Turno	Equipo lanzador	Área a lanzar m <sup>2</sup>	UEA	VETA	NIVEL	LABOR	EMPRESA EJECUTORA	MINA	Tiempo Inicio del Lanzado	Tiempo Final Lanzado	Slump (cm)	Observaciones
1	10/07/2021	Día	SHCM-02	15.51	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:06	19:10	5.80	Se hizo al 8º trompo
2	11/07/2021	Día	SHCM-02	15.51	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:51	19:00	6.20	Se hizo al 7º trompo
3	12/07/2021	Día	SHCM-02	15.51	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:03	19:05	5.60	Se hizo al 9º trompo
4	13/07/2021	Día	SHCM-02	24.38	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:50	19:20	6.10	Se hizo al 15º trompo
5	14/07/2021	Día	SHCM-02	15.51	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:10	19:11	5.70	Se hizo al 6º trompo
6	15/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:55	19:00	7.20	Se hizo al 11º trompo
7	16/07/2021	Día	SHCM-02	21.05	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:53	19:18	5.80	Se hizo al 10º trompo
8	17/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:00	19:21	6.70	Se hizo al 9º trompo
9	18/07/2021	Día	SHCM-02	16.62	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:03	19:09	5.80	Se hizo al 7º trompo
10	19/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:55	19:00	7.20	Se hizo al 11º trompo
11	20/07/2021	Día	SHCM-02	21.05	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:53	19:18	5.80	Se hizo al 10º trompo
12	21/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:00	19:21	6.70	Se hizo al 9º trompo
13	22/07/2021	Día	SHCM-02	16.62	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:03	19:09	5.80	Se hizo al 7º trompo
14	23/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:55	19:00	7.20	Se hizo al 11º trompo
15	24/07/2021	Día	SHCM-02	21.05	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:53	19:18	5.80	Se hizo al 10º trompo

<b>PRUEBA DE ASENTAMIENTO CONTROL DE CONCRETO FRESCO ANTES DEL LANZADO</b>														
Ítem	Fecha	Turno	Equipo lanzador	Área a lanzar m <sup>2</sup>	UEA	VETA	NIVEL	LABOR	EMPRESA EJECUTORA	MINA	Tiempo Inicio del Lanzado	Tiempo Final Lanzado	Slump (cm)	Observaciones
16	25/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:00	19:21	6.70	Se hizo al 9º trompo
17	26/07/2021	Día	SHCM-02	16.62	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:03	19:09	5.80	Se hizo al 7º trompo
18	27/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:17	19:20	7.30	Se hizo al 10º trompo
19	28/07/2021	Día	SHCM-02	22.16	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:55	19:19	6.30	Se hizo al 10º trompo
20	29/07/2021	Día	SHCM-02	21.05	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:10	18:55	5.80	Se hizo al 6º trompo
21	30/07/2021	Día	SHCM-02	18.84	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	18:17	19:20	7.30	Se hizo al 10º trompo
22	31/07/2021	Día	SHCM-02	22.16	MARAÑON	KAROLA	1680	CR-SE	Chino Mike	TINGO	17:55	19:19	6.30	Se hizo al 10º trompo
				<b>TOTAL</b>	<b>415.52</b>							<b>TOTAL</b>	<b>6.31</b>	

**Nota:** Pruebas medidas tomados entre los días 10 de julio al 31 de julio del 2021.

## **Seguimiento en campo resistencia temprana**

El departamento de Geomecánica de CMPSA ha establecido como mínimo 2.5Mpa de resistencia temprana para retomar los trabajos de avance en interior mina después del sostenimiento con shotcrete, dicho resultado debe registrarse pasada las 4 horas después de su aplicación empleando el diseño actual de shotcrete. El ensayo en mención se realiza respetando el procedimiento normalizado que es mencionado en la UNE EN 14488-02. Para lo cual se dispondrá de equipos de medición tales como:

- Penetrómetro manual con aguja de 3 mm de diámetro:

Control del tiempo de fraguado inicial del Shotcrete y evitar desprendimientos de Shotcrete en el proceso de lanzado.

- Pistola Hilti L140, clavos de 80 y fulminantes de color verde:

Control de resistencias a horas del Shotcrete (llegar a una resistencia de 2.5Mpa) para la perforación y voladura del frente y evitar desprendimiento en el proceso de perforación

- Pull-Tester4 para la tracción de los clavos:

Es la resistencia de rotura a tracción de cada perno, determinada por cada fabricante, dividida por un factor de seguridad en el diseño de la solución, será la resistencia o carga de trabajo que deben soportar finalmente los pernos.

## **Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial**

Una medida de la resistencia de un material. La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) es el esfuerzo de compresión axial máximo que puede tolerar una muestra cilíndrica recta de material antes de fracturarse. Se conoce también como la resistencia a la compresión no confinada de un material porque el esfuerzo de confinamiento se fija en cero.

**Tabla 10**  
*Resistencia a la Compresión del concreto a los 14, 21 y 28 días de ensayo.*

**INFORME RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C 39/ C42/C42M-18a**

Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Area mm <sup>2</sup>	Carga maxima kg	Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	Corregido Resistencia compresion kg/cm <sup>2</sup>	Tipo falla
CR-SE-1680	29/08/2021	12/09/2021	14	75	149	4418	13200	299	299	1
	29/08/2021	12/09/2021	14	75	149	4418	13230	299	299	1
	29/08/2021	12/09/2021	14	75	149	4418	11465	260	259	1
CR-SE-1680	4/09/2021	18/09/2021	14	75	149	4418	12588	285	285	1
	4/09/2021	18/09/2021	14	75	149	4418	13350	302	302	1
	4/09/2021	18/09/2021	14	75	149	4418	12842	291	290	1

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C39/C39M-18**

Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Area mm <sup>2</sup>	Carga maxima kN	Resistencia a la compresion kN/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	Tipo falla
CR-SE-1680 Vetaluz	29/08/2021	12/09/2021	14	152	303	18242	34501	0.019	189	2
	29/08/2021	12/09/2021	14	152	301	18027	33492	0.018	186	2
	29/08/2021	12/09/2021	14	155	306	18869	56300	0.029	298	1
	29/08/2021	12/09/2021	14	153	307	18313	59438	0.032	325	1
CR-SE-1680 Vetaluz	7/09/2021	21/09/2021	14	152	306	18027	53511	0.029	297	1
	7/09/2021	21/09/2021	14	154	310	18506	50997	0.027	276	1
	7/09/2021	21/09/2021	14	152	306	18242	53242	0.029	292	2
	7/09/2021	21/09/2021	14	151	304	17790	51720	0.029	291	1
	7/09/2021	21/09/2021	14	151	306	17908	54297	0.030	303	2

**INFORME RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C 39/ C42/C42M-18a**

Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Area mm <sup>2</sup>	Carga maxima kg	Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	Corregido Resistencia compresion kg/cm <sup>2</sup>	Tipo falla
CR-SE-1680	29/08/2021	19/09/2021	21	75	149	4418	14395	326	326	1
	29/08/2021	19/09/2021	21	75	149	4418	14991	339	339	1
	29/08/2021	19/09/2021	21	75	149	4418	13039	295	295	1
CR-SE-1680	4/09/2021	25/09/2021	21	75	149	4418	14295	324	323	1
	4/09/2021	25/09/2021	21	75	149	4418	15167	343	343	1
	4/09/2021	25/09/2021	21	75	149	4418	14560	330	329	1

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C39/C39M-18**

Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Area mm <sup>2</sup>	Carga máxima kN	Resistencia a la compresion kN/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	Tipo falla
CR-SE-1680 Vetaluz	29/08/2021	19/09/2021	21	152	303	18242	37791	0.020	207	1
	29/08/2021	19/09/2021	21	152	301	18027	36879	0.020	205	1
	29/08/2021	19/09/2021	21	155	306	18869	61490	0.032	326	2
	29/08/2021	19/09/2021	21	153	307	18313	65242	0.035	356	1
CR-SE-1680 Vetaluz	7/09/2021	28/09/2021	21	152	306	18027	58711	0.032	326	1
	7/09/2021	28/09/2021	21	154	310	18506	56103	0.030	303	2
	7/09/2021	28/09/2021	21	152	306	18242	58220	0.031	319	1
	7/09/2021	28/09/2021	21	151	304	17790	56748	0.031	319	2
	7/09/2021	28/09/2021	21	151	306	17908	59475	0.033	332	1

**INFORME RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C 39/ C42/C42M-18a**

Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Area mm <sup>2</sup>	Carga máxima kg	Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	Corregido Resistencia compresion kg/cm <sup>2</sup>	Tipo falla
CR-SE-1680	29/08/2021	26/09/2021	28	75	149	4418	15473	350	350	1
	29/08/2021	26/09/2021	28	75	149	4418	16131	365	365	1
	29/08/2021	26/09/2021	28	75	149	4418	14019	317	317	1
CR-SE-1680	4/09/2021	2/10/2021	28	75	149	4418	15358	348	347	1
	4/09/2021	2/10/2021	28	75	149	4418	16313	369	369	1
	4/09/2021	2/10/2021	28	75	149	4418	15662	355	354	1

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO ASTM C39/C39M-18**

Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diametro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Area mm <sup>2</sup>	Carga máxima kN	Resistencia a la compresion kN/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresion kg/cm <sup>2</sup>	Tipo falla
CR-SE-1680 Vetaluz	29/08/2021	26/09/2021	28	152	303	18242	41571	0.022	228	1
	29/08/2021	26/09/2021	28	152	301	18027	40396	0.022	224	2
	29/08/2021	26/09/2021	28	155	306	18869	67690	0.035	359	1
	29/08/2021	26/09/2021	28	153	307	18313	71538	0.038	391	1
CR-SE-1680 Vetaluz	7/09/2021	5/10/2021	28	152	306	18027	64511	0.035	358	1
	7/09/2021	5/10/2021	28	154	310	18506	61683	0.033	333	2
	7/09/2021	5/10/2021	28	152	306	18242	63942	0.034	351	1
	7/09/2021	5/10/2021	28	151	304	17790	62348	0.034	350	1
	7/09/2021	5/10/2021	28	151	306	17908	65375	0.036	365	1

**Tabla 11** Diagrama de Análisis del Proceso de Shotcrete (Propuesto)

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO							
Diagrama No. 1 Hoja No. 1		OPERARIO ■		MATERIAL ■		EQUIPO ■	
Objetivo:		RESUMEN					
Analizar los procesos de lanzado de Shotcrete		ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTO			
Proceso analizado:		Operación		7			
Lanzado de Shotcrete		Transporte		1			
Metodo:		Espera		0			
Actual		Inspección		14			
Propuesto ■		Almacenamiento		1			
Localización: Mina Tingo		Área Trabajada (m3)	3				
		Tiempo (hr/hombre)	335 minutos				
Operario: Trabajador		Costo	200 soles/hora				
		Total	1116.6 soles				
Elaborado por:	Fecha:	Comentarios					
	26/11/2021						
Aguilar Rondo Homero Alexander		Se propusieron recomendaciones para los procesos.					
Descripción	Cantidad	Tiempo	Símbolo			Observaciones	
			○	➔	D		□
Transporte de material	1	20	●			PRIORITARIO	
Descarga de los materiales para la ejecución de la actividad	1	15				●	PRIORITARIO
Desatado de roca suelta	1	20	●				PRIORITARIO
Regado de la labor	1	5	●				PRIORITARIO
Calibrado de la labor	1	10	●				PRIORITARIO
Limpieza de la labor/roca suelta	1	10	●				PRIORITARIO
Instalación de los Equipos	1	30	●				PRIORITARIO
Verificación de los Equipos	1	5				●	PRIORITARIO
Verificación del Supervisor	1	10				●	PRIORITARIO
Prueba de Slump	5	25				●	PRIORITARIO
Toma de Probetas para pruebas	6	30				●	PRIORITARIO
Lanzado de Shotcrete	1	120	●				PRIORITARIO
Inspección del Supervisor a la labor	1	15				●	PRIORITARIO
Limpieza de Equipos	1	20	●				PRIORITARIO
TOTAL	23	335					

Haciendo una comparativa entre las tablas 11 y 4, queda en manifiesto que las actividades pasaron de 27 a 23, el tiempo de ejecución paso de 480 minutos a 335 minutos, todo ello gracias a la mejora de las actividades involucradas en el proceso de sostenimiento con shotcrete, y nos permitió eliminar actividades que generaban valor agregado al proceso.

Todo ello se logró con buena coordinación entre supervisor y operarios de compañía, quienes son los encargados de ejecutar las labores que más hacen demorar la ejecución del lanzado de Shotcrete, se puede ahorrar 145 minutos, lo cual a la postre generaría mayor eficacia y rentabilidad para la Empresa Corporación Chino Mike E.I.R.L, quedando plasmado en la mejora del DAP de Sostenimiento con shotcrete vía húmeda y que ha permitido reducir el costo del sostenimiento en un 30.2%, del mismo modo ha permitido mejorar el avance.

### **Porcentaje de avance en cuanto a cumplimiento programado/ejecutado**

La optimización del sostenimiento con shotcrete ha permitido mejorar el avance en los últimos 6 meses, representando un promedio del 105% en cuanto a cumplimiento en el nivel 1680 cortada sur, en ese sentido el análisis de tiempo de cada una de las actividades ha permitido reducir los costos de S/ 1600 a S/ 1116,60.

**Tabla 12**  
*Cuadro de avances*

Mes	Cuadro de Avances 2021		
	Programado	Ejecutado	Cumplimiento
Enero	90.00 m	50.50 m	56%
Febrero	90.00 m	71.20 m	79%
Marzo	90.00 m	75.80 m	84%
Abril	90.00 m	72.60 m	81%
Mayo	90.00 m	73.90 m	82%
Junio	90.00 m	88.10 m	98%
Julio	90.00 m	95.80 m	106%
Agosto	90.00 m	98.50 m	109%
Setiembre	90.00 m	91.40 m	102%
Octubre	90.00 m	92.40 m	103%
Noviembre	90.00 m	93.50 m	104%
Diciembre	90.00 m	94.70 m	105%

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIÓN

La optimización del sostenimiento con Shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur, Compañía Minera Poderosa S.A., valida la hipótesis establecida en esta investigación; en ese sentido, permitió mejorar el avance programado versus el avance ejecutado en un 105% (ver, tabla 4), teniendo un impacto en la reducción de los costos de s./1600 a s./1116.6. En la tabla 2 se muestra la clasificación de la masa rocosa, NV 1680 CR SE en donde se verifica que el RMR y Q de Barton en corona y hastiales varía entre el 31-40, 41-50 para RMR de Bieniawski y 0.24-0.64, 0.72-1.95 para Q de Barton respectivamente; por otro lado, en la figura 1 se evalúa las condiciones de zonificación del nivel 1680 cortada sur determinado los planos de falla más importantes, los mismos que mediante el análisis cinemático con el programa DIPS se determina la probabilidad de deslizamiento en la dirección del avance en un 80%. Del mismo modo, en la tabla 3 se especifica la dosificación de shotcrete optimizada; en ese sentido, se tiene que para 1 m<sup>3</sup> de shotcrete la cantidad de agua, cemento, agregado, fibra de acero y aditivo debe ser 180 L, 425 kg, 1565 kg, 20 kg y 15.56 L respectivamente.

Betancur y López (2020) clasificaron el macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina subterránea La Maruja utilizando los sistemas de clasificación RMR y Q de Barton para la estabilidad de la excavación y labores mineras, teniendo un RMR y Q de Barton entre 41-50 y 0.72-1.95 respectivamente; esto difiere de nuestros resultados ya que el RMR y Q de Barton en corona y hastiales varía entre el 31-40, 41-50 para RMR de Bieniawski y 0.24-0.64, 0.72-1.95 para Q de Barton.

Quispe (2019) determinó las condiciones del macizo rocoso para la determinación del estado tensión – deformación aplicando los programas DIPS y Phase 2; en ese sentido, se obtuvo dominios con probabilidad de deslizamiento del 75% esto como consecuencia de un tipo de roca III; por tanto, es acorde de acuerdo al análisis realizado en esta investigación

mediante el análisis cinemático en el avance del nivel 1680 cortada sur, obteniéndose una probabilidad de deslizamiento del 80%.

Medina (2019), mediante la evaluación geomecánica, permitió evitar los riesgos de accidentabilidad en las labores mineras de desarrollo, preparación y explotación en función del macizo rocoso, determinado que la evaluación geomecánica de calidad de roca con RMR se encuentra en un promedio de 42-54, esto difiere de nuestros resultados ya que el RMR encontrado varía entre 21 y 40 tanto en corona como en hastiales.

Calderón (2018), realizó la caracterización del macizo rocoso para la determinación del sostenimiento en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María, teniendo como resultado que el espesor de shotcrete y la energía de absorción es de 1 plg y 400 J respectivamente; esto difiere de los resultados encontrados en la presente investigación ya que mediante la clasificación geomecánica del terreno se obtuvo un espesor de 2 plg y una energía de absorción de 655.479 J.

Tapia (2017), optimizó el sostenimiento logrando beneficios económicos a la Cía. minera Buenaventura unidad Orcopampa, para lo cual se ha considerado que se recolectarán datos de la resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, logrando una resistencia a la compresión promedio de 223.06 kg/cm<sup>2</sup>, en ese sentido difiere de la presente investigación, debido a que nuestros resultados en cuanto a resistencia a la compresión encontrada promedio han sido de 308 kg/cm<sup>2</sup>.

Guzmán (2008), realizó los ensayos de resistencia a la compresión, concluyendo que pese al uso de una u otra fibra la resistencia a los 28 días es mayor al 100% y que para el uso del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento inmediato la resistencia a 1 día es mayor al 25%, esto difiere de nuestros resultados debido a que la resistencia alcanzada a las 24 horas es del 70% logrado así una resistencia a la compresión de 147 kg/cm<sup>2</sup>.

El estudio de la optimización del sostenimiento con shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur, tiene ciertas limitaciones, esto como consecuencia de que el macizo

rocoso no es uniforme; por tanto, es una variable que en muchos de los casos es difícil de controlar debido a que no es un medio continuo isotrópico.

Los resultados obtenidos sobre la optimización del sostenimiento con shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur permite establecer criterios para las futuras investigaciones sobre el tema en estudio, en la cual se puede utilizar otros tipos de agregado, fibras y aditivos amigables con el medio ambiente, con el objetivo de reducir el impacto ambiental.

Los resultados de la unidad de estudio facilitan a los ingenieros en la aplicación de los programas como DIPS para la predicción de deslizamiento de posibles acuñamientos, los mismos que a través de la modelación, permiten un adecuado sostenimiento oportuno. Del mismo modo, el correcto seguimiento a las actividades de desarrollo permite la reducción de los tiempos muertos.

Los hallazgos encontrados en cuanto a la optimización del sostenimiento con shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur, permitieron un performance promedio del programado versus el ejecutado en cuanto al avance en un 105%.

#### 4.2. CONCLUSIONES:

Por medio del análisis de la labor mediante los parámetros geomecánicos, el modelamiento de la labor mediante los software DIPS, UNWEDGE y RS2, se pudo obtener valor y el comportamiento real del macizo rocoso en el Nv. 1680 Cortada Sur, donde se verifica que el RMR y Q de Barton en corona y hastiales varía entre el 31-40, 41-50 para RMR de Bieniawski y 0.24-0.64, 0.72-1.95 para Q de Barton respectivamente; por otro lado, el análisis cinemático con el programa DIPS se determina la probabilidad de deslizamiento en la dirección del avance en un 80%, la cuña más desfavorable tenía una F.S. de 1.04 y un modelamiento plástico evidenció la formación de cuñas y presencia de relleno suave y la zona plástica alcanza una altura de 2.4 metros. Dejando en evidencia que se necesitaba intervenir reforzando el sostenimiento que en ese momento era de pernos de helicoidales de 7' + malla 2x2, se reforzó con shotcrete de 2", proporcionando este refuerzo mejoras en la labor, pasando de un F.S. de 1.04 a 1.70 y la zona plástica es controlada totalmente con el sostenimiento con shotcrete de 2" obteniendo valores del F.S. de 1.71 a 1.96.

Se concluye que, la roca predominante es la diorita, la misma que según la clasificación de Bieniawski posee un RMR que varía entre 31 y 50, que con el mapeo geomecánico ayudó a determinar el sistema de fallas importantes en el avance de la cortada sur.

Los resultados de la unidad de estudio facilitan a los ingenieros en la aplicación de los programas como DIPS para la predicción de deslizamiento de posibles acuñamientos, los mismos que a través de la modelación, permiten un adecuado sostenimiento oportuno. Del mismo modo, el correcto seguimiento a las actividades de desarrollo mediante el DAP nos permitió la reducción de los tiempos muertos eliminando actividades que no generaban un valor agregado al proceso, pasando de 27 a 23 actividades, el tiempo de ejecución paso de 480 minutos a 335 minutos y un ahorro de 30.2% pasando de costar S/ 1600 a S/ 1116,6.

Mediante la dosificación y aplicación correcta del shotcrete en todo su proceso de lanzado, permitió mejorar el avance en el Nv. 1680 cortada sur, permitieron un performance

promedio del programado versus el ejecutado en cuanto al avance en un 105%.

Los resultados que arrojaron los ensayos de resistencia a la compresión de las probetas de Shotcrete a los 7, 14, 21 y 28 días, fueron muy concluyentes y categóricos dando como resultados 240.5 kg/cm<sup>2</sup>, 279.4 kg/cm<sup>2</sup>, 309.9 kg/cm<sup>2</sup> y 337.4 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, asegurando un shotcrete de alta resistencia a la compresión uniaxial.

Finalmente se concluye que, debido a la condición estructural de la labor, es requerido que el avance de la labor continúe con el lanzado de shotcrete de 2” con la misma dosificación actual, como sostenimiento principal o de refuerzo, el shotcrete de 2” es el único sostenimiento que mantiene estable la labor.

Los resultados obtenidos sobre la optimización del sostenimiento con shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur permite establecer criterios para las futuras investigaciones sobre el tema en estudio, en la cual se puede utilizar otros tipos de agregado, fibras y aditivos amigables con el medio ambiente, con el objetivo de reducir el impacto ambiental.

## REFERENCIAS

- Adco, A. (2018). “Control de inestabilidad de la masa rocosa con la aplicación de refuerzo por método numérico en galería de avance nivel 2640 Contrata New Horus Mina Atahualpa-Compañía Minera Poderosa S.A”. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Barreto, F. & Sáenz, D. (2018). Diseño geomecánico de la labor subterránea pozos ricos aplicando el método gráfico de estabilidad de mathews, hualgayoc – Perú 2018. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13693>
- Betancur, B. & López, C (2019). Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/13813>
- Cueva, J. & Arana, J. (2019). Caracterización geomecánica en minería subterránea”: una revisión de la literatura científica. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15035>
- Carlos, J. (2019). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para proponer, el tipo de sostenimiento en el túnel sulluscocha del nivel 001. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22084>
- Champi, J. & Lopez, S. (2015). “Estudio comparativo de eficiencia de uso de puntales de seguridad simple y con el uso adecuado del jackpot en los tajeos de explotación del nivel 4430 de la Cia. Minera Caudalosa

Chica S.A.A.”. (tesis pre grado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica. Perú.

Duran, R. (2019). “Análisis del macizo rocoso y la determinación de sostenimiento para el control de zonas críticas propensas al estallido de rocas”. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Escalante, H. (2017). Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la empresa “MACDESA” - Arequipa. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6129>

Fabián, E. & Guerrero, J. (2017). Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la cia. minera Reyna Cristina – Áncash. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1069>

Giraldo, E. (2020). Optimización del diámetro de taladros en el sostenimiento de macizos rocosos con pernos de roca y sus efectos ambientales. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11647>

Giraldo, E. (2016). Identificación de factores para reducir accidentes por desprendimiento de rocas en minería subterránea. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/12954>

Gutiérrez, E. (2019). “Aplicación de sostenimiento activo y pasivo en etapas iniciales de la operación para mejorar la estabilidad y la seguridad, unidad minera el Porvenir Empresa Incimmet”. (tesis pre grado). Universidad de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

Herrera, D. (2020). Diseño de sostenimiento en el cruce 2130 para evitar

el desprendimiento de rocas en la unidad minera Españolita s.a.

Disponible en:

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2242>

Lazo, H. (2020). Optimización del sistema de sostenimiento de las labores subterráneas para una mina con problemas de altos esfuerzos.

Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15944>

Liz, S. (2017). Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas de la unidad Alpacay de minera yanaquihua s.a.c – año 2015. Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11175>

Marquez, G. (2016) Geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad del nivel 730-unidad minera san Cristóbal Volcan- 2016. Disponible en:

<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2745>

Mamani, L. (2018). Clasificación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería principal – Contrata Minera Peyols, U.E.A. – Ana María. Disponible en:

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8514>

Mamani, C. (2019). Caracterización del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento en excavaciones subterráneas. Disponible en:

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12371>

Matamorros, J. (2019). “Mejoramiento del sostenimiento con Shotcrete de labores permanentes con equipo robotizado en Cuerpo Esperanza - Compañía Minera Casapalca S.A.”. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5142>

Medina, R. (2019). Minimización de riesgos por caída de rocas mediante la evaluación geomecánica en la mina Heraldos Negros Compañía Minera San Valentín S.A. Huancavelica. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12885>

Quispe, V. (2019). Diseño de sostenimiento mediante la caracterización del macizo rocoso. Disponible en: <http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/12358>

Quispe, C. (2018). Optimización de costos en sostenimiento con pernos helicoidales en la unidad de producción Chalhuané de la empresa minera Soledad S.A.C. – Arequipa. Disponible en: <http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/10156>

Salazar, E. (2020). Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente unidad minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S.A. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8428>

Suasnabar, P. (2019). “Análisis técnico para la optimización del sostenimiento en los frentes de la compañía minera Casapalca S.A.”. (tesis pre grado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco, Perú.

Uchamaco, W. (2019). Evaluación geomecánica para determinar el diseño de sostenimiento en minería subterránea: caso Ana María – Rinconada. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12615>

Velasquez, J. (2019). Sostenimiento con cable bolting para estabilizar el macizo rocoso en minería subterránea mecanizada unidad Pallancata – compañía minera Hoschields S.A.A. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12909>

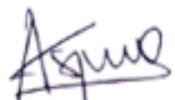


## ANEXO B: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente: Sostenimiento con Shotcrete	Al referirnos al termino optimización hacemos referencia a realizar el proceso de sostenimiento con shotcrete lo cual es una mezcla de cemento, agregado, fibra de metal y agua, proyectado neumáticamente desde una boquilla a un sitio determinado para producir una masa densa y homogénea, de una manera eficiente y eficaz (EFNARC).	El sostenimiento con Shotcrete se define como, el mortero o concreto aplicado neumáticamente y proyectado a alta velocidad, el cual nos da seguridad para operar en las labores de avance.	Dosificación del shotcrete	Granulometría  Slump Resistencia a la compresión	Intervalo
Variable dependiente: Cortada Sur	Túnel perpendicular a la veta que tiene como finalidad recuperar el mineral económicamente rentable (Pinillos,2008)	Labor horizontal con pendiente positiva que sirve para interceptar la estructura mineralizada.	Condiciones de labores  Parámetros geomecánicos	Buzamiento Clasificación de Bieniawski (RMR) Factor de seguridad	Razón  Intervalo



**Tabla C3**  
 Matriz para evaluación de expertos

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la Investigación:	Optimización del sostenimiento con Shotcrete para mejorar el avance en el nivel 1680 cortada sur, Compañía Minera Poderosa S.A.			
Línea de Investigación:	Nuevas tecnologías y sistemas de construcción			
Apellidos y nombres del experto:	Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz			
El Instrumento de medición pertenece a la variable:	Sostenimiento con Shotcrete			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	x		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	x		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	x		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	x		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	x		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	x		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	x		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	x		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	x		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	x		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	x		
Sugerencias:				
Firma del experto:				
 ..... Alberto Rubén Vásquez Díaz ING. CIVIL R. CIP. N° 166228				

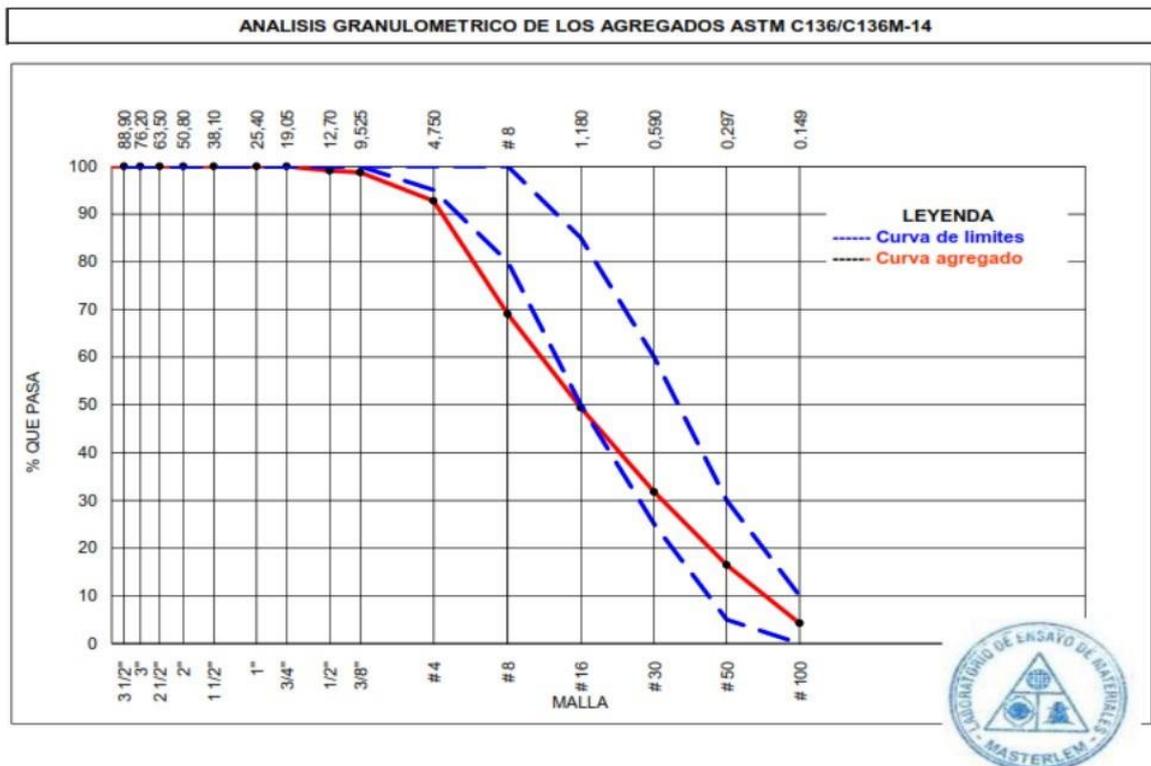
**Tabla C4**  
*Análisis granulométrico de agregados y finos*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS ASTM C136/C136M-14							
AGREGADO FINO - ARENA GRUESA				ASTM C 33/C33M-18			
Malla		Peso Ret. (g)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "Lim Sup"	ASTM "Lim Inf"
4"	101.60 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	88.90 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3"	76.20 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.50 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40 mm	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00	100.00
3/4"	19.05 mm	0.00	0.00	0.0	100.0	100.00	100.00
1/2"	12.70 mm	20.2	0.95	0.9	99.1	100.00	100.00
3/8"	9.53 mm	7.1	0.33	1.3	98.7	100.00	100.00
# 4	4.75 mm	126.8	5.9	7.2	92.8	95.00	100.00
# 8	2.36 mm	507.1	23.8	31.0	69.0	80.00	100.00
# 16	1.18 mm	417.5	19.6	50.6	49.4	50.00	85.00
# 30	0.59 mm	377.4	17.7	68.2	31.8	25.00	60.00
# 50	0.30 mm	326.4	15.3	83.5	16.5	5.00	30.00
# 100	0.15 mm	261.2	12.2	95.8	4.2	0.00	10.00
Fondo		90.1	4.2	100.0	0.0	0.00	0.00

Modulo de fineza 3.38      Tamaño maximo 3/4 Pulgada  
Tamaño maximo nominal 1/2 Pulgada



**Tabla C5**  
*Análisis de Curva Granulométrica*



**Tabla C6**
*Canales de muestreo en el nivel 1680 cortada sur*

<b>Progresiva</b>	<b>RMR Hastial</b>	<b>RMR Corona</b>	<b>Q Barton Hastial</b>	<b>Q Barton Corona</b>
0+050	42	32	1.2	0.5
0+100	44	32	1.3	0.4
0+150	43	33	1.5	0.5
0+200	45	33	1.5	0.5
0+250	42	34	1.4	0.3
0+300	43	35	1.8	0.5

**Nota:** *El muestreo de canales tanto en hastiales como corona ha permitido determinad el RMR de Bieniawski y el Q de Barton en los primeros 300 metros del nivel 1680 cortada sur.*

**Figura C1**  
Cartilla geomecánica

		CARTILLA GEOMECÁNICA <span style="float: right;">Rev.01</span>				
		LABORES DE EXPLOTACIÓN Y AVANCES				
<b>Indice de Resistencia Geológica (GSI)</b>		<b>Condición Superficial (Golpes de picota)</b>				
<b>ESTRUCTURA Grado de fracturamiento</b>  <i>Se basa en la cantidad de fracturas por metro cuadrado, medidos insitu con flexometro.</i>		<i>Con 3 o mas Golpes de Picota</i>	<i>Con 1 o 2 Golpes de Picota</i>	<i>Superficialmente (&lt;5 mm)</i>	<i>Mas de 5 mm.</i>	
		B	R	P	MP	
		Buena	Regular	Pobre	Muy Pobre	
<b>Condición Estructural - Fracturas/m<sup>2</sup></b>	<b>LF</b> 2 a 5 Levemente Fracturada	A LF/B	B LF/R	—		
	<b>F</b> 6 a 11 Moderadamente Fracturada	B F/B	C F/R	D F/P		—
	<b>MF</b> 12 a 20 Muy Fracturada	C MF/B	D MF/R	E MF/P	F MF/MP	
	<b>IF</b> >20 Intensamente Fracturada	D IF/B	E IF/R	F IF/P	F IF/MP	

<b>TIPOS DE SOSTENIMIENTO LABORES DE EXPLOTACIÓN (Tajeos)</b> <b>(TEMPORALES &lt; 1 AÑO) desde 1.5 x 1.5 hasta 3.0 x 3.0 m</b> <b>BUZAMIENTO DE VETA &gt; 45°</b>			
PARAMETROS GEOMECANICOS		ANCHO DE MINADO > 2.4m.	ANCHO DE MINADO <= 2.4m.
CALIDAD	RMR		
A	81-100	Split Set de 7' sist. según estandar en caja techo-piso y zona mineralizada.	Puntal c/ jackpot sist. esp. a 1.8m en las cajas + split set sist. esp. 1.80m.
B	61-80	Split Set de 7' sist. según estandar en caja techo-piso y zona mineralizada.	Puntal c/ jackpot sist. esp. a 1.50m Split Set de 5' sist. según estandar en la caja techo - piso y zona mineralizada.
C	51-60	Split Set sist. + malla electrosoldada según estandar en caja techo-piso y zona mineralizada.	Puntal c/ Jackpot sist. esp. 1.30m en las cajas + Split Set sist de 5'. esp. a 1.20m en zona mineralizada.
D	41-50	Perno Helicoidal sist. + malla electrosoldada según estandar en caja techo-piso y zona mineralizada.	Perno Helicoidal sist. + malla electros. en cajas y zona mineralizada, en falsas cajas reforzar con puntales c/ Jackpot donde requiere.
E	21-40	Cuadros de madera según estandar con guarda cabeza en dirección al minado.	Cuadros de madera esp. 1.50 m con guarda cabeza en dirección al minado.
F	<20	Cuadros de madera esp. 1.00m con marchavantes en dirección al minado.	Cuadros de madera esp. 1.0m con guarda cabezas en dirección al minado.

<b>BUZAMIENTO DE VETA &lt; 45°</b>			
PARAMETROS GEOMECANICOS		ANCHO DE MINADO > 2.4M	ANCHO DE MINADO (1.5M A 2.4M)
CALIDAD	RMR		
A	81-100	Split Set sist. long. según sección esp. a 1.5m reforzado con Wood Pack 2x2m sist. esp. a 3.0m.	Puntal sist. esp. a 1.80m. Reforzar con Wood Pack 1x1m sist. esp. a 3.0m
B	61-80	Split Set sist. long. según sección esp. a 1.5m reforzado con Woodpack 2x1m sist. esp. a 3.0m.	Puntal c/ Jackpot sist. esp. a 1.50 m. Reforzar con Woodpack 1x1m donde lo requiere.
C	51-60	Pernos Helicoidales y/o Split Set long. según sección esp. 1.50m reforzado con Woodpack 1X1m sist. esp. a 3.0m.	Puntal c/ Jackpot sist. esp. a 1.50m. Reforzar con Woodpack 1x1m sist. esp. a 3.0m.
D	41-50	Pernos Helicoidales según sección esp. 1.30m reforzado con Woodpack 1X1m sist. esp. a 3.0m.	Puntal c/ Jackpot sist. esp. a 1.3m. Reforzar con Woodpack 1x1m sist. esp. a 3.0m.
E	21-40	Cuadro de madera esp. a 1.30m con guarda cabeza en dirección al minado reforzado con Cribbing sist. esp. 2.0m.	Cuadro de madera esp. a 1.30m con guarda cabeza en dirección al minado reforzado con Cribbing sist. esp. 2.0m.
F	<20	Cuadro de madera esp. a 1.00m con guarda cabeza en dirección al minado reforzado con Cribbing sist. esp. 2.0m.	Cuadro de madera esp. a 1.20m con guarda cabeza en dirección al minado reforzado con Cribbing sist. esp. 2.0m.

**Figura C2**  
*Cartilla con tipos de sostenimiento*

### TIPOS DE SOSTENIMIENTO

**LABORES DE AVANCE (TEMPORAL < 1 AÑO)**  
(SN, BP, ESCM, RA, CH) desde 1.2 x 1.8 m hasta 3.0 x 3.0 m

PARAMETROS GEOMECANICOS		UEA LIBERTAD - UEA LA PODEROSA DE TRUJILLO
CALIDAD	RMR	
A	81-100	Split Set ocasional.
B	61-80	Split Set sist. esp. según estándar por sección de labor. Para el caso de CH, Puntal c/jackpot sistematico esp. segun estandar.
C	51-60	Split Set + malla electrosoldada según estándar por sección de labor. Para el caso de CH, Puntal c/jackpot sistematico esp. segun estandar.
D	41-50	Perno Helicoidal sist. + malla electrosoldada según estándar. Para el caso de CH, Puntal c/jackpot sistematico esp. segun estandar.
E	21-40	Cuadro de madera esp. 1.5m con guarda cabeza.
F	<20	Cuadro de madera esp. 1.0m con guarda cabezas.

Para el caso de los SN con seccion de 1.2 x 1.8 m se aplica sostenimiento puntual donde requiere y/o solo desate manual constante a lo largo del SN.

**LABORES DE AVANCE (PERMANENTE > 1 AÑO)**  
(CR, BP, RA, GL, ESCM) desde 2.5x2.7 m hasta 4.5x 4.5m

PARAMETROS GEOMECANICOS		UEA LIBERTAD - UEA LA PODEROSA DE TRUJILLO
CALIDAD	RMR	
A	81-100	Perno Helicoidal ocasional.
B	61-80	Perno Helicoidal ocasional.
C	51-60	Perno Helicoidal sist. esp. según estándar por sección de labor.
D	41-50	Perno Helicoidal sist. + malla electrosoldada según estándar.
E	21-40	Shotcrete de 2" - 4" (c/F) + Perno Helicoidal con malla electrosoldada ó Cimbras metálicas esp. a 1.5m con guarda cabeza.
F	<20	Cimbras metálicas esp. de 0.8 a 1.0m con guarda cabeza.

### CONSIDERACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO

- 1.- Longitud del perno a usar:  
De acuerdo a estandar por tamaño de sección.
- 2.- El tiempo de colocacion del sostenimiento:  
De manera inmediata, no aplica Tiempo de Autoaporte.
- 3.- Para espaciamento entre puntales y cuadros:  
Los espaciamientos indicados refieren a la luz interna entre puntales o cuadros.
- 4.- Para Chimeneas mecanizadas tipo RC y RB  
El sostenimiento se realizará de acuerdo a un estudio geomecánico y/o estandar de sostenimiento.
- 5.- Para zonas con eventos de relajamiento:  
Sostener con perno más malla electrosoldada o galvanizada al tope de la labor.
- 6.- Polvorines, refugio minero estacionarios, comedores:  
Labor de infraestructura, sostener con shotcrete mas pernos sistematicos,y/o segun estudio geomecánico.
- 7.- CM DH, subestaciones, Camara de bombeo/Refugio Movil, cámaras de izaje, :  
Sostener con pernos sistematicos más malla electrosoldada.
- 8.- Para el sostenimiento en intersecciones:  
Se realizará segun estandar de SOSTENIMIENTO EN INTERSECCIONES.
- 9.- Con respecto a los métodos de explotación:

VETAS CON BUZ	ANCHOS DE MINADO			
	Mayor a 2.40m.		Menor a 2.40m.	
	U.P. SM & MÑ	U.P. SM & MÑ	U.P. SM	U.P. MÑ
	Calidad de roca (D, E, F)	Calidad de roca (A, B, C)	Calidad de roca (D, E, F)	Calidad de roca (A, B, C)
Mayor a 45°	Corte y Relleno ascendente (perforación en breasting)	Corte y Relleno ascendente (perforación en breasting)	Corte y Relleno ascendente (perforación en breasting)	Corte y Relleno ascendente (perforación en realce)
Menor a 45°	Long Wall con P/V breasting para un cuadro	Long Wall con P/V breasting masivo	Long Wall con P/V breasting para un cuadro	Long Wall con P/V breasting masivo

ELECCION DEL TIPO DE EXPLOSIVO	
CALIDAD DE ROCA	TAJO AVANCE
CALIDAD - A	ANFO EMULNOR 3000
CALIDAD - B	EMULNOR 3000 EMULNOR 3000
CALIDAD - C	EMULNOR 3000 EMULNOR 3000
CALIDAD - D	EMULNOR 1000 EMULNOR 1000
CALIDAD - E	EMULNOR 1000 EMULNOR 1000

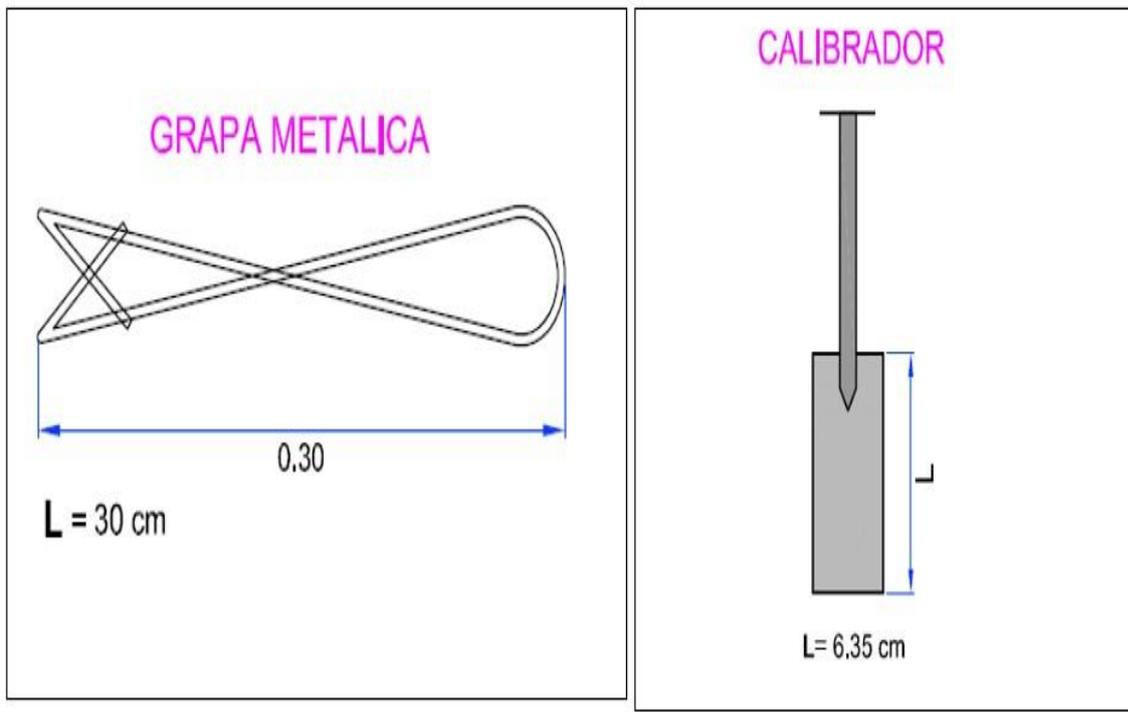
**FACTORES INFLUYENTES EN LABORES TEMPORALES Y PERMANENTES**

LOS FACTORES INFLUYENTES ESTA PRESENTE TANTO EN LABORES TEMPORALES Y PERMANENTES; EN CONDICION DE FRACTURA, FLUJO DE AGUA, RELAJAMIENTO DE ROCAS, PRESENCIA DE FALLAS, ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES, INTERSECCIONES, LABORES CERCANAS Y/O PRESENCIA DE LABORES DE MINEROS INFORMALES, ETC.

## ANEXO D: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

**Figura D1**

*Grapa Metálica y Calibrador*



**Figura D2**

*Colocación de Calibradores*



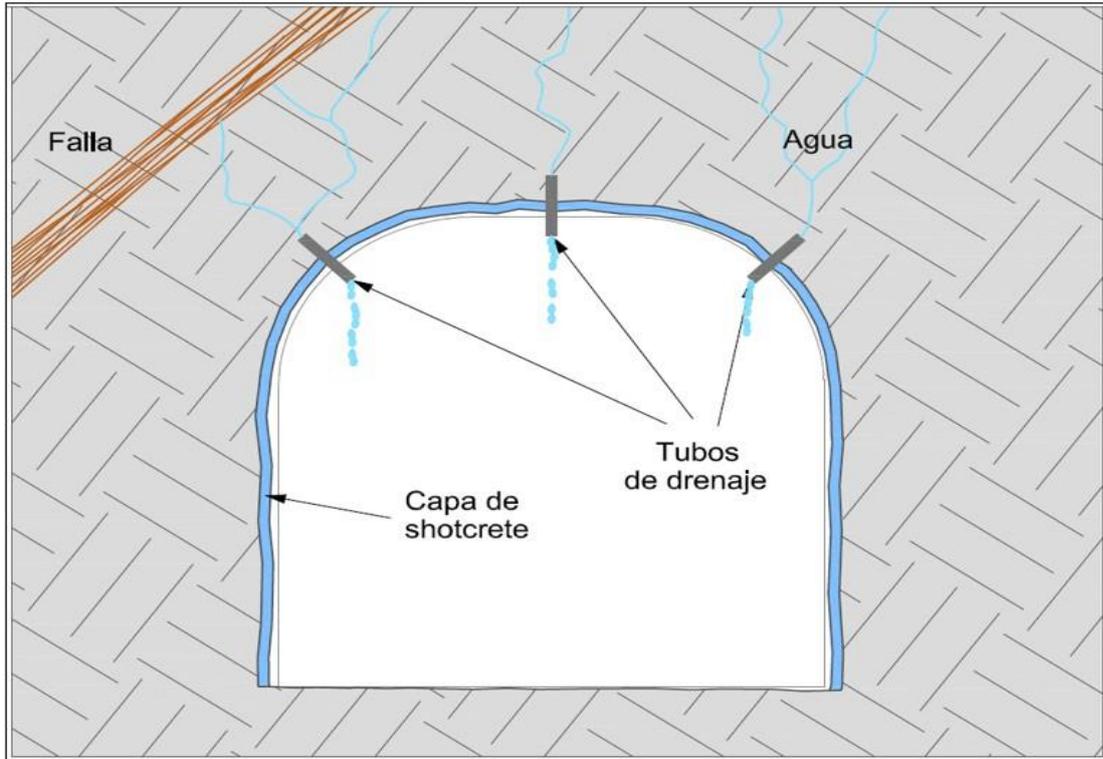
**Figura D3**  
*Distanciamiento de calibradores*



**Figura D4**  
*Dosificación de la mezcla a lanzar*



**Figura D5**  
*Instalación de Tubos de Drenaje en Zonas de Agua*



**Figura D6**  
*Concreto con Fibra de Acero*



**Figura D7**

*Lectura de la presión del aire y prueba % rebote mediante el balde*



**Figura D8**

*Prueba de Slump*



**Figura D9**  
*Prueba del Penetrómetro*



**Figura D10**  
*Pistola Hilti para ensayos de resistencias tempranas*



**Figura D11**

*Ensayo de Resistencia temprana mediante la pistola Hilti*



**Figura D12**

*Toma de muestras*



**Figura D13**

*Fraguado de los testigos*



**Figura D14**

*Muestras rotuladas para las pruebas Uniaxiales en laboratorio*



**Figura D15**

*Lanzado de shotcrete culminado*



**Figura D16**

*Curado de Shotcrete*



**Figura D17**

*Material a buen recaudo y zona limpia*

