

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO BENEDICTO XVI

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

INGENIERÍA DE MINAS



Parámetros para Maximizar la Adhesión del Shotcrete por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.

PARA OBTENER EL TÍTULO EN

INGENIERÍA DE MINAS

AUTORES:

- Br. CHRISTIAN ALEXANDER FERNÁNDEZ ALVAREZ.
- Br. ELEODORO JORGE VALDERRAMA FERNÁNDEZ.

ASESOR:

- Mgter. FERNANDO ARISTIDES SALDAÑA MILLA

TRUJILLO, PERÚ

2018

Autoridades Universitarias

Mons. Dr. Héctor Miguel Vidarte

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

R. P. Fray Dr. John Joseph Lydon Mc Hugh, Osa

Rector y Vice Gran Canciller

Dra. Sandra Alano Bracamonte

Vicerrectora Académica

R.P. Mg. Ricardo Agulo Bazauri

Sub. Gerente General

Ing. Marcos Antonio Dávila Cabrejos

Gerente de Administración y Finanzas

Mg. Ing. José Andrés Cruzado Albarrán

Secretario General

Mg. Ing. Fernando Aristedes Saldaña Milla

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Parámetros para Maximizar la Adhesión del Shotcrete por
Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero**

Horizonte S.A.

PAGINA DE JURADO

MS. LUIS ALBERTO ALVA REYES

PRESIDENTE

ING. JAVIER ORLANDO QUISPE RODRIGUEZ

SECRETARIO

MS. FERNANDO ARISTIDES SALDAÑA MILLA

VOCAL

DEDICATORIA

A mis amados padres Manuel y Gladys quienes me dieron su apoyo, afecto y fortaleza para que este trabajo sea terminado. Son mi mayor motivación para seguir alcanzando mucho mas de mis logros propuestos.

Gracias familia.

Christian Alexander Fernández Álvarez

DEDICATORIA

A mi madre Ynes por su gran amor, a mi esposa Elizabeth por sopórtame todo este esfuerzo.

A mi hija Katherine y a mis querido nietos, María José, Rosa Elizabeth y Pedro Jesús como ejemplo para su motivación en su desarrollo.

Eleodoro Jorge Valderrama Fernández

DECLARATORIA PERSONAL DE AUTENTICIDAD

Yo, CHRISTIAN ALEXANDER FERNÁNDEZ ALVAREZ (Tesis 1)

Identificado con DNI 71597948

Yo, ELEODORO JORGE VALDERRAMA FERNÁNDEZ (Tesis 2)

Identificado con DNI 18875120

De la Escuela Profesional de Ingeniería, autores de la tesis:

Parámetros para Maximizar la Adhesión del Shotcrete por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.

DECLARO QUE:

El tema de tesis es auténtico, siendo resultado de nuestro trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado opiniones, formulaciones, ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, extraídas de otras tesis, libros, artículos, memoria, etc. de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, tablas u otros que tengan derecho de autor.

En este sentido somos conscientes de que el hecho de no copiar y no respetar los derechos de autor y hacer copia y pega, no, parafraseando son objeto de sanciones universitaria y/o legales.

Trujillo, 16 de enero del 2019.

Fernández Álvarez
Christian Alexander
DNI: 71597948

Valderrama Fernández
Eleodoro Jorge
DNI: 18875120

RESUMEN

Cuando se realiza una excavación subterránea el equilibrio del sistema se altera, o sea los campos de esfuerzos se transforman localmente y se originan redistribuciones de las tensiones iniciales del medio. Las tensiones que actúan en el túnel formado por su excavación se comienzan a redistribuir, por lo que deben ser soportadas por la roca que queda inmediatamente después de la excavación.

Dependiendo de la calidad del macizo rocoso la excavación ó el túnel tiende a cerrarse si no se aplica una fortificación adecuada, en algunos casos podría llegar a colapsar, este colapso se aprecia principalmente por la caída de bloques.

Ahora antes de explotar un yacimiento se debe tener en cuenta el tiempo de que durará el proyecto, ya que con este valor se podrá definir si las excavaciones que se desarrollarán serán permanentes ó provisionarias.

El shotcrete es un sistema de colocación de concreto a alta velocidad sobre una superficie vertical u horizontal o con secciones curvas o alabeadas, transportado a través de tubería o manguera, proyectado neumáticamente, para conformar elementos estructurales o no estructurales, adhiriéndose perfectamente a ella con una excelente adherencia y compactación.

Si bien la mezcla que se utiliza para este tipo de concreto se consolida por la fuerza del impacto, la dosificación de dicha mezcla requiere de componentes de alta gama que brinden una fácil aplicación, flexibilidad, resistencia y durabilidad para un buen soporte y sostenimiento en túneles o socavones mineros.

Si tenemos lanzadores poco capacitados estos desperdicios alcanzan valores cercanos al 37% científicamente validados. Los costos de estos desperdicios son demasiados altos para cualquier proyecto o mina.

En esta investigación determinamos el valor de la rugosidad de 3, el de oquedades del 18 %, calculamos el diseño de mezcla de 380 kg/cm², calculamos la fórmula del volumen del concreto

aplicar en dicha sección, y determinamos técnicas de lanzado proveniente de experiencias y análisis de observación de campo.

ABSTRACT

When the equilibrium of the system realizes a subterranean excavation itself, he gets angry, that is to say the fields of efforts transmute locally and redistributions come from the initial tensions of the midway.

The tensions that act in the tunnel formed by your excavation begin to redistribute themselves, which is why they should be borne by the rock that remains immediately after the excavation.

Depending of the quality of the rocky mountain mass the excavation ó the tunnel tends to close if a fortification made suitable, in some cases am not applicable myself you would be able to get to collapse, this collapse is appreciated principally for the fall of blocks.

Now before exploding a deposit he should have in account the time that the project will last, since with this value it will be able to be defined if the excavations that will develop will be permanents ó provisional.

The shotcrete is a concrete system of placement at high speed on a vertical or horizontal surface or with curved or warped sections, transported through piping or hose, projected pneumatically, in order to conform structural or unstructural elements, siding with her with an excellent adherence perfectly and compression.

Even though the mixture that is used for this type of concrete is consolidated for the force of the impact, the dosification of the aforementioned mixture needs components of high range that offer an easy application, flexibility, resistance and durability for a good support and support at tunnels or mining excavations.

If we have pitchers these wastes were not not capacitated much close valuables catch up with the 37 % scientifically validated. The costs of these wastes are too-high for any project or mine. In this investigation we determined the value of rugosity give 3 and the of cavities give 18 %, we calculated 380 kg/cm's designing of mixture, we calculated the formula of the volume of

concrete being applicable in the aforementioned section, and we determined techniques of originating throw of experiences and analysis of field observation.

INDICE

DEDICATORIA	3
DECLARATORIA PERSONAL DE AUTENTICIDAD	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	8
CAPÍTULO I	15
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.3. Formulación de objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación de la investigación	18
CAPÍTULO II	20
II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.2. Bases teórico científica	22
2.3. Marco conceptual	36
2.4. Formulación de hipótesis	37
2.4.1. Hipótesis general	37
2.5. Variables	38
2.5.1. Definición operacional	38
2.5.2. Operacionalización	38
CAPÍTULO III	40
III. METODOLOGÍA	41
3.1. Tipo de investigación	41

3.2. Método de investigación	41
3.3. Diseño de investigación.....	41
3.4. Población y muestra.....	41
3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos.....	42
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	43
3.7. Aspectos éticos.....	46
CAPÍTULO IV.....	47
IV. RESULTADOS	48
4.1. Presentación y análisis de resultados	48
4.2. Discusión de resultados.....	49
CAPÍTULO V	50
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52
APÉNDICES	54
ANEXOS	81

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1. Escala descriptiva para clasificar	23
FIGURA N° 2. Grafica de un perfil.....	23
FIGURA N° 3. Rugosidad de la superficie.....	24
FIGURA N° 4. Diagrama para determinar JRC	26
FIGURA N° 5. Túnel de mina (Rugosidad y Oquedades).....	27
FIGURA N° 6. Túnel civil (Rugosidad).....	27
FIGURA N° 7. Sección transversal real del túnel sobre.....	34
FIGURA N° 8. Diagrama para determinar JRC (Luego de Barton).....	60
FIGURA N° 9. Sección de mina con Shocrete	61
FIGURA N° 10. Comparaciones de resistencia de equipos	63
FIGURA N° 11. Sección mina	65
FIGURA N° 12. Lanzado de Shocrete.....	72
FIGURA N° 13. Limpieza de la superficie.....	73
FIGURA N° 14. Lanzado de Shocrete con.....	73
FIGURA N° 15. Movimientos circulares, respetando	74
FIGURA N° 16. Allanar la superficie a proyectar.....	74
FIGURA N° 17. Primera capa como soporte	75
FIGURA N° 18. Siguietes capas de proyección	75
FIGURA N° 19. Limpiar de la superficie.....	75
FIGURA N° 20. Limpieza del equipo	76
FIGURA N° 21. Hidratación de la superficie.....	76
FIGURA N° 22. Formación del operador.....	77
FIGURA N° 23. Esquema de Fortificación.....	77
FIGURA N° 24. Aplicación del shocrete vía húmeda.....	78

FIGURA N° 25. Rugosidades y Oquedades	78
FIGURA N° 26. Peine de Barton.....	78
FIGURA N° 27. Pasos de lanzado	79
FIGURA N° 28. Sección de un túnel Shocreteado	80
FIGURA N° 29. Fecha y hora de lanzado	80
FIGURA N° 30. Hoja de seguridad del cemento.....	82
FIGURA N° 31. Hoja de seguridad del acelerante L -22	83
FIGURA N° 32. Hoja técnica del aditivo plastificante e impermeabilizante (SIKA)	84
FIGURA N° 33. Equipo robotizado construido en Retamas – Perú, CMHSA.....	85
FIGURA N° 34. Canteras en CMHSA	85
FIGURA N° 35. Planta de concreto.....	86
FIGURA N° 36. Laboratorio	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia del cemento Portland de acuerdo a sus tipos.....	30
Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de Sustancias en el Agua según el NTP338-088..	31
Tabla 3. Definición Operacional	38
Tabla 4. Variable independiente.....	38
Tabla 5. Variable dependiente	39
Tabla 6. Total de perdidas	48
Tabla 7. Matriz de consistencia	54
Tabla 8. Dosificación de mezcla.....	55
Tabla 9. Datos de campo antes del lanzado.....	56
Tabla 10. Datos del campo después del lanzado	56
Tabla 11. Mediciones	56
Tabla 12. Rendimiento real del concreto lanzado por proceso húmedo en CMHSA antes de la prueba	57
Tabla 13. Dosificación de mezcla	58
Tabla 14. Datos de campo antes del lanzado.....	58
Tabla 15. Datos de campo después del lanzado	58
Tabla 16. Mediciones	59
Tabla 17. Rendimiento real del concreto lanzado por proceso húmedo en CMHSA antes de la prueba	59
Tabla 18. Diseño de mezcla.....	62
Tabla 19. Perdidas del lanzado de shocrete en operación por vía humedad	65
Tabla 20. Cuadro de revestimiento para shocrete	69
Tabla 21. Clasificación de agregados	70

CAPÍTULO I

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.Planteamiento del problema

Este estudio consiste en solucionar problemas de maximizar la adhesión del shotcrete por proceso húmedo y minimizar el rebote, en minería subterránea.

En las excavaciones subterráneas se utiliza cada vez más el mortero, concreto lanzado, aplicación que se realiza con una maquina bombeo y brazo robotizado, lanzando el concreto sobre la superficie de la roca circundante de la mina.

Los motivos que despertaron el interés de esta investigación fueron los resultados operativos después del balance mensual dentro de la empresa, los cálculos realizado en gabinete versus el resultado, viéndose afectado por incremento del volumen.

La necesidad de realizar este estudio acerca del shotcrete es por la diferencia del volumen excesivo de rebote, de aplicación en las paredes de las galerías, cruceros y tajos de la mina.

Estas adhesiones son complejos, porque se realizan en diferentes tipos de rocas y a la vez con diferentes técnicas para cortar la roca, en las que se puede observar rugosidades y oquedades en las paredes de la excavación del túnel

Existe problema en la adhesión del concreto lanzado y nos ocuparemos con más rigor en dicho trabajo, la cual lo investigaremos.

En este rubro empezamos haciendo trabajo de sostenimientos de taludes con shotcrete, luego ingresamos a mina al sostenimiento mecanizado, empezamos a observar oquedades de bastante consideración, las cuales reducen la adhesión y aumenta el volumen de rebote.

Las aplicaciones con shotcrete es un tema de la ingeniería civil de túneles, luego es llevado a la minería subterránea, en el Perú, por lo que la información que se tiene son análisis independientes, aislados pero que se recogen de forma indirecta experiencias

empíricas, frutos de la práctica; esto explica que no existe un método universalmente aplicado al concreto lanzado.

El lugar donde se desarrolla esta investigación es en la Provincia de Pataz, Distrito de Parcoy en la unidad minera de C.M.H.S.A. (Batolito de Pataz.)

El problema se conoce desde la observación en el lugar de aplicación de los túneles mineros.

Los resultados de este trabajo, es maximizar la adhesión óptima del concreto lanzado por proceso húmedo y minimizar el rebote en minería subterránea.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo Determinar los Parámetros para Maximizar la Adhesión del Shotcrete por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.?

1.3. Formulación de objetivos

1.3.1. Objetivo general

Maximizar la Adhesión del Shotcrete y Minimizar el Rebote por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la rugosidad del corte de la roca.
- Determinar el porcentaje (%) de oquedades del corte de la roca.
- Calcular el diseño de mezcla.
- Calcular el volumen del shotcrete.
- Determinar Técnicas de lanzado.

1.4. Justificación de la investigación

La fortificación de roca son un conjunto de elementos que son instalados durante la construcción de una labor subterránea, con el fin de estabilizar el contorno de la excavación producto del mismo desarrollo y de la actividad minera a través de 3 sistemas como son: **reforzar, sostener y contener los bloques.**

El anillo de roca que rodea al túnel es el principal elemento que proporciona estabilidad a la excavación, por lo tanto, el sostenimiento tendrá como primera misión evitar que el terreno pierda propiedades mecánicas por efecto del proceso de desarrollo o avance.

La fortificación o sostenimiento se aplicará de forma que el terreno deje de deformarse y la roca alcance o desarrolle su capacidad de auto soporte.

En general los tipos de fortificación buscan proteger la integridad física de las personas y de los equipos mineros, además de asegurar el negocio minero dándole estabilidad a la excavación minera.

Los elementos generalmente usados para la fortificación de las excavaciones subterráneas en roca para la aplicación en minería son tres: El shotcrete, la malla de contención y los pernos.

¿Cuáles son los beneficios que este trabajo proporciona?

- Los beneficios es de demostrar la máxima adhesión del shotcrete por proceso húmedo, en minería subterránea, minería cielo abierto y obras civiles lo cual nos permita, que no exista pérdidas al momento de su aplicación.

¿Quiénes serán los beneficiados?

- Los beneficiados serán todas las personas dedicadas a este rubro en la minería subterránea, minería cielo abierto y obras civiles, logrando de esta manera hacer una buena medición al final de sus operaciones.

¿Qué es lo que se prevé cambiar con la investigación?

- Lo que se prevé cambiar es definir la máxima adhesión de un m³ de concreto lanzado por proceso húmedo en minería subterránea.

¿Porque que es significativo este problema de investigación?

- Es significativo porque al momento de realizar las operaciones de sostenimiento con concreto lanzado se realice con la mejor técnica logrando la máxima adhesión del shotcrete por proceso húmedo en minería subterránea.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Shotcrete es uno de los términos utilizados para denominar el concreto proyectado. La tecnología del concreto proyectado comenzó en 1907. Se utiliza principalmente para fines de soporte de rocas, por lo cual se le considera una de las tecnologías más adaptables de soporte para la construcción de túneles y minería la cual permite efectuar una ejecución rápido en grandes áreas. En una sola aplicación se puede lograr espesores de ½”, 1”, 2” hasta 4” con la adición de aditivos adecuados, se logra obtener resistencias altas en unas cuantas horas.

Considerando la rapidez y efectividad del concreto lanzado como una herramienta fundamental en el sostenimiento de labores subterráneas, se tiene que este es un elemento importante como solución tanto en el control de derrumbes como en el sostenimiento preventivo en labores de profundización, desarrollo y producción. (López Cruz – UNSA - 2014)

La ventaja que se obtienen aplicando los sostenimientos definitivos (pernos y/o shotcrete) da una mayor confianza al operador minero desde el punto de vista de seguridad y disminución de riesgos por caída de rocas. (López Félix – UNI – 2009)

Un buen modelo diseñado para el sostenimiento con shotcrete permite un alto rendimiento en el proyectado, por ende, el avance lineal planificado se cumple. (Vargas Niquín – UNT – 2016).

Para conseguir un buen shotcrete se comienza con un buen diseño de concreto. Sin embargo, un buen concreto salido de planta no es suficiente para un buen sostenimiento de rocas, debido a que se presentan muchos factores que influyen en la buena calidad del shotcrete aplicado; como, la técnica de proyección, dosificación del aditivo, distancias de

lanzado, tiempos de permanencia, plasticidad, factor humano, rugosidad y oquedades de la roca.

2.2. Bases teórico científicas

2.2.1. LA RUGOSIDAD

Es el conjunto de irregularidades que posee una superficie.

En mecánica de rocas, la rugosidad de las juntas desempeña un papel muy importante, especialmente cuando se trata de juntas cerradas. A mayor rugosidad, también mayor resistencia a corte, lo cual permite, junto con la cohesión (o resistencia a corte bajo tensión normal nula) y los puentes de rocas, que pueden mantenerse en su sitio sin caer sobre la calzada.

Los primeros criterios de rotura de mecánica de rocas, como los de Patton (1966), Landanyi Archambault (1969 o Jaeger (1971), trataban la rugosidad de la junta como un incremento del ángulo de rozamiento, pero, poco a poco, la rugosidad fue ganando importancia hasta convertirse en el parámetro JRC (Joint Roughness Coefficient) del criterio de Barton (1973 – 1990), o el Jr de la clasificación geomecánica Q de Barton, Lien y Lunde (1974 – 2002).

En el sistema internacional la unidad de rugosidad es el micrómetro o micra ($1 \text{ micra} = 1 \mu\text{m} = 0.000001 \text{ m.} = 0.001 \text{ mm.}$)

Para medir la rugosidad se utilizan instrumentos manuales o electrónicos llamados Perfilómetro, Rugosímetros, que miden la profundidad de la rugosidad y el valor de la rugosidad expresadas en micras.

La rugosidad es una medida de la forma de las superficies que conforman la discontinuidad. Una clasificación cualitativa de la rugosidad se basa en la observación de la superficie en dos escalas descriptivas. La escala intermedia (varios metros) que se divide en tres grados: escalonada, ondulada y plana y una escala pequeña (varios centímetros) que

divide cada grado de la escala intermedia en: rugosa, suave y pulida. La Figura N° 1 presenta una escala descriptiva comúnmente utilizada para clasificar el tipo de rugosidad.

Descripción	Perfil	J _r	JRC 200mm	JRC 1 m
Rugosa		4	20	11
Suave		3	14	9
Pulida		2	11	8
	Escalonada			
Rugosa		3	14	9
Suave		2	11	8
Pulida		1.5	7	6
	Ondulada			
Rugosa		1.5	2.5	2.3
Suave		1.0	1.5	0.9
Pulida		0.5	0.5	0.4
	Plana			

FIGURA N° 1. Escala descriptiva para clasificar el tipo de rugosidad

Donde:

J_r: Número de rugosidad

JRC = coeficiente de rugosidad conjunta

CRITERIOS PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD

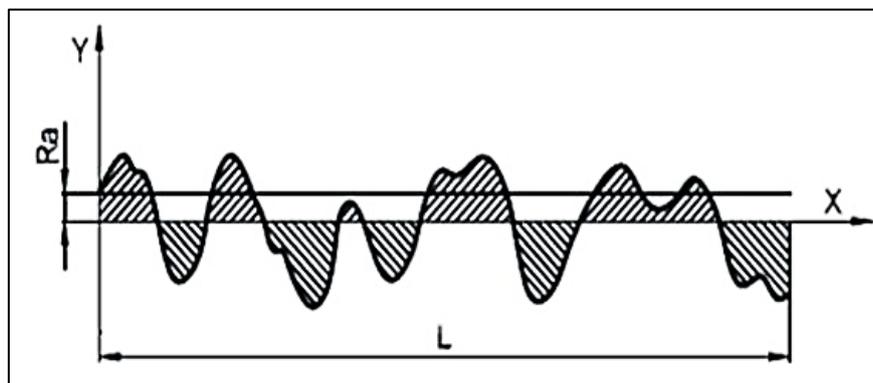


FIGURA N° 2. Grafica de un perfil

Donde:

Ra = Desviación Media Aritmética de la rugosidad

L = Longitud Básica

La desviación media aritmética de la rugosidad (Ra) es el valor medio de las ordenadas en el valor absoluto del perfil efectivo respecto a su línea media, en los límites de la longitud básica. Se expresa en micras.

Se adopta como criterio principal de rugosidad, la media aritmética de los valores de Ra obtenidos en varias longitudes básicas sucesivas a lo largo de la longitud de evaluación. Es el método adoptado internacionalmente para la evaluación de la rugosidad.

Para ver el tipo de rugosidad que tiene una roca es importante el uso de un peine de Barton o Perfilómetro.

FACTOR Ra

La rugosidad de la superficie se define como el promedio de las desviaciones verticales a partir de la superficie nominal, en una longitud especificada de la superficie.

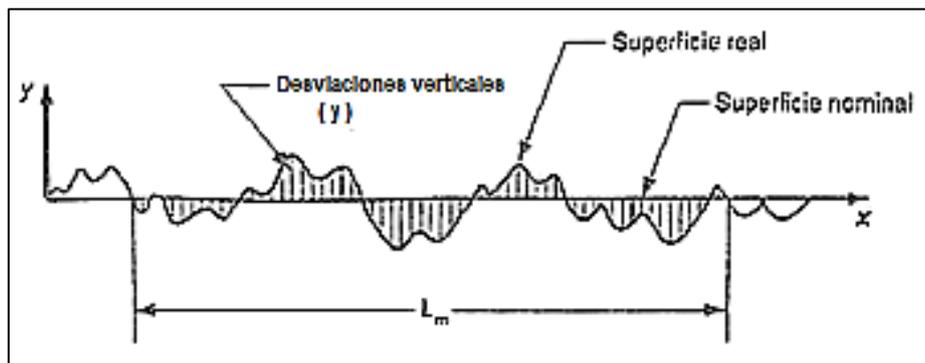


FIGURA N° 3. Rugosidad de la superficie

$$Ra = \int_0^{Lm} \frac{|y|}{Lm} dx$$

Donde:

Ra = Media aritmética de la rugosidad

Lm= Distancia especificada en la que se miden las desviaciones de la superficie

Y= Desviación vertical a partir de la superficie nominal (convertida a valor absoluto)

$$Ra = \sum_{n=i}^n \frac{|y_i|}{n}$$

Donde:

y_i = Desviaciones verticales convertidas a valor absoluto e identificadas por el subíndice i

n = Numero de desviaciones incluidas en L_m

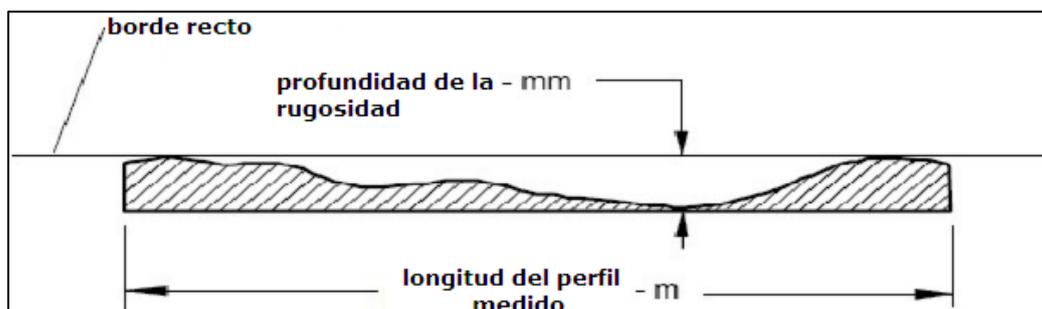
Finalidad del peine de Barton

Sirve para saber el perfil de rugosidad que tiene una discontinuidad, (14.5 cm, 20 cm, 30 cm, etc.) depende de cuán grande es la carga. Se toma el perfil de la muestra que sería como escanear el perfil de esta discontinuidad.

El uso del Peine de Barton, es ponerlo sobre la muestra y moldearlo el perfilómetro en la roca y llevar, luego con la ayuda de una superficie plana ver cuánto es la profundidad de rugosidad de la roca, seguidamente comparar con el Abaco las profundidades, logrando encontrar J_r .

Coefficiente de rugosidad conjunta JRC

Si el valor de JRC no puede ser determinado por las mediciones directas en la superficie conjunta, entonces es posible obtener el valor a partir del gráfico de mostrando la variación del coeficiente como una función de la longitud del perfil de la profundidad rugosa.



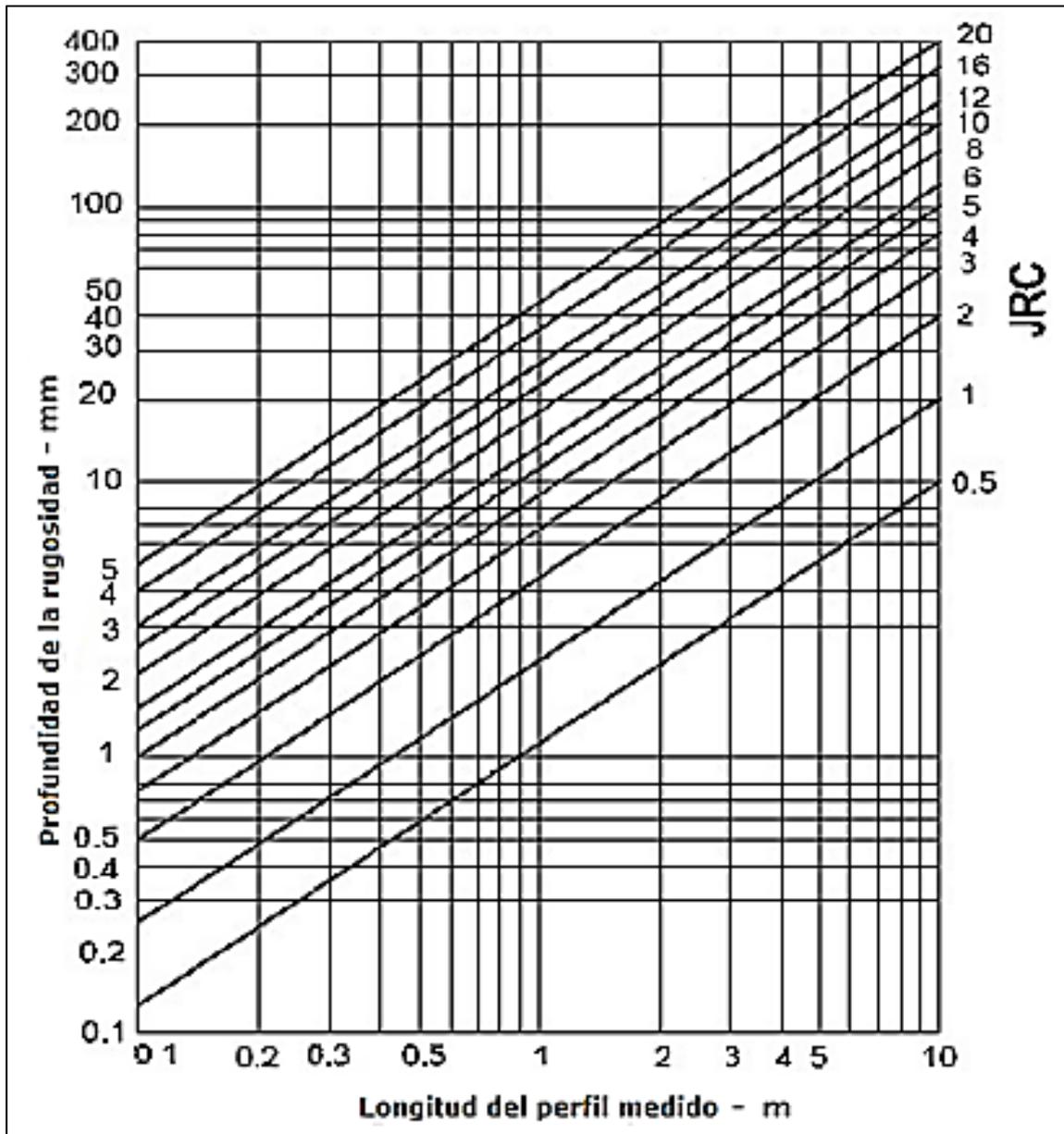


FIGURA N° 4. Diagrama para determinar JRC

2.2.2. OQUEDADES

Son huecos en el terreno o cavidades en el interior de un cuerpo.

En minería el estudio de la oquedad producto de la voladura en roca es de suma importancia ya que la misma determina la resistencia mecánica sobre las fuerzas de los bloques, estableciendo de esta forma la utilidad del sostenimiento.

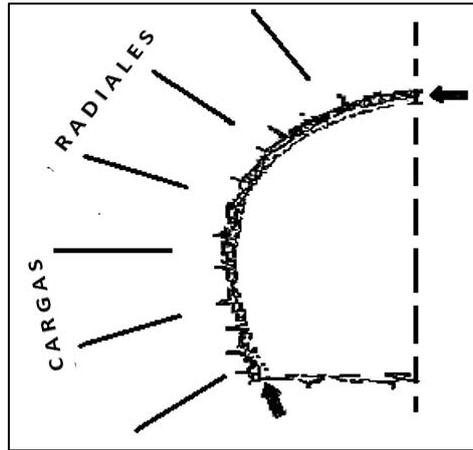


FIGURA N° 5. Túnel de mina (Rugosidad y Oquedades)

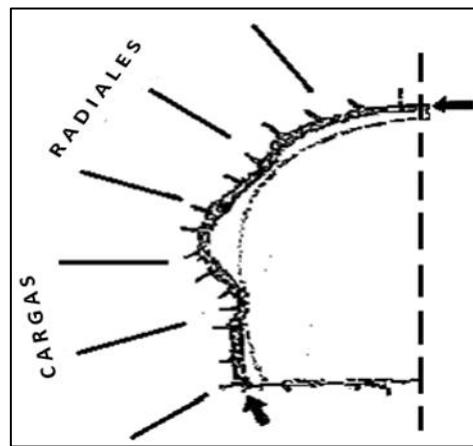


FIGURA N° 6. Túnel civil (Rugosidad)

2.2.3. DISEÑO DE MEZCLA

El Shotcrete (concreto lanzado) se define como un concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie, logrando que se coloque y se compacte al mismo tiempo, debido a la fuerza del impacto con que se proyecta desde la boquilla.

Al momento del impacto una parte de este material rebota a esto se le denomina “rebote” que no debe exceder de un 15%; parámetro que corresponde a un promedio de aplicación sobre cualquier tipo de superficie rocosa horizontal o inclinada.

El principal auto soporte de una excavación subterránea es la roca que rodea a dicha excavación, ya que al realizar la excavación se va formando un arco de descarga alrededor del túnel que transmite las tensiones a ambos lados de la excavación.

El sostenimiento se aplicará de forma que el terreno deje de deformarse y la roca alcance o desarrolle su capacidad de auto soporte.

El diseño de las mezclas para Concreto Proyectado siempre debe adaptarse a las especificaciones del agregado y del cemento disponible para poder obtener la resistencia inicial y la trabajabilidad requeridas

Por lo general, los **componentes** de concreto lanzado son: áridos, cemento y agua, además de **complementos** como materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.

a.- Componentes del concreto lanzado

▪ LOS ÁRIDOS

Los agregados se definen como los elementos inertes del concreto, los cuales son aglomerados por la pasta de cemento produciendo una estructura resistente

Generalmente forman del 70% al 75% del total del volumen total de la mezcla de concreto.

En un principio, los agregados fueron considerados como material químicamente inerte y de bajo costo. Sin embargo, el agregado no es químicamente inerte, debido a que, en ciertos casos, las propiedades físicas y químicas del agregado pueden afectar el desempeño del concreto, como por ejemplo al afectar su durabilidad.

El código del comité del ACI 506R-90, expresa que los agregados para el concreto lanzado deben cumplir con la norma ASTM C-33, norma la cual indica los requerimientos de los agregados para poder clasificar a los agregados en finos, gruesos, etc.

Dentro de la terminología utilizada según la ASTM C-125, se le conoce como agregado a cualquier material granular, tal como arena fina, gravas o roca chancada utilizada con un cementante para crear concretos hidráulicos o morteros.

Los agregados comúnmente proceden de la desintegración, ya sea por causas naturales o medios artificiales. Las rocas de peso normal tienen un peso específico de aproximadamente 2.4 a 2.8, de manera que al ser utilizados para producir concreto se logra un peso unitario del concreto de 2200 kg/m³ a 2550 kg/m³.

Es posible definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que componen los agregados, y para estimar de manera preliminar la calidad físico-química, se acostumbra realizar el examen petrográfico según la ASTM C- 295. Con esta base es posible determinar ciertas características con las que contará la roca de acuerdo a su mineralogía y otras características.

▪ **EL CEMENTO**

El cemento actúa como aglutinante en la mezcla del shotcrete y tiene la función de fijar las partículas de agregado a la matriz.

Es el lubricante principal, tiene un fraguado hidráulico que es extremadamente rápido, alcanzando resistencias tempranas de 120 kg/cm² a las 24 horas de su aplicación y permitiendo ingresar a la preparación de frentes de trabajo a los pocos minutos de terminada la fortificación.

Fragua y endurece por reacción química con el agua (hidratación del cemento).

Su utilización viene dada en pastas de cemento al mezclarlo con agua; morteros, tanto para ligar unidades de albañilería como para el tartajeo; y en el concreto, al mezclarlo con agregados gruesos, finos, fibras, agua y aditivos.

El cemento portland es un material cristalino que, tras su hidratación, forma compuestos aglutinantes:

- 64% óxido de calcio
- 21% óxido de silicio
- 5.5% óxido de aluminio
- 4.5% óxido de hierro
- 2.4% óxido de magnesio
- 1.6% sulfatos
- 1% otros materiales

Tabla 1. Resistencia del cemento Portland de acuerdo a sus tipos

Tipo de Cemento Portland	Resistencia Relativa (Tipo I) de los Cementos Portland			
	1 día	7 días	28 días	3 meses
Tipo I	100	100	100	100
Tipo II	75	85	90	100
Tipo III	190	120	110	100
Tipo IV	55	55	75	100
Tipo V	65	75	85	100

▪ EL AGUA

El agua es utilizada principalmente para que cumpla dos funciones específicas: la primera es la de hacer reaccionar con el cemento generando una mezcla de concreto a preparar, en la cual cumple la función de la hidratación; y la segunda es la de curar el concreto para garantizar su continua resistencia.

El primer uso del agua, es para la mezcla del concreto, conocido para uso interno, mientras que el agua utilizada para el curado es conocida como de uso externo. Aunque ambos usos del agua producen efectos diferentes y tienen diferentes importancias

Según el informe emitido por el comité ACI 506R sobre el shotcrete, el agua de mezclado debe estar libre de cualquier sustancia que pueda ser perjudicial para el concreto o para el acero. También recomienda que se utilice agua potable.

Mientras, sobre el agua para el curado, el ACI 506R recomienda, además de lo mencionado anteriormente, que el agua para curado de shotcrete no deje manchas.

En la calidad del agua el NTP338-088 recomienda los siguientes límites permisibles de concentración de sustancias en el agua:

Tabla 2. *Límites Máximos Permisibles de Sustancias en el Agua según el NTP338-088*

SUSTANCIAS PH	LIMITE MAXIMO
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	200 ppm
Sales de magnesio	125 ppm
Sales solubles	300 ppm
Sólidos en suspensión	10 ppm
Materia Orgánica (oxígeno consumido)	0.001 ppm
pH	6 - 8

La calidad de agua para la elaboración de mezcla en el shotcrete, está centrada en las características físico-químicas y sus efectos sobre las propiedades del concreto.

b.- Complementos del concreto lanzado

Los complementos adicionales a la mezcla de concreto lanzado deben ser de alta tecnología, tales como: acelerantes, adiciones y fibras de refuerzo que dan importantes ventajas al shotcrete, entre ellas: una mayor consistencia, resistencia temprana en estado fresco, y resistencia a la compresión y durabilidad en su estado endurecido.

Los **aditivos y las fibras**, le dan un aporte adicional de resistencia y durabilidad al concreto lanzado en sí, debido a que el concreto es un material muy resistente a la contracción, pero sumamente frágil a esfuerzos de tracción y flexo tracción.

Las principales aplicaciones del shotcrete son el soporte y el revestimiento en la construcción de túneles, el soporte de suelo y roca en minería subterránea, canales, embalses y complejos hidroeléctricos. Asimismo, es ampliamente usado para la estabilización de taludes.

El sector construcción peruano cuenta con importantes proyectos mineros en las cuales se aplica el concreto lanzado para su sostenimiento y soporte en obras de socavones o túneles, y también en obras de infraestructura subterránea.

Las **fibras metálicas** ayudan a reemplazar la malla estructural que se colocaría en los trabajos de excavaciones, además que, gracias a sus características y propiedades técnicas, las fibras aplicadas (junto con la mezcla) cubren los rincones más difíciles de la superficie irregular del túnel.

Las fibras metálicas están fabricadas para poder aportar ductilidad y tenacidad al concreto lanzado, de esta manera, minimizamos el comportamiento frágil del concreto y los tiempos de ejecución del proyecto.

Las dosificaciones de las Fibras Metálicas para el concreto lanzado suelen ser 20, 30 y 40 Kg por metro cúbico, según sea la calidad de la roca.

Además, la fibra metálica 35/65, de la cual 65 es la proporción entre el diámetro y la longitud; y 35 mm que viene a ser el largo de la fibra.

En el caso del **acelerante líquido**, aporta altas resistencias al concreto lanzado en minutos, acelerando la fragua inicial y endureciendo la mezcla de manera rápida en el sostenimiento de túneles o socavones

Asimismo, los **aditivos plastificantes** que también ayudan al shotcrete, aportan fluidez al concreto que se va a lanzar, ayudando a que el shotcrete no se espese, esto es para concreto lanzado por vía húmeda.

Las dosificaciones de los aditivos para el concreto son de 2 % ó 3 % del peso del cemento, o del volumen del concreto, en promedio.

Otro producto como la **Microsilice**, un agregado en polvo que se suma a la mezcla para brindar plasticidad y, adicionalmente, mejora la resistencia del concreto lanzado.

La única diferencia es el proceso de colocación final; mientras que en la construcción convencional se deben emplear encofrados para recibir la mezcla en estado fresco; en el concreto lanzado la colocación se realiza impulsando la mezcla con aire hacia la superficie, para que ésta se quede adherida a la superficie y para que no se desprenda se emplea un aditivo acelerante de fragua.

Los aditivos **súper plastificantes** van a aportar mayor fluidez, rapidez en la colocación, menor rebote y el desarrollo de resistencia a edad temprana del concreto lanzado.

En el soporte de rocas a los diseños de mezclas se agrega un aditivo **inhibidor de fragua** que hace que la mezcla se mantenga en estado fresco durante el tiempo que uno mismo lo defina.

La forma en que actúa el aditivo **inhibidor de fragua** en la mezcla es la de formar una burbuja que envuelve las partículas de cemento e impide que se realice la reacción química con el agua. Este efecto físico-químico hace que la mezcla se mantenga fresca hasta que la burbuja se desintegre o hasta que en la boquilla final se agregue el acelerante de fragua y se rompa el efecto tipo burbuja, lográndose la fragua en minutos”. En los últimos años, la minería a través del concreto lanzado, lo ha convertido en un producto

confiable, de calidad, costo-efectivo y lo más importante con total seguridad para las operaciones de soporte.

2.2.4. VOLUMEN DE SHOTCRETE

El volumen de un cuerpo es la cantidad de espacio que ocupa. La unidad principal es el metro cúbico (m³).

Volúmenes de un cuerpo geométrico es un elemento que existe o se calcula para ponerlo en la realidad y ser capaces de concebir, el cual ocupara un volumen en el espacio, es decir, tiene tres dimensiones (ancho, alto y largo).

Calcular el volumen de shotcrete es que se conozca y se aplique las fórmulas en la sección geométrica circundante de la roca después de la voladura.

Vamos a desarrollar un ejemplo de cálculo de volumen de una sección de ancho ($b = 6\text{ m}$) y de altura ($h = 4\text{ m}$); el radio de curvatura del techo es de 3 m ($r = 3\text{ m} = b/2$). Las partes rectas laterales del túnel es de 1 m ($h' = h - r = 4\text{ m} - 3\text{ m} = 1\text{ m}$); la línea continua sinuosa es la sección real de la labor, debido a la sobre rotura de las explosiones en su avance. Siendo (p') la distancia perimetral entre los puntos de apoyo del arco, denominado perímetro de diseño del arco (distancia perimetral menos el ancho de la labor) y (p) la distancia sinuosa (distancia perimetral real menos el ancho de la labor), denominado el perímetro real, $p = (\delta)p'$, siendo δ el exceso del contorno real respecto a lo diseñado.

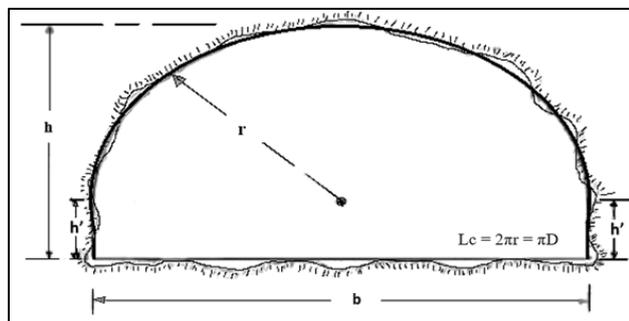


FIGURA N° 7. Sección transversal real del túnel sobre la sección de diseño, con sus respectivas dimensiones.

Datos:

$$h = 4 \text{ m}; b = 6 \text{ m}; h' = h - r; r = b/2$$

$$V = A \times e$$

$$A = P \times L$$

Solución:

$$P' = \pi R + 2h' = \pi\left(\frac{b}{2}\right) + 2\left(h - \frac{b}{2}\right)$$

$$= 2h + \frac{b}{2}(\pi - 2)$$

$$= 2h + \frac{b}{2}(3.1416 - 2)$$

$$P' = 2h + 0.5708(b)$$

Siendo $\delta = 1.25$

$$P = \delta \{2h + 0.5708(b)\}$$

$$V = [\delta \{2h + 0.5708(b)\}] \times L \times e$$

2.2.5. TECNICAS DE LANZADO

La proyección de lanzado de shocrete con equipos robotizados se utiliza ampliamente en el rubro de la minería subterránea, tajo abierto y en las actividades de construcción de túneles civiles, y en estabilización de taludes. La proyección por vía húmeda permite la aplicación de un mayor volumen de shocrete proyectado y tiene la ventaja de que el operador puede guiar un brazo (telescópico o articulado).

Estos equipos mantienen controlados factores muy importantes para la calidad resultante del shocrete proyectado, como el ángulo y distancia uniforme de la boquilla de proyección y el espesor de capa proyectada.

Siguiendo las siguientes reglas, se consigue el mejor resultado posible con la máxima seguridad del operador.

- 1) Limpiar la superficie antes de la proyección
- 2) Mantener una distancia entre la boquilla y el sustrato de 1 a 1.5 m.
- 3) Colocar la boquilla en ángulo de 90° con el sustrato
- 4) Rellenar grietas y fisuras
- 5) Aplicación en capas
- 6) Volver a limpiar la superficie en períodos prolongados entre capa y capa.
- 7) Limpiar el equipo inmediatamente después de la aplicación.
- 8) Hidratar la superficie
- 9) Formación continua del operador

2.3.Marco conceptual

El proceso para determinar la máxima adhesión es largo y complicado, porque se realiza en diferentes tipos de rocas, y a la vez en diferentes técnicas para cortarla, la cual se puede contemplar su rugosidad y diferentes porcentajes de oquedades, ya que cada labor es un análisis independiente, aislado, pero que se recogen de forma indirecta experiencias empíricas fruto de la practicas, la cual se observa que las adhesiones varían de una labor a otra en las diferentes minas del Perú y el mundo.

En las excavaciones subterráneas se utiliza cada vez más el mortero y el concreto por aplicación neumática o bombeada conocido como concreto lanzado.

La maximización de la adhesión forma parte integral del programa de operación, selección de los materiales y de equipo, así como el entrenamiento de operadores. El concreto que se lanza al final de las pruebas que se hacen antes de la construcción será probablemente mucho mejor que el mismo concreto que se lanza al comienzo

Apertura: Separación entre las paredes del macizo rocoso de una discontinuidad. Si la apertura es menor, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y si la apertura es mayor, las condiciones serán más desfavorables.

Desquinche: Se realiza cuando la voladura no hace el pre corte.

Flexómetro: Este instrumento de medición es el más comúnmente usado en la gran mayoría de los procesos de manufactura y es mucho más conocido como simplemente metro.

Rugosidad: Es el grado de aspereza natural presente en las discontinuidades de la roca,

Oquedades: Espacios vacíos en el contorno después de la voladura.

Maximizar la adhesión del shotcrete: Lograr el máximo pegado del concreto proyectado.

Shotcrete por proceso húmedo: Sostenimiento preventivo que se realiza en las labores subterráneas, proyectado con un brazo robótico.

Minería Subterránea: es una actividad de explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie terrestre.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La determinación de los parámetros para logra Maximizar la Adhesión del Shotcrete y Minimizar el Rebote por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.

Determinación de las Variables por su relación de dependencia.

- **Variable independiente**
 - El shotcrete
- **Variable dependiente**
 - La adhesión del shotcrete
 - El rebote del shotcrete

2.5. Variables

2.5.1. Definición operacional

Tabla 3. *Definición Operacional*

Variables	Definición Operacional		Definición Instrumental
	Indicador	Tipo de Variable	
Shotcrete	- Diseño de mezcla	Cuantitativo	- Cono de abran - Probetas - Laboratorio
- La adhesión del shotcrete - El rebote del shotcrete	- Rugosidad de la roca. - Oquedades del túnel - Volumen del shotcrete - Determinar técnicas de lanzado	Cuantitativa	- Flexómetro - Estación total - Libreta de campo - Sala de capacitación

2.5.2. Operacionalización

2.5.2.1. Variable independiente

Tabla 4. *Variable independiente*

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Shotcrete	Proceso por el cual el concreto es proyectado a alta velocidad sobre una superficie.	- Diseño de mezcla	Control de calidad

2.5.2.2. Variable dependiente

Tabla 5. *Variable dependiente*

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<ul style="list-style-type: none"> - La adhesión del shotcrete - El rebote del shotcrete 	<ul style="list-style-type: none"> - Pegado del concreto lanzado con la superficie. - Perdida de concreto al proyectarse en una superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rugosidad de la roca - Oquedades del túnel - Volumen del shotcrete - Determinar técnicas de lanzado 	Medido en m ³ y m ² .

CAPÍTULO III

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

3.1.1 De acuerdo al fin que se persigue:	Aplicada.
3.1.2 De acuerdo al tipo de problema:	Explicativa
3.1.3 De acuerdo a la recolección de datos:	Cuasi Experimental.
3.1.4 De acuerdo al método:	Cuantitativa

3.2. Método de investigación

El diseño de la presente investigación corresponde al tipo cuasi experimental, pues tiene como objetivo determinar la máxima adhesión del shotcrete por proceso húmedo en minería subterránea y minimizar el rebote de consorcio minero horizonte S.A.

3.3. Diseño de investigación

Para validar los resultados obtenidos en las muestras, realizaremos una comparación de adhesión del shotcrete, de la muestra y el aplicado normalmente en las labores subterráneas de la unidad minera de C.M.H.S.A.

Diseño de Pre-Prueba, Post-Prueba con un solo grupo: considera dos mediciones de la variable dependiente antes y después de la presencia de la variable independiente.

G: O1 x O2

G: Sistema de shotcrete proceso húmedo.

O1: sistema de shotcrete proceso húmedo actual.

X: Aplicación de la variable de la adhesión del shotcrete

O2: Sistema del shotcrete por proceso húmedo después del estudio.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población:

La población está representada por las labores subterráneas de la Unidad minera C.M.H.S.A.

3.4.2. Muestra:

Zona : Norte

Lugar : Cx 907, progresiva +1500

Mina : Milagros de C.M.H.S.A.

Determinación de las Variables por su naturaleza.

- Variable cualitativa

- El concreto lanzado tiene una cualidad de inmovilizar los movimientos de roca inherente al proceso de excavación.

- Variable cuantitativa continua

- El concreto que se lanza al final de la prueba debe arrojar la misma medición que se hizo al inicio de la prueba.

3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

- **Fuentes primarias:** Observación:
 - Hoja de control
 - Escalas
- **Fuentes secundaria:** Observación de información documentaria
 - Libros
 - Trabajos de investigaciones sobre el tema
- **Procedimiento de recolección de información:** Elementos:
 - Tiempo
 - Recursos
 - Procesos
 - Adiestramiento
 - Coordinación
 - Supervisión

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Principios Básicos

A.- Concreto Lanzado

Material que se coloca y compacta mediante impulsión neumática, proyectándose a gran velocidad sobre una superficie plana.

La función principal del concreto lanzado (shotcrete) es inmovilizar Los movimientos de roca inherentes al proceso de excavaciones subterráneas.

B.- Característica del Concreto Lanzado

- Más denso que un concreto normal.
- Relación A / C es menor.
- Resistencia mecánica superior.
- Menor permeabilidad.
- Buena resistencia al ataque químico, a la abrasión y al desgaste.
- Gran adherencia al sustrato.
- Fácil colocación y rendimiento de aplicación.
- No requiere de formaletas o encofrados.

C.- Propiedades del Concreto Lanzado

- Estructura interna consta de agregados más finos y mayor cuantía de cemento.
- Poros capilares se distribuyen uniformemente.
- La proyección forma poros aislados que mejoran resistencia a congelamiento y deshielo.
- Colocación por capas.
- Continuidad de fisura (adherencia mecánica).
- Excelente adherencia a soporte (limpio y saturado con superficie seca).
- Baja permeabilidad y baja absorción.
- Mayor contracción por secado en razón a la alta cuantía de cemento.

D.- Shotcrete por Proceso vía húmeda (ventajas)

- Alta capacidad de colocación 13.5 m³ /hora.
- El operador no está expuesto en el área a sostener.
- Bajo costo para el producto aplicado.
- Bajo rebote, entre 10% y 15%.
- Mejores condiciones de trabajo (menos polvo).
- Muy adecuado para aplicaciones con refuerzo de fibras.
- Método muy adecuado para sostener grandes áreas.
- Solo se utilizan dos personas para trabajar con el robot.
- Equipos robotizados pueden operar en varios frentes (facilidad de trasladarse).

E.- Shotcrete por Proceso vía húmeda (desventajas)

- Las secciones de las labores deben adecuarse para el traslado de equipos el robot y los mixeres.
- Equipos más caros (robots).
- La aplicación con equipos robotizados requiere de operadores con alto grado de entrenamiento.
- Tecnología especializada del concreto usado como shotcrete.
- Las vías por donde se van desplazar los equipos deben estar en buen estado.
- Shotcrete mal ejecutado es carga muerta y un peligro.

F. Sugerencia de Operación

- Operador calificado / conocimiento de técnicas de aplicación correctas.
- El flujo del concreto debe ser continuo.
- El flujo del aire debe ser continuo (no debe existir oscilaciones).
- La distancia de la boquilla al sitio debe estar entre 1.00 m. a 1.50 m.

- Cuando la estructura es reforzada se acercará más la boquilla para evitar sombras tras la armadura.
- Cuando se lanza por capas se retira el rebote y se dejara superficie plana.
- La inclinación de la boquilla para el concreto lanzado debe ser perpendicular.

3.6.2. Principios Teóricos

A.- Volumen de Rebote

El rebote está formado por los componentes que no se adhieren a la superficie en tratamiento, existen muchos fundamentos teóricos y prácticos para su evaluación, pero, en cualquier caso, el porcentaje de rebote depende de:

V_r = Volumen de rebote.

V_t = Volumen total de lanzado.

- Porcentaje (%) de Rebote real

$$\% \text{ de Rebote} = \frac{V_r \times 100}{V_t}$$

B. Volumen de Merma

Es la mezcla que se pierde por efecto de maniobra.

$$V_m = V_t - (V_{mcp} + V_o + V_r)$$

V_m = volumen de merma.

C. Volumen del Concreto Colocado y Pegado

El volumen del concreto compacto y pegado corresponde a la diferencia entre el volumen de mezcla y el de desperdicio, pues la mezcla se compacta en el momento del impacto contra la superficie de aplicación y recibe el nombre de " factor de compactación".

$$F.C. = \frac{V_t - \% D}{V_{mcp}}$$

$$V_{mcp} = \frac{V_t - \% D}{F.C.}$$

Donde:

F.C. = Factor de compactación.

V_t = Volumen de mezcla total.

D = Desperdicios (% de rebote y mermas).

V_{mcp} = Volumen de mezcla compacto y pegado

La compactación depende de varios parámetros, entre ellos el surtido de los áridos y la velocidad de impacto del chorro, con los áridos utilizado y con una presión de aire a la entrada de la manguera de impulsión, de 6 Kg./cm², se obtuvo un factor de compactación del orden de 1.35.

D. Volumen de Oquedades

Oquedades son todas las irregularidades y huecos fuertes del arco de un túnel minero.

$$V_t = V_{mcp} + V_o + V_r$$

$$V_o = V_t - (V_{mcp} + V_r + V_m)$$

V_o = volumen de oquedades.

3.7. Aspectos éticos

Esta investigación se realiza en base a las políticas y normas de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI. Asimismo, se respetará la propiedad intelectual de modo que se citaran los textos y libros empleados y con su bibliografía correspondiente.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS

4.1. Presentación y análisis de resultados

- **DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DE LA ROCA**

En rebotes, se llegaba a un 28% por la mala técnica de operación, ahora se ha logrado reducir a un 15% que es el tope máximo que debería general un robot.

El cálculo de la rugosidad se ha llegado a 3 de escala intermedia pulida de perfil ondulada JRC = 14 mm. **Apéndice N° 3.**

Las mermas se dan en la bandeja del robot y en el cilindro del mixer, que llegaba a un 6 %.

Tabla 6. *Total de perdidas*

EQUIPO	% PERDIDAS			TOTAL
	REBOTE	OQUEDADES	MERMAS EN CUBAS	
ROBOT	15%	18%	6%	39%

- **DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE OQUEDADES DEL CORTE DE LA ROCA**

Los resultados con respecto a la maximización del shotcrete está relacionado con el porcentaje de oquedades que presenta las labores subterráneas de Consorcio Minero Horizonte que llega a un 18%. **Apéndice N° 4.**

- **CALCULO DEL DISEÑO DE MEZCLA**

Se diseñó un concreto de Resistencia a la compresión (F'c) de 380 kg/cm². **Apéndice N° 5.**

- **CALCULO DEL VOLUMEN DEL SHOTCRETE**

Se logró estandarizar el cálculo del volumen del shotcrete de las secciones estandarizadas de la unidad minera de Consorcio Minero Horizonte. **Apéndice N° 6.**

- **DETERMINACION DE LAS TECNICAS DE LANZADO**

Las técnicas de lanzado también se estandarizo logrando con esto un aumento de área shocreteada en un 12.55% más. **Apéndice N° 9.**

4.2.Discusión de resultados

Las oquedades son huecos que se realizan por efecto de la voladura, siendo esta de recorte, pero si se lograra cambiar la técnica a pre corte, lograríamos reducir al minino de 3%.

Con respecto al rebote este valor puede ir bajando más a un 10% o 8%, responsabilidad del área de sostenimiento que todo su personal sea capacitado constantemente y que todo trabajador que ingrese en dicha área sea calificado.

Con respecto a las mermas hemos logrado controlar logrando reducirlo a un 6%, ya que esto es maniobra de operación.

En la proyección del shotcrete las técnicas de lanzado juega un papel muy importante, y a la vez el operador debe de estar bien capacitado sino esto arroja perdidas de proyección.

Según Martínez en diciembre del 2011, de la Pontifica Universidad Javeriana, de la facultad de ingeniería Civil público su libro “Análisis del Concreto Lanzado como Revestimiento Definitivo para Túneles”, en la que concluye, que la resistencia se ve afectada por el sistema constructivo. Los valores de absorción de energía, resistencia flexural y módulo de elasticidad aumentan notoriamente al usar la compactación mecánica que brinda el concreto lanzado. Reflejándose esto en menor cantidad de concreto, menor volumen de material de excavación, menos tiempos de construcción de lanzado, mayores eficiencias de los equipos y cumplimiento de metas.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinaron los parámetros óptimos para una máxima adhesión de shotcrete por proceso húmedo en Consorcio Minero Horizonte, mediante cálculos detallados en la investigación.
- Los cálculos de la rugosidad se han llegado a 3 dando un numero aceptable en la operación ya que, a mayor rugosidad, mayor adherencia.
- Las oquedades productos de la voladura se ha llegado al 18%, esto se mejoraría si se cambia de técnica de voladura de recorte a pre corte.
- Se logró calcular el volumen y estandarizar la fórmula de las secciones estatizada de la unidad minera.
- En el diseño la dosificación de los componentes, así como también los aditivos debe ser el óptimo para obtener un buen concreto de plasticidad, se calculó el diseño de mezcla con una resistencia a la compresión de 380kg/cm².
- Se logró estandarizar las técnicas de lanzado correcto en distancia, ángulo y tiempo de permanencia. Con respecto al factor humano, el operador debe estar bien capacitado y su personal de apoyo, evitando así pérdidas en el proceso de lanzado por desconocimiento.

5.2. Recomendaciones

- El shotcrete aplicado en minería subterránea generalmente no se cura. Existen agentes de curado internos y se estima que mejorarian las propiedades mecánicas de shocrete proyectado en un 20%, aumentando en costos de un 2% a un 5%. En la actualidad no se utilizan ni minería ni en obras civiles, pero son un punto de mejora en el área.

- El brazo del robot nunca debe exponerse en terreno no preparado, con el fin de que el proyectado sea continuo en la roca, evitando el rebote.
- El Shotcrete de buena calidad y bien ejecutado aumenta eficiencia del sistema de fortificación del sustrato.
- El Shotcrete mal ejecutado es carga muerta y un peligro para la operación por lo que el personal debe estar bien capacitado.

BIBLIOGRAFÍA

Nerio Robles, (1994) *Excavación y sostenimiento de túneles en roca*, CONCYTEC
Lima

Ismael Anabalon R.(1999) *instrucción de hormigón estructural*, Comercial SEMMCO
Ltda. Ministerio de fomento- Lima.

Marín Lozano, A (2003), *hormigón proyectado: análisis de la evolución de la vía húmeda*. Tesina de especialidad ETSECCPB-UPC. Lima

Adriana Reyes (2005) "Concreto Lanzado" México.

ACI (1995) "Specification for Shotcrete" EEUU

Alex Cano, Freddy Castañeda (2001) "Shotcrete Reforzado con fibras de Acero Caso Práctico" Central Hidroeléctrica de Yuncan – México.

Tom Melbye (2000) Shotcrete para soporte de rocas. Suiza

Carlos Zavala(2004) Ensayo de Tenacidad a la Flexión en Paneles Redondos de concreto con fibra. Perú

APÉNDICES

APENDICE N° 1

Tabla 7. *Matriz de consistencia*

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	POBLACION
Parámetros para Maximizar la Adhesión del Shotcrete por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.	¿Cómo Determinar los Parámetros para Maximizar la Adhesión del Shotcrete por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero	Maximización de la Adhesión del Shotcrete y la Minimización el Rebote por Proceso Húmedo en Minería Subterránea de Consorcio Minero Horizonte S.A.	Variable independiente: - El shotcrete. Variable dependiente: - La adhesión del shotcrete - El rebote del shotcrete	La población está representada por las labores subterráneas de la Unidad minera C.M.H.S.A.

	Horizonte S.A.?	OBJETIVOS ESPECIFICOS		
		Determinar el porcentaje (%) de rugosidad del corte de la roca.		
		Determinar el porcentaje (%) de oquedades del corte de la roca.		
		Calcular el diseño de mezcla.		
		Calcular el volumen del shotcrete.		
		Determinar técnicas de lanzado.		

Fuente: Propia.

APENDICE N°2

Laboratorio de Cálculos N° 1

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO POR METRO CÚBICO DE SHOTCRETE LANZADO POR VÍA HUMEDA

FECHA : 22/10/18
 ZONA : Norte
 LUGAR : Cx 907
 MINA : Milagros

1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

Tabla 8. *Dosificación de mezcla*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.
Volumen	M ³	2
Cemento	Kg.	800
Agregado (arena para shotcrete)	Kg.	3220
Agua	Lts.	342

Superplastificante	Its.	10
Relación w/c	w/c	0.45
Dramix 65/35	Kg.	40
Gunitop L-22	Lt.	22.72

Calibrador 2" = 22 unidades

2. DATOS DE CAMPO ANTES DE LA PRUEBA

2.1. DATOS DE CAMPO ANTES DEL LANZADO

Tabla 9. *Datos de campo antes del lanzado*

SECCIÓN	ANCHO	ALTURA	LONGITUD	PERÍMETRO
1	3.57	3.60	1	9.25
2	3.74	3.50	1	9.15
3	3.80	3.74	1.10	9.70
LONG. MEDIDA			3.10	9.37

Espesor de Shocrete = 2" Área a recubrir = 29.05 m²

2.2. DATOS DEL CAMPO DESPUÉS DEL LANZADO

Tabla 10. *Datos del campo después del lanzado*

SECCIÓN	ANCHO	ALTURA	LONGITUD	PERÍMETRO
1	3.52	3.65	1	8.99
2	3.69	3.45	1	9.00
3				
LONG. MEDIDA			2	8.99

Espeo de Shotcrete = 2" Área recubierta = 17.99 m²

2.3. MEDICIONES

Tabla 11. *Mediciones*

ESPECIFICACIÓN	VOLUMEN M ³	PORCENTAJES %
MEZCLA	2	100
REBOTE	0.58	29
MERMA	0.161	8.05
VOLUMEN PEGADO Y COMPACTADO	0.899	44.95
OQUEDADES	0.36	18

2.4. RENDIMIENTO REAL DEL CONCRETO LANZADO POR PROCESO HUMEDO EN CMHSA ANTES DE LA PRUEBA

Tabla 12. Rendimiento real del concreto lanzado por proceso húmedo en CMHSA antes de la prueba

Volumen Mezcla Húmeda M ³	Volumen de Rebote %	Volumen de Mermas %	Volumen de Mezcla Compacta y Pegada M ³	Espesor del Shotcrete m.l.	Área a Cubrir	
					Oquedades %	Área M ²
2	29%	8.05%	0.899	0.05	18%	17.99
	0.58 M ³	0.161 M ³			0.36 M ³	

Laboratorio de Cálculos N° 2

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO POR METRO CÚBICO DE SHOTCRETE LANZADO POR VÍA HUMEDA

FECHA : 22/10/18
 ZONA : Norte
 LUGAR : Cx 907
 MINA : Milagros

1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

Tabla 13. *Dosificación de mezcla*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.
Volumen	M ³	2
Cemento	Kg.	800
Agregado (arena para shotcrete)	Kg.	3220
Agua	Lts.	342
Superplastificante	lts.	10
Relación w/c	w/c	0.45
Dramix 65/35	Kg.	40
Gunitop L-22	Lt.	22.72

Calibrador 2" = 22 unidades

2. DATOS DE CAMPO CON LA PRUEBA

2..1. DATOS DE CAMPO ANTES DEL LANZADO

Tabla 14. *Datos de campo antes del lanzado*

SECCIÓN	ANCHO	ALTURA	LONGITUD	PERÍMETRO
1	3.57	3.60	1	9.25
2	3.74	3.50	1	9.15
3	3.80	3.74	1.10	9.70
LONG. MEDIDA			3.10	9.37

Espesor de Shocrete = 2" Área a recubrir = 29.05 m²

2..2. DATOS DEL CAMPO DESPUÉS DEL LANZADO

Tabla 15. *Datos de campo después del lanzado*

SECCIÓN	ANCHO	ALTURA	LONGITU D	PERÍMETRO
1	3.52	3.65	1	8.99
2	3.69	3.45	1	9.00
3	3.75	3.69	0.715	9.00
LONG. MEDIDA			2.715	8.99

Espeso de Shotcrete = 2" Área recubierta = 24.40 m²

2.3. MEDICIONES

Tabla 16. Mediciones

ESPECIFICACIÓN	VOLUMEN M ³	PORCENTAJES %
MEZCLA	2	100
REBOTE	0.30	15
MERMA	0.12	6
VOLUMEN PEGADO Y COMPACTADO	1.22	61
OQUEDADES	0.36	18

2.4. RENDIMIENTO REAL DEL CONCRETO LANZADO POR PROCESO HUMEDO EN CMHSA ANTES DE LA PRUEBA

Tabla 17. Rendimiento real del concreto lanzado por proceso húmedo en CMHSA antes de la prueba

Volumen Mezcla Húmeda M ³	Volumen de Rebote %	Volumen de Merms %	Volumen de Mezcla Compacta y Pegada M ³	Espesor del Shotcrete m.l.	Área a Cubrir	
					Oquedades %	Área M ²
2	15 %	6 %	1.22	0.05	18%	24.40
	0.30 M ³	0.12 M ³			0.36 M ³	

APENDICE N° 3

CALCULO DE RUGOSIDAD

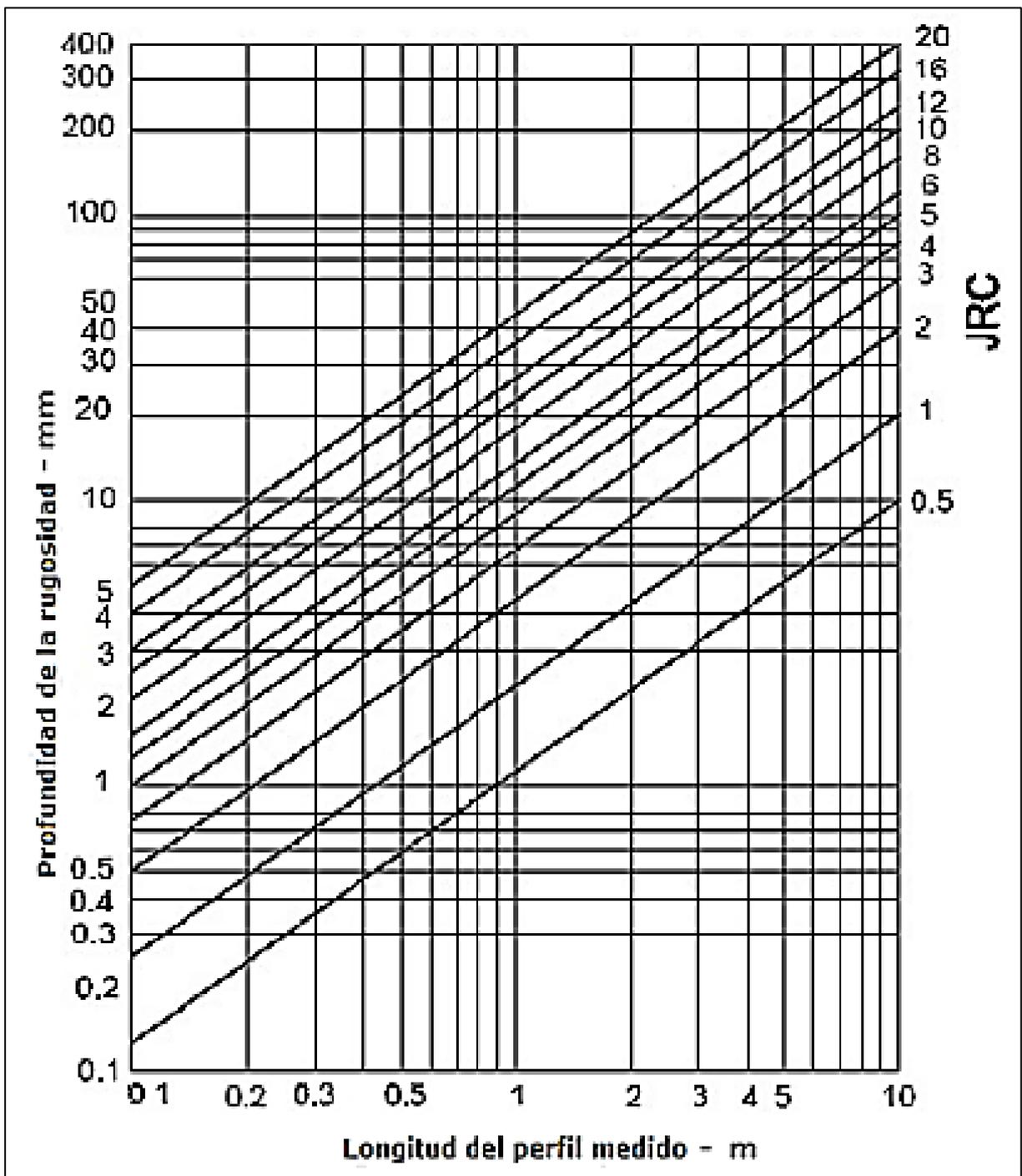


FIGURA N° 8. Diagrama para determinar JRC (Luego de Barton)

L = 0.15 m.

Pr = 5.1 mm.

JRC = 14 mm. = 3 (Jr) escala rugosa y un perfil ondulado

APENDICE N° 4

CALCULO DE OQUEDADES

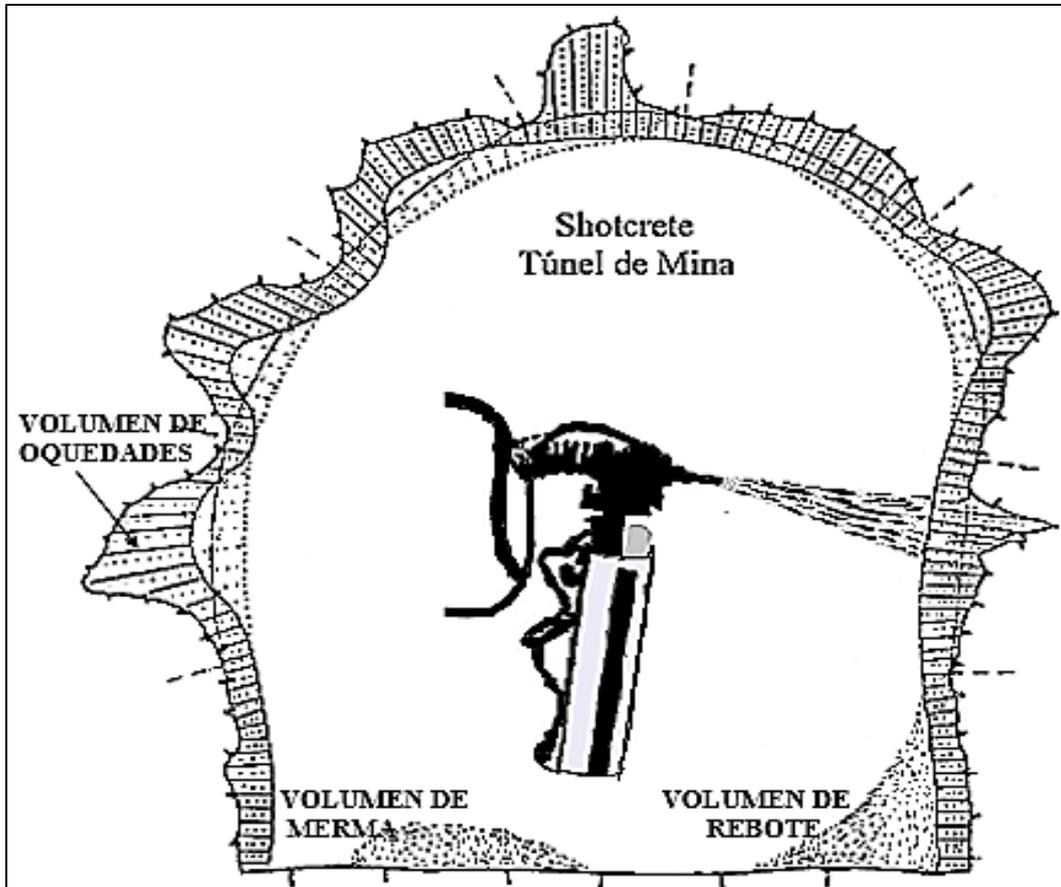


FIGURA N° 9. Sección de mina con Shocrete

$$V_o = V_t - (V_{mcp} + V_r + V_m)$$

$$V_o = 2 - (1.22 + 0.30 + 0.12)$$

$$V_o = 0.36 \text{ m}^3$$

APENDICE N° 5

Diseño de Mezcla

Para la óptima aplicación del sostenimiento con shotcrete, se aplicó los siguientes factores importantes tales como:

- Diseño de la mezcla.
- Espesor del Shotcrete.
- Presión de aire comprimido para una correcta compactación.
- Aplicación de la mezcla.
- Experiencia del operador al aplicar la mezcla.
- Fraguado.

Tabla 18. *Diseño de mezcla*

Material por m3 de Shotcrete	Mezcla para vía Húmeda (peso, kg/cm³)
Cemento	400 kg.
Arena para shotcrete	1610 kg.
Agua (litros)	171 lt.
Relación a/c (agua /cemento)	0.45
Superplastificante. Densidad 1.06 kg/litro.(litros)	5 lt.
Fibra de acero para vía húmeda 65/35	20- 30 - 40 kg
Resistencia a la compresión de la mezcla (promedio 28 días)	380 kg/cm ²
Resistencia a la flexo-tracción (promedio 28 días)	45 kg/ cm ²
Densidad por m ³	2240 kg.
Aditivos Sigunit L-22 o L-33 aplicado en el frente de trabajo. Densidad 1.45 kg/litro (galones)	3 gls.

Nota:

El diseño del shotcrete está contemplado para buenas resistencias a edades tempranas, las cuales también fueron estandarizadas entre los siguientes rangos mínimos:

- A las 3 horas = 45 kg/cm²

- A las 24 horas = 120 kg/cm²
- A los 3 días = 210 kg/cm²
- A los 7 días = 300 kg/cm²
- A los 28 días = 380 kg/cm²

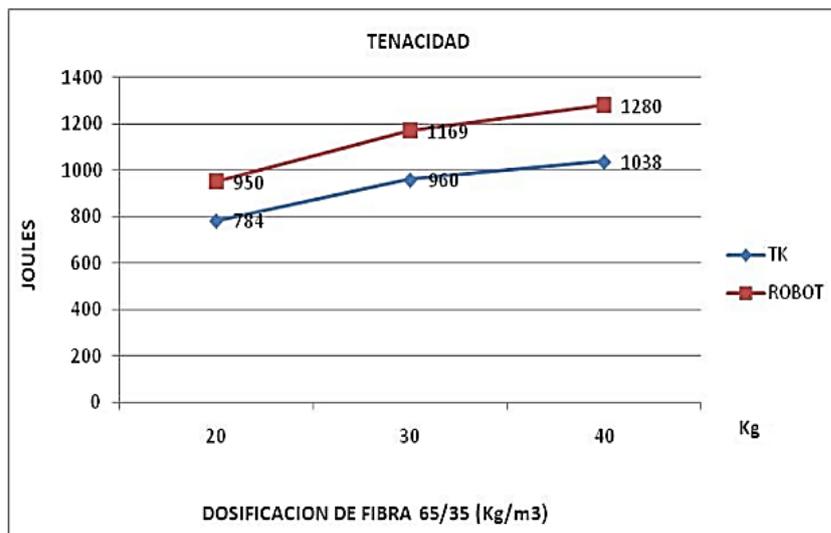
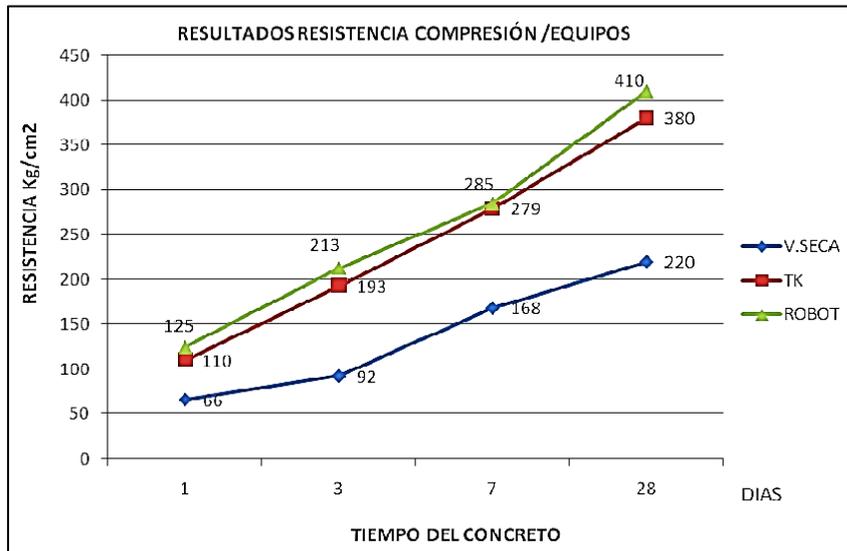


FIGURA N° 10. Comparaciones de resistencia de equipos

Para comprobar el comportamiento estructural del shotcrete reforzado con fibra de acero en términos de absorción de energía, nos basamos en las recomendaciones de EFNARC que están incluidas en la Norma Europea EN 14487, mediante paneles cuadrado de 600 x 600 x 100 mm.,

donde realizamos pruebas a diario, sobre la cual determinamos tres clases de shotcrete estructural para consorcio minero horizonte:

E800, E1000 y E1200

- a.- 800 Joules para rocas malas a muy malas.
- b.- 1000 Joules para rocas extremadamente malas.
- c.- 1200 Joules para rocas excepcionalmente malas.

Estos valores están por encima de las clases que propone la EN 14487 que es de E500, E700 y E1000, el éxito de esto es la calidad de la fibra.

Mediante el uso de fibras metálicas solucionamos la trabajabilidad a la flexo-tracción del shotcrete; y para la absorción de energía estandarizamos en CMHSA parámetros mínimos de tenacidad:

- Para 800 joules. 20 kg. de fibra
- Para 1000 joules. 30 kg. de fibra
- Para 1200 joules. 40 kg de fibra

APENDICE N° 6

Calculo del volumen del shotcrete

H = Altura de labor

A = Ancho de labor

e = espesor del shotcrete

L = Longitud

Fs = Factor de seguridad 1.5

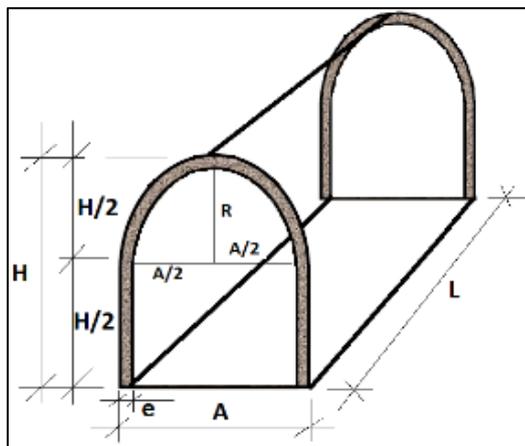


FIGURA N° 11. Sección mina

$$V = A \times e$$

$$A = P \times L$$

$$P = H/2 + H/2 + Lc/2 = H + \pi \cdot H/2 = H(1 + \pi/2)$$

$$Lc/2 = 2\pi \cdot r/2 = \pi \cdot r$$

$$V = H(1 + \pi/2) \times L \times e \times Fs$$

Tabla 19. *Perdidas del lanzamiento de shotcrete en operación por vía humedad*

EQUIPO	% PERDIDAS				TOTAL
	REBOTE	OQUEDADES	MERMAS EN CUBAS	TRASLAPE	
ROBOT	15%	18%	6%	10%	49%

LABORES MINERAS

DESARROLLO:

- RP PRINCIPALES 4.50 X 4.20
- CAMARA DE CARGUIO

PREPARACION:

- CX . 3.50 X 3.50
- BASCULANTES
- RP DE PROFUNDIZACION
- BAYS PASS

EXPLOTACION:

- TAJOS 3.5 x 3.5
 4 x 4
 4.5 x 4.5
 5 x 4

La velocidad de ventilación en la mina = 20 M/SEG.

CALCULO DEL VOLUMEN DEL SHOCRETE

IMPIRICO:

- $V = (2H + A) L x e x Fs$

MATEMATICO:

- $V = ((2H/3)^2 + \pi A/2) L x e x Fs$

- $V = (H (1 + \pi/2)) L x e x Fs$

$Fs = 1.5$

APENDICE N° 7

CALCULO DE ESPESOR DE SHOTCRETE EN GALERIA

1.- Geometría de la galería

Ancho de la galería B = 4.00m

Altura de la galería Ht = 4.00m

Espesor de shotcrete primario: e1 = 0.05m

Espesor del shotcrete secundario e2 = 0.05m

2.- Materiales

Macizo rocoso

a.- Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Barton (Q) Q = 2.9 Jn = 6 Jr = 3

RMR = 9 ln(Q) + 44 RMR = 53.05 Roca regular

Esfuerzo a la compresión Rc = 1186.4Kg/cm²

Densidad de la roca dr = 2690Kg/m³

Angulo de fricción interna $\phi = 38.65^\circ$

Cohesión C = 392.76Kg/cm²

Módulo de elasticidad

E2 = (2 RMR - 100) x 10⁴ Kg/cm² E2 = (2 x 53.5 - 100) x 10⁴ kg/cm²

E2 = 6.8x10⁹ Kg/m²

Coefficiente de Poisson $\beta = 0.25$

Módulo de Balasto según Peck

$$K_r = \frac{2 \times E_2}{(1-\beta)B} \qquad K_r = \frac{2 \times 6.8}{(1-0.25) \times 4} \times 10^4$$

Kr = 4.5 x 10⁹ kg/m³

b.- Sostenimiento con shotcrete

Primera Capa:

Resistencia a compresión a 28 días $f'_{sh1} = 380 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia al corte $f_v'_{sh1} = 0.2 \times f'_{sh1} = 5.4 \times 10^5 \text{ Kg/m}^2$

Densidad del shotcrete $d_{sh1} = 2000 \text{ Kg/cm}^3$

Segunda Capa:

Resistencia a compresión a los 28 días $f'_{sh2} = 380 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia al corte $f_v'_{sh2} = 0.2 \times f'_{sh2}$

$$f_v'_{sh2} = 5.7 \times 10^5 \text{ Kg/m}^2$$

Densidad del shotcrete $d_{sh2} = 2100 \text{ Kg/m}^3$

3.- Cargas consideradas

En el Interior de la galería

Barton (Q)

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

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

Bieniawski

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

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

4.- En el Interior de la galería (sostenimiento flexible)

a.-Método del Cálculo

El comportamiento de revestimiento con shotcrete, es similar al de un cilindro de pared delgado sometido a presión radial uniforme, esto se debe a la flexibilidad del revestimiento, permite una reducción de la altura y un incremento del ancho de la galería, suficientes para distribuir la diferencia inicial entre las presiones vertical y horizontal.

b.- Diseño del shotcrete

b.1.- Revestimiento Primario

Factor de carga en galería $F_c=1.5$

Barton (Q)

$$e_1 = \frac{F_c \times P_{v1} \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh1})} \quad e_1 = \frac{1.5 \times 3.798 \times 10^3 \times 4}{2 \times 0.8 \times 285} = 0.045 \text{ m.} < 0.05 \text{ m.}$$

Biniaswski (RMR)

$$e_2 = \frac{F_c \times P_{v2} \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh1})} \quad e_2 = \frac{1.5 \times 3.801 \times 10^3 \times 4}{2 \times 0.8 \times 285} = 0.048 \text{ m.} < 0.05 \text{ m.}$$

b.2.- Revestimiento secundario

Factor de carga $F_c=1.9$

Barton (Q)

$$e_1 = \frac{F_c \times (0.75P_{v1}) \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh2})} \quad e_1 = 0.047 \text{ m.} < 0.05 \text{ m.}$$

Bieniawski (RMR)

$$e_2 = \frac{F_c \times (0.75P_{v2}) \times B}{2 \times (0.8 \times f'_{sh2})} \quad e_2 = 0.049 \text{ m.} < 0.05 \text{ m.}$$

Tabla 20. Cuadro de revestimiento para shotcrete

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

APENDICE N° 8

Granulometría

Los agregados de arena y grava constituyen el esqueleto principal de la matriz del shotcrete, siendo aproximadamente el 75% del volumen de la mezcla.

La composición geológica del agregado tiene una fuerte influencia en la manejabilidad y en las propiedades del shotcrete endurecido tales como su resistencia.

Los agregados tienen diferentes funciones:

- La homogenización de la mezcla del shotcrete,
- La determinación del consumo de agua, llenante en la matriz,
- Las propiedades mecánicas de la mezcla (resistencia a la tensión, flexión y resistencia a la compresión),
- La trabajabilidad de la mezcla (forma de partículas y finos),
- El incremento en la durabilidad requerida (porosidad y dureza),

Es por estas razones que al agregado debe dársele la más alta importancia.

Por ejemplo, si el contenido de finos es ≤ 0.125 mm. esta mezcla se clasifica como muy manejable puede convertirse en una mezcla imposible de bombear, o si el contenido de componentes blandos en un agregado es demasiado alto, baja su resistencia al congelamiento.

Tabla 21. *Clasificación de agregados*

Tamiz (mm)	Min. (%)	Máx. (%)
0.125	4	12
0.25	11	25
0.5	22	50
1	37	72
2	55	90
4	73	100
8	90	100
16	100	100

Nota:

- Hormigón proyectado: tamaño máximo de áridos de 12 – 16 mm.
- Mortero proyectado: tamaño máximo de árido 6 mm.
- En el shotcrete el 70% es finos y 30% grueso, es lo contrario del concreto convencional donde el 60 es grueso y el 40% es finos.

APENDICE N° 9

Técnicas de Lanzado

Para conseguir óptimos resultados en la proyección de hormigón, el prerequisite más importante es el correcto diseño de la mezcla. Sus componentes (áridos, cemento, agua, materiales finos complementarios, aditivos químicos y fibras) forman un sistema complejo y determinan la calidad del acabado.

Otro aspecto clave es la correcta técnica de aplicación, determinante para maximizar la adhesión del hormigón a la superficie y minimizar la cantidad de rebote.

Siguiendo las siguientes reglas, se consigue el mejor resultado posible con la máxima seguridad del operador.



FIGURA N° 12. Lanzado de Shocrete

1. Limpiar la superficie antes de la proyección

Para preparar la superficie en aplicaciones subterráneas, se comienza con la inspección de riesgos por caída de roca y materiales sueltos. Después, se retira el material sobrante y los escombros y se elimina el polvo del sustrato usando agua, aire o una combinación de ambas.

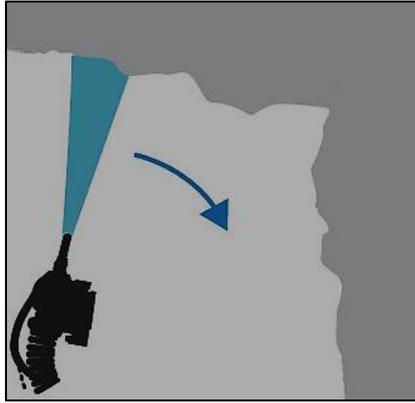


FIGURA N° 13. Limpieza de la superficie a proyectar con agua a presión

2. Mantener una distancia entre la boquilla y el sustrato de 1 a 1.5 m.

La fuerza del impacto que garantiza la adhesión del hormigón a la superficie viene dada por la distancia entre la boquilla y el sustrato. Si la distancia es demasiado pequeña, habrá una gran cantidad de rebote. Si la distancia es excesiva, la fuerza del impacto será demasiado débil para que el hormigón se compacte y adhiera



FIGURA N° 14. Lanzado de Shocrete con distancia adecuada

3. Colocar la boquilla en ángulo de 90° con el sustrato

El ángulo que forma la boquilla con el sustrato influye en la correcta compactación del hormigón y la cantidad de rebote provocada. Además, el hormigón debe aplicarse realizando un movimiento circular de manera uniforme a lo largo de toda la superficie para un resultado homogéneo.

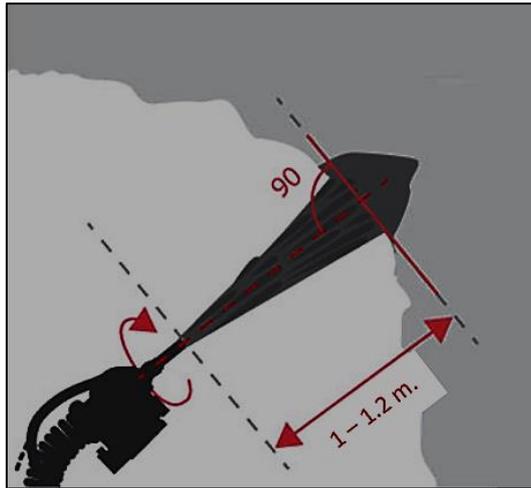


FIGURA N° 15. Movimientos circulares, respetando ángulos y distancias recomendados

4. Rellenar grietas y fisuras

Con el fin de regularizar la superficie a proyectar, antes de realizar las primeras capas, es necesario rellenar las fisuras y grietas del terreno.



FIGURA N° 16. Allanar la superficie a proyectar

5. Aplicación en capas

Las capas se aplican desde abajo hacia arriba. La primera capa servirá de sellado para las posteriores, el número y grosor de éstas se determina según los parámetros de la obra y el grado de homogeneidad del sustrato que se desee conseguir.



FIGURA N° 17. Primera capa como soporte y base para las siguientes

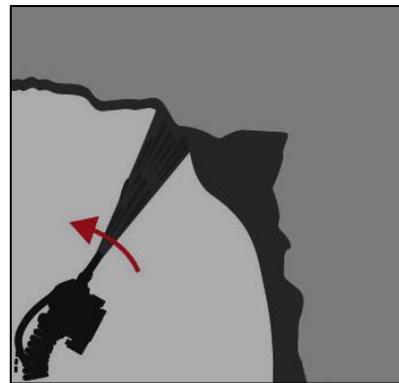


FIGURA N° 18. Sigüientes capas de proyección según parámetros de obra

6. Volver a limpiar la superficie en períodos prolongados entre capa y capa.

Cuando transcurre demasiado tiempo entre la aplicación de una capa y otra, es recomendable limpiar la superficie con agua a presión. Así, se elimina el exceso de polvo y se facilita la adhesión del hormigón sobre la superficie.



FIGURA N° 19. Limpiar de la superficie

7. Limpiar el equipo inmediatamente después de la aplicación.

Para prevenir cualquier acumulación de material en las tuberías, boquilla, bomba de hormigón y bomba de aditivo, así como evitar el aumento en la discontinuidad de flujo, el correcto mantenimiento y limpieza del equipo es imprescindible y garantiza su óptimo funcionamiento. La proyección sólo debe comenzar de nuevo una vez el equipo se haya limpiado correctamente.



FIGURA N° 20. Limpieza del equipo

8. Hidratar la superficie

Se recomienda mantener la superficie hidratada, durante al menos los 7 días posteriores a la proyección, para evitar la pérdida de resistencia a la compresión y la aparición de fisuras provocadas por el rápido endurecimiento del hormigón proyectado. A este proceso se le llama curado. Algunos métodos son el rociado o pulverización de agua sobre la superficie, el uso de cubiertas y láminas de papel o plástico, o añadir aditivos específicos en la mezcla de hormigón.

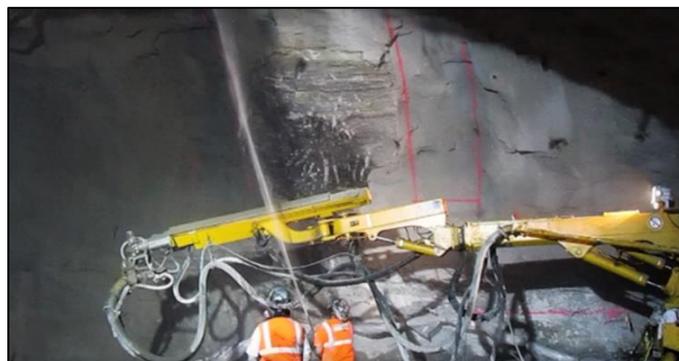


FIGURA N° 21. Hidratación de la superficie

9. Formación continua del operador

El operador conseguirá mejores resultados en la proyección manteniéndose al día en todo lo relativo al shotcrete: uso eficiente de la tecnología del equipo de proyección, mezcla de shotcrete (composición, preparación y aplicación), y correcta técnica de proyección.



FIGURA N° 22. Formación del operador

Principalmente la fortificación con shotcrete con o sin fibra tiene dos grandes aplicaciones o efectos, los cuales son:

- **Sellar las superficies de la roca**, rellorando las juntas y/u grietas existentes en la roca, evitando la caída de bloques pequeños y la alteración de la roca, manteniendo su capacidad de estabilidad por un período de tiempo más largo.
- **Generar un anillo en el túnel o desarrollo subterráneo**, que genera una resistencia que trabaja en forma similar a la de un marco, la que soporta las cargas de la roca al deformarse. También este anillo es capaz de resistir la carga puntual ejercida por pequeñas cuñas o bloques.



FIGURA N° 23. Esquema de Fortificación

usando Shotcrete

APENDICE N° 10

PANELES FOTOGRAFICOS

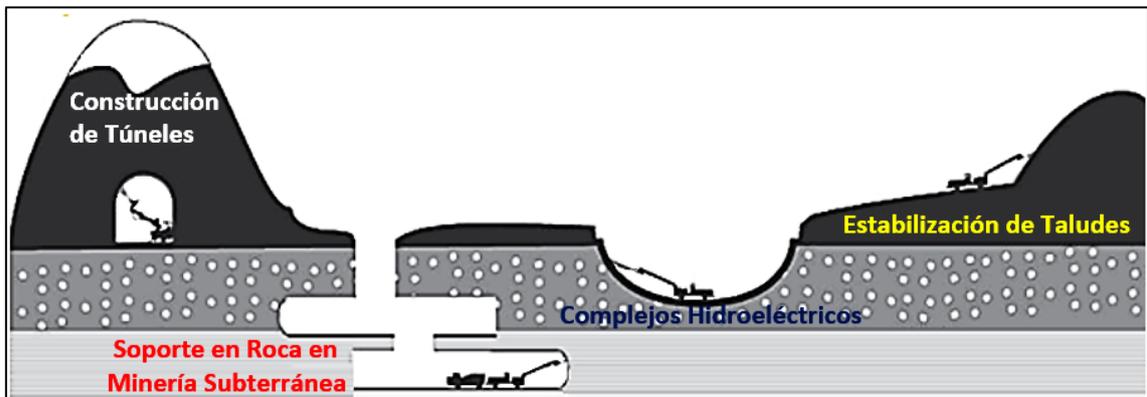


FIGURA N° 24. Aplicación del shotcrete vía húmeda

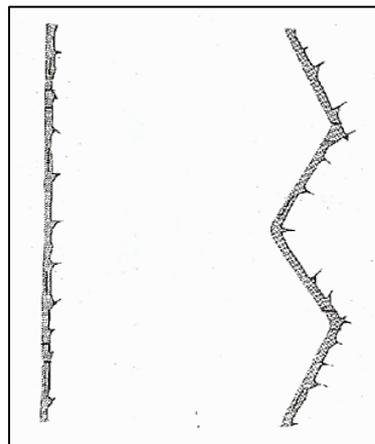


FIGURA N° 25. Rugosidades y Oquedades



FIGURA N° 26. Peine de Barton

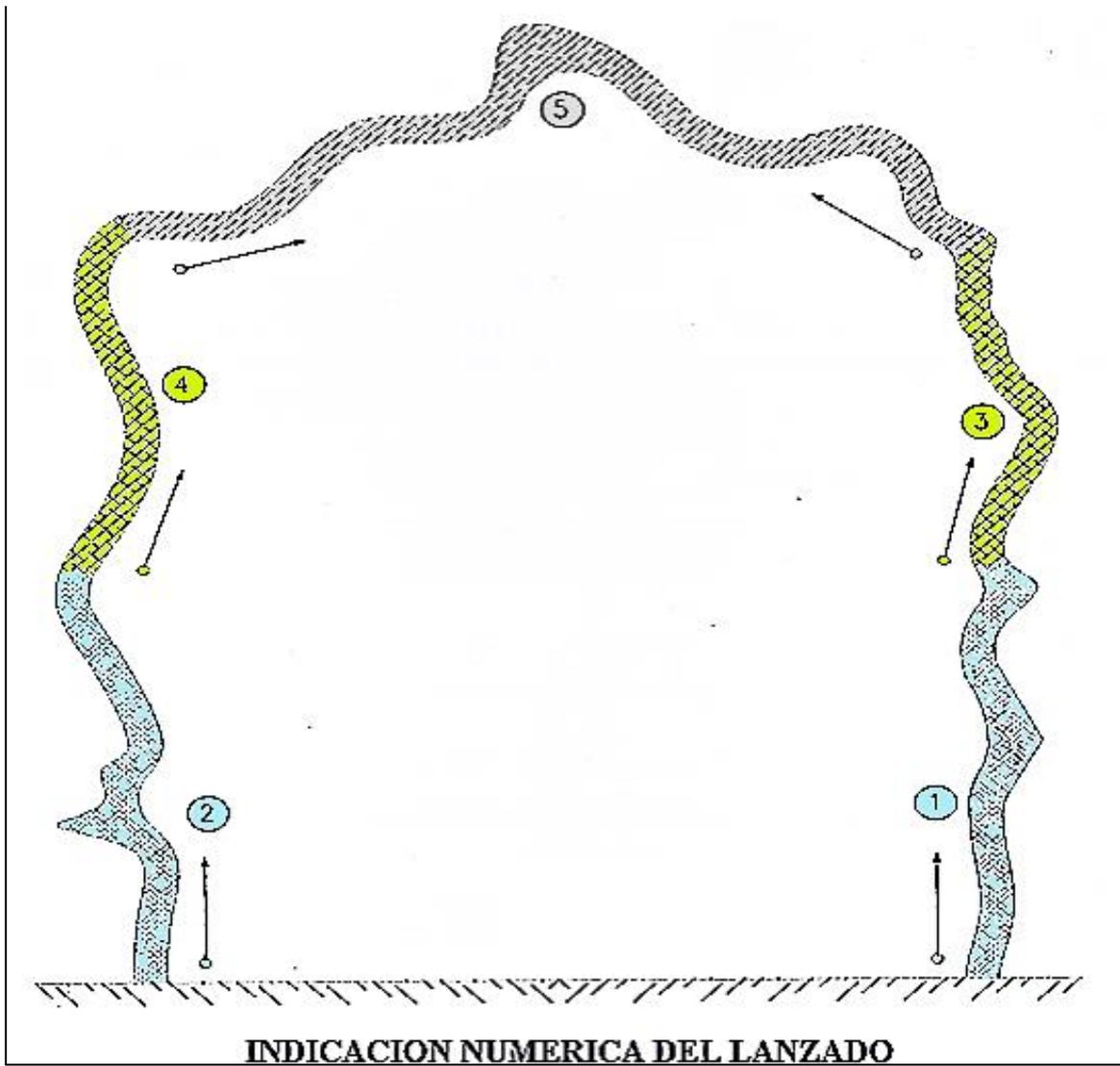


FIGURA N° 27. Pasos de lanzado

Factor de Compactación = 1.35

$$V_{mcp} = \frac{Vt - \% D}{F.C.}$$

$$V_{ht} = V_{mcp} + V_{hr} + V_{hm}$$

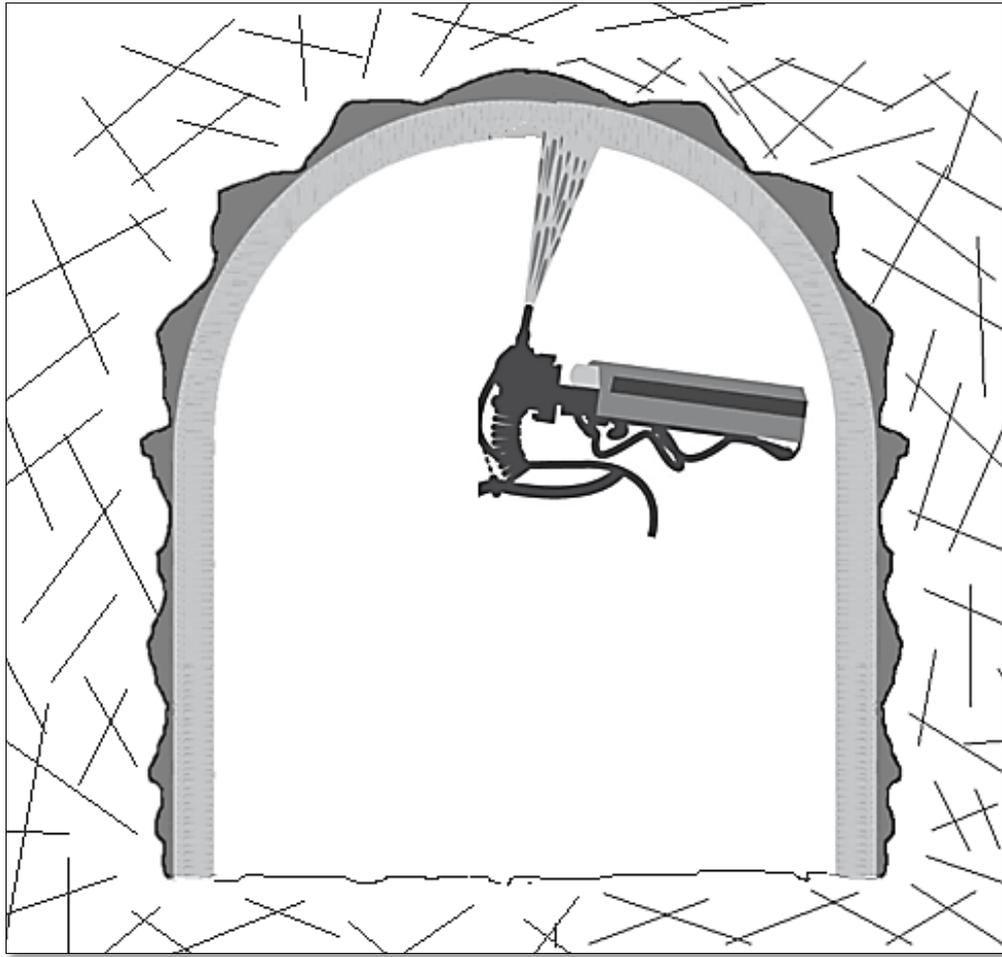


FIGURA N° 28. Sección de un túnel Shocreteado



FIGURA N° 29. Fecha y hora de lanzamiento

ANEXOS

ANEXOS N° 1

MINERO HORIZONTE		HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD			
		Nombre del Producto o Químico. (Sinónimos)			
		MSDS N° : 010			
		N° NU: No disponible			
		Uso: Construcciones			
		INFORMACIÓN TÉCNICA			
		Gravedad Específica : (H ₂ O=1)3.15			
		Punto de Ebullición: No aplicable.			
		Punto de Fusión: No aplicable			
		Punto de inflamación: No es combustible ni explosivo.			
		EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL			
		PROTECCIÓN RESPIRATORIA: Respirador para filtrar el polvo aprobado por MSHA / NIOSH			
		PROTECCIÓN PARA LOS OJOS: Lentes Goggles.			
		PROTECCIÓN PARA LAS MANOS: Guantes impermeables.			
		PROTECCIÓN PARA LOS PIES: Botas de jebe impermeables de caña alta.			
		FUEGO Y EXPLOSIÓN			
		No inflamable, en caso de incendio utilice todos los medios de extinción. No es explosivo.			
		DATOS TOXICOLÓGICOS			
		TOXICIDAD POR INHALACIÓN: Tóxico			
		IRRITACIÓN DE LOS OJOS: Irritante			
		TOXIDAD DERMICA : Quemaduras cáusticas leves o severas.			
		PELIGRO DE INCENDIO / RIESGO			
		0 - No Arden / Mínimo			
		1.- Arriba de 93.3°C / Ligero			
		2.- Arriba de 37.8°C / Moderado			
		3.- Arriba de 23°C / Alto			
		4.- Debajo de 23°C / Severo			
		PELIGRO REACTIVIDAD / RIESGO			
		0 - Estable / Mínimo			
		1.- Inestable con el Calor / Ligero			
		2.- Cambios Químicos Violentos Sin Estallar / Moderado			
		3.- Puede Explotar con Calor o Choque / Alto			
		4.- Puede Explotar A Tª y Presión Ambiente / Severo			
		PELIGRO DE LA SALUD / RIESGO			
		0 - Materia Normal / Mínimo			
		1.- Ligero Peligroso / Leve			
		2.- Peligroso / Moderado			
		3.- Extremo Peligroso / Alto			
		4.- Mortal / Severo			
		PELIGRO ESPECIFICO			
		Oxidante			
		Acido			
		Alcalino			
		Corrosivo			
		No Use Agua			
		Peligro Radiación			
		LEYENDA DE CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS			
		VALOR			
		COLOR			
		LEYENDA			
		Nº			
		INFLAMABLE			
		SALUD			
		REACTIVIDAD			
		PELIGRO ESPECIFICO			
		ALMACENAJE			
		ALMACENAJE: Mantener en zonas secas, es un producto estable. El polvo de aluminio y otros álcalis y elementos alcalinos de la tierra reaccionan con el mortero mojado o concreto liberando gas hidrógeno. El cemento es altamente alcalino y va a reaccionar con los ácidos produciendo una violenta reacción generadora de calor. Gases o vapores tóxicos pueden emanar dependiendo de los ácidos involucrados			
		PRIMEROS AUXILIOS			
		INHALACIÓN: Puede causar irritación al las zonas interiores de la nariz. Irrita el sistema respiratorio superior. La exposición de siliceocrystalino respirable si uso de respirador, puede causar silicosis y puede agravar otras condiciones pulmonares.			
		CONTACTO CON LOS OJOS: Puede producir quemaduras graves en los ojos y afectar de manera directa a la córnea. Lave inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos y brinde asistencia médica.			
		CONTACTO CON LA PIEL: Los individuos hipersensibles pueden desarrollar una dermatitis alérgica. Lave las áreas de la piel expuestas con agua y jabón.			
		FUGAS O DERRAMES			
		No se requiere procedimientos especiales de emergencias.			
		Utilizar los equipos de protección personal / recomendados			
		Proceder a la limpieza en seco del derrame evitando dispersar el polvo.			
		No respirar el polvo, si protección respiratoria.			
		De no encontrarse contaminado las pequeñas cantidades derramadas pueden regresarse au depósito.			

FIGURA N° 30. Hoja de seguridad del cemento

ANEXOS N° 2

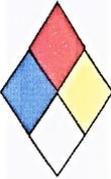
MINERO HORIZONTE		HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD			
		Nombre del Producto o Químico, (Sinónimos)			MSDS N° : 036
		SIGUNIT L-22			N° NU: No Disponible
					Uso: Fraguado de cemento en construcciones
		COLOR	VALOR	LEYENDA	NFPA
Rojo	-	Inflamable :	2	Estadí Físico: Solución acuosa de alcalinos Punto de Ebullición: >100°C Densidad a 20°C: 1,49 - 1,52g/cm3 pH a 20°C: Mínimo 12	
Azul	-	Salud :	1		
Amarillo	-	Reactividad :	1		
Blanco	-	Peligro Especifico:	0		
ALMACENAMIENTO			EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL		
Manipular los recipientes con los equipos de protección recomendados, mantener los recipientes herméticamente cerrados y guardarlos en un lugar fresco y bien ventilado. Mantener alejados de alimentos, bebidas y comida de animales. Proteger de las heladas. El producto puede durar un año si se conserva bajo techo y en su envase original.			INHALACION: Respirador para gases. PIEL: Guantes de goma natural o sintética. Utilizar mameluco de trabajo simple. OJOS: Utilizar gafas protectoras o caretas de protección facial. PIES: Botas de jebe impermeables de caña alta.		
					PRIMEROS AUXILIOS
Inhalación: Puede causar irritación. En el caso de sentir molestias acudir al médico. Ojos: Provoca quemaduras, puede generar lesiones oculares irreversibles. Lavar los ojos con abundante agua durante 15 minutos y acudir al médico. Piel: Provoca quemaduras. Lave la zona abundante agua y jabón, si persisten los síntomas acudir al médico. En caso de quemaduras lavar con abundante agua durante por lo menos 10 minutos, no abrir las ampollas y acudir al médico. Ingestión: Provoca quemaduras, una pequeña cantidad puede ocasionar considerables perturbaciones en la salud. No provocar el vómito, requerir inmediatamente asistencia médica.			El producto no arde por sí sólo. Utilice el equipo de protección personal necesarios. Los recipientes expuestos al fuego deben ser refrigerados con agua pulverizada. Utilice todos los medios de extinción necesarios en caso de fuego.		
FUGAS O DERRAMES					DATOS TOXICOLÓGICOS
Colocarse la ropa de protección personal. Evitar que penetre en el alcantarillado o aguas superficiales. Puede afectar a la vida acuática. Evitar que el producto penetre en el subsuelo o la tierra. En caso de entrar en contacto con el agua o el suelo informar al DMA, para proceder a tomar las medidas de control necesarios. Recoger el derrame con materiales absorbentes adecuados.			TOXICIDAD POR INHALACIÓN: No tóxico IRRITACIÓN DE LOS OJOS: Irritante. IRRITACIÓN DE LA PIEL: Irritante.		
LEYENDA DE CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS					
PELIGRO DE LA SALUD / RIESGO			PELIGRO DE INCENDIO / RIESGO		
0.- Materia Normal / Mínimo 1.- Ligero Peligroso / Leve 2.- Peligroso / Moderado 3.- Extremo Peligroso / Alto 4.- Mortal / Severo			0.- No Arden / Mínimo 1.- Arriba de 93.3°C / Ligero 2.- Arriba de 37.8°C / Moderado 3.- Arriba de 23°C / Alto 4.- Debajo de 23°C / Severo		
PELIGRO ESPECÍFICO			PELIGRO REACTIVIDAD / RIESGO		
Oxidante	OXY		0.- Estable / Mínimo 1.- Inestable con el Calor / Ligero 2.- Cambios Químicos Violentos Sin Estallar / Moderado 3.- Puede Explotar con Calor o Choque / Alto 4.- Puede Explotar A T° y Presión Ambiente / Severo		
Ácido	ACID				
Alcalino	ALK				
Corrosivo	COR				
No Use Agua	W				
Peligro Radiación					

FIGURA N° 31. Hoja de seguridad del acelerante L -22



Plastiment® HE 98

ADITIVO PLASTIFICANTE E IMPERMEABILIZANTE

Aspecto : Líquido
 Color : Café
 Densidad : 1.18 kg/l ± 0.01 kg/l

DESCRIPCION	Plastiment® HE 98 es un aditivo plastificante e impermeabilizante exento de cloruros que produce en el concreto un aumento considerable en su trabajabilidad logrando una buena reducción en la relación A/C.
CAMPO DE APLICACION	Plastiment® HE 98 es un aditivo de uso universal y su empleo es recomendable en todos los concretos de obras civiles, edificaciones, prefabricados y, en general, en toda obra de concreto donde: <ul style="list-style-type: none"> • Se exija un concreto de calidad. • Se tenga que elaborar elementos esbeltos y/o de alta cuantía de acero. • Se requiera superficies en concreto caravista. • Se necesite facilitar las labores de colocación. • En todo tipo de obras hidráulicas (canales, presas, piscinas, cisternas, entre otros),
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la trabajabilidad en el concreto fresco, facilitando las labores de colocación de éste. • Permite reducir el agua de amasado en el concreto produciendo incrementos en las resistencias mecánicas. • Aumento de la impermeabilidad. • Disminución de las retracciones. • No contiene cloruros. • Colocación del concreto con una ligera vibración en los lugares con gran cuantía de acero o poco accesible. • Rapidez en la colocación del concreto bombeado gracias a la mejora de su trabajabilidad (slump).
DATOS TECNICOS	<ul style="list-style-type: none"> • pH al 10% : 8.5 ± 0.5 • % de sólidos : 38 ± 1 • Cumple la Norma ASTM C-494 Tipo A
MODO DE EMPLEO	Plastiment® HE 98 se utiliza diluido en el agua de amasado del concreto de acuerdo a la dosificación prescrita. Se recomienda no preparar soluciones de antemano, por cuanto el aditivo tiene mayor densidad que el agua. Si no se dispone de dosificadores de aditivo, debe emplearse un recipiente con la medida exacta para cada amasado.
CONSUMO	La dosis varía aproximadamente entre 0.3% a 0.7% del peso del cemento según el efecto deseado. Para lograr una buena impermeabilidad, la dosis debe ser 0.4% del peso del cemento.
ALMACENAMIENTO	Se puede almacenar por 1 año en su envase original cerrado, sin deterioro si se mantiene en un lugar fresco y bajo techo.

FIGURA N° 32. Hoja técnica del aditivo plastificante e impermeabilizante (SIKA)

ANEXOS N° 4

Panel Fotográfico



FIGURA N° 33. Equipo robotizado construido en Retamas – Perú, por parte de la empresa CMHSA



FIGURA N° 34. Canteras en CMHSA



FIGURA N° 35. Planta de concreto



FIGURA N° 36. Laboratorio

CERTIFICADO DE TRABAJO

CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A con R.U.C. 20136150473,

CERTIFICA

Que el (la) señor(a): VALDERRAMA FERNANDEZ, ELEODORO JORGE; identificado(a) con DNI 18875120 ha prestado sus servicios en nuestra unidad minera de Parcoy, desde el 16 de Diciembre del 2011 hasta el 04 de Noviembre del 2015, fecha en que concluyó la relación laboral; siendo su último cargo:

JEFE DE SERVICIOS AUXILIARES MINA

Se expide el presente Certificado en cumplimiento de lo dispuesto por la Tercera Disposición Complementaria, Derogatoria y Final del D.S. No. 01-96-TR.

San Borja, 04 de Noviembre del 2015

CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.

Edgardo Mixán Álvarez
SUPERVISOR DE RECURSOS HUMANOS

CERTIFICADO DE PRÁCTICAS
PRE – PROFESIONALES

El que suscribe, ING. JORGE GERARDO AYALA MINA, Gerente General de CIEMAM S.A.C. con RUC 20600761987, otorga el presente Certificado de prácticas pre-profesionales a:

FERNANDEZ ALVAREZ, CHRISTIAN ALEXANDER

Estudiante de la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO "BENEDICTO XVI", con DNI N° 71597948, quién realizó sus prácticas pre-profesionales bajo nuestra supervisión en nuestras instalaciones de la Unidad Minera Colquirrumi, ubicada en el distrito y provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, durante 360 horas, equivalentes a 3 meses.

El señor, realizó sus prácticas a completa satisfacción y mostró en todo momento eficiencia, puntualidad, responsabilidad y buena formación académica en el área de minas.

Se otorga el presente certificado para los fines que el interesado considere conveniente.

Lima, 8 de octubre del 2018.



Jorge Ayala Mina
GERENTE GENERAL
CIEMAM S.A.C.