

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**CIVIL**

**SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VÍA HÚMEDA EN LA MINA  
COBRIZA**



**PROYECTO DE TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR**

**CESAR LEONCIO GUZMAN ZUÑIGA**

LIMA – PERU

2008



**Dedico la presente a mis  
padres por haberme  
apoyado en todas mis  
decisiones, a mi madre por  
los cafés de las 4:30 am; a  
mi viejo, por los “ve a  
descansar” de las 5:00 am.**

**Dedico la presente a mis  
hermanos que aun cuando  
esté viejo cuidarán de mí.**

**La Honestidad no es una  
virtud es una obligación; la  
brutalidad en cambio es un  
derecho que tienen algunos  
sistemas nerviosos frágiles.**

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>13</b>
<b>1.0 ASPECTOS GENERALES</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Ubicación.</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Métodos de Explotación y Exploración</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Composición del Macizo Rocoso.</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Fallas que Contribuyen a la Caída de Rocas</b>	<b>17</b>
<b>1.4.1 Rocas Sueltas</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2 Pizarra Expuesta</b>	<b>19</b>
<b>1.4.3 Lajeado en Hastiales</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Elementos de Sostenimiento</b>	<b>23</b>
<b>1.5.1 Diques de Contención (Muros)</b>	<b>24</b>

1.5.1	Las Cimbras	25
1.5.2	Los Pernos de Anclaje	26
<b>CAPÍTULO II</b>		<b>30</b>
2.0	<b>OBJETIVOS</b>	<b>30</b>
2.1	Objetivo General.	30
2.2	Objetivo Específico	30
2.3	Diseños de Sostenimiento	31
2.3.1	Sostenimiento de rocas mediante el método del Rmi	31
2.4	Concreto lanzado (shotcrete)	34
2.5	Tecnología de Shotcrete	36
2.5.1	Shotcrete Vía Seca.	36
2.5.2	Shotcrete Vía Húmeda.	39

<b>CAPÍTULO III</b>	<b>42</b>
<b>3.0 Materiales para la Mezcla</b>	<b>42</b>
<b>3.1 Agregados</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Agua</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Filler Calizo</b>	<b>49</b>
<b>3.4 Cemento</b>	<b>51</b>
<b>3.5 Aditivos para la Mezcla</b>	<b>54</b>
<b>3.5.1 Aditivos para el Control de Hidratación.</b>	<b>54</b>
<b>3.5.2 Aditivos Reductores de Agua.</b>	<b>56</b>
<b>3.5.3 Aditivos Acelerantes de Fragua.</b>	<b>59</b>
<b>3.5.4 Otros Aditivos</b>	<b>61</b>
<b>3.5.5 Fibras para el Shotcrete.</b>	<b>62</b>

<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>63</b>
<b>4.0 Diseño del Trabajo Experimental</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Selección del Sostenimiento.</b>	<b>63</b>
<b>4.2 Selección del Agregado.</b>	<b>63</b>
<b>4.3 Análisis del Agua.</b>	<b>64</b>
<b>4.4 Selección de los Aditivos.</b>	<b>65</b>
<b>4.4.1 Rehouild 1000</b>	<b>65</b>
<b>4.4.2 Delvo Estabilizador</b>	<b>67</b>
<b>4.4.3 Meyco Sa 160 E</b>	<b>68</b>
<b>4.5 Selección de la Fibra</b>	<b>70</b>
<b>4.5.1 Fibra NOVOCON 05</b>	<b>70</b>
<b>4.5.2 Fibra ENDURO</b>	<b>72</b>

<b>4.6</b>	<b>Dosificación del Shotcrete</b>	<b>75</b>
<b>4.6.1</b>	<b>Dosificación del Shotcrete con Fibra ENDURO</b>	<b>75</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Dosificación del Shotcrete con Fibra NOVOCON</b>	<b>83</b>
<b>4.7</b>	<b>Ensayos del Concreto</b>	<b>91</b>
<b>4.7.1</b>	<b>Tabla Comparativa de Ensayos a Compresión de Concreto con Fibras Novocon vs Enduro.</b>	<b>91</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Tabla Comparativa de Ensayos a Flexión de Concreto con Fibras Novocon vs Enduro.</b>	<b>104</b>

<b>CAPÍTULO V</b>	<b>107</b>
<b>5.0 Conclusiones</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>111</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO</b>	<b>113</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La presente tesis muestra de manera comparativa los distintos tipos de sostenimiento que se usan actualmente en la Mina Cobriza.

Tomamos como referencia además el uso del Shotcrete vía húmeda como método de ensayo, por ser este un sistema de sostenimiento relativamente nuevo usado por Doe Run desde el año 1999 hasta la actualidad en las labores de la Mina Cobriza su principal unidad de explotación y productor de concentrado.

# CAPÍTULO I

## 1.0 ASPECTOS GENERALES.

### 1.1 UBICACIÓN.

La Mina Cobriza está ubicada en el departamento de Huancavelica, provincia de **Churcampa** distrito de **San Pedro de Coris**, a una altitud de 2280 m.s.n.m; las vías de acceso a la mina son: Lima - La Oroya – Huancayo – Pampas - Cobriza a 525 Km. ; Lima – Ayacucho – Churcampa - Cobriza a 685 Km.

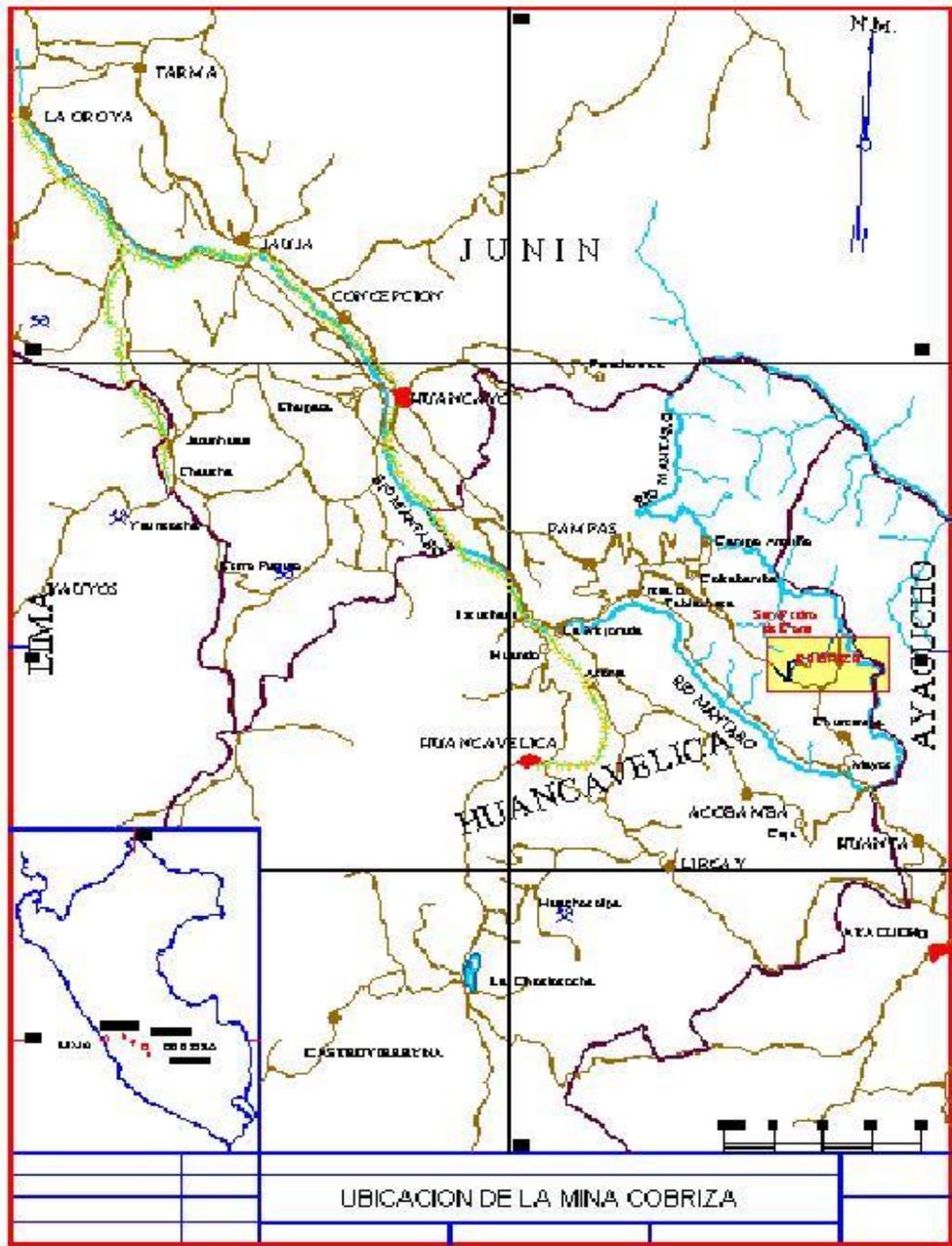
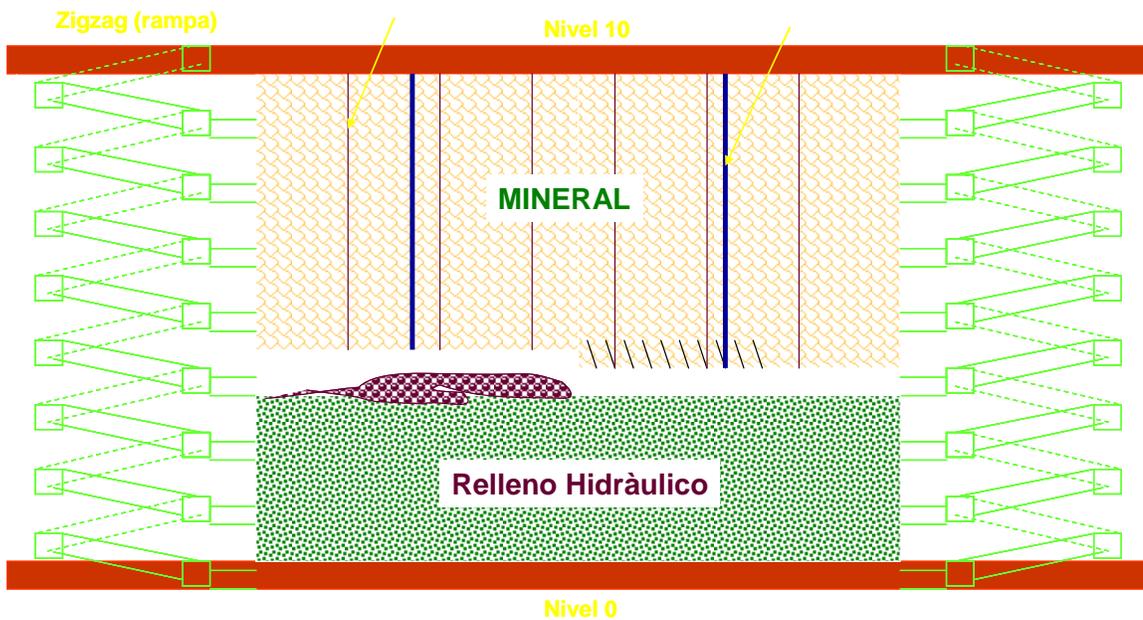


Fig. 01.- Mapa de ubicación de la mina.

## 1.2 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN Y EXPLORACIÓN.

El tipo de producción es mecanizada con un sistema de Recuperación de Corte y Relleno Hidráulico ascendente usando como vías de acceso ZIG-ZAG (rampas en espiral) las cuales tienen una sección de 6m x 4m promedio, con una pendiente de 12%, compuestas de un 60% de MANTO y un 40 % de PIZARRA.

Fig. 02



### 1.3 COMPOSICIÓN DEL MACIZO ROCOSO.

El **MR** (Macizo Rocos) o **Roca** es la Unidad Básica de la corteza terrestre; es un conjunto de minerales formados en determinadas condiciones de temperatura, presión y otros factores que han permitido su consolidación.

La **Mina Cobriza** tiene como principal fuente de producción al concentrado de **Cu (Cobre)**, en un 25%; su Producción promedio es de 4700 TM/día con una ley de 1,04% Cu.

Los materiales rocosos predominantes en la **Mina Cobriza** son el **Manto** que está compuesto principalmente de cobre y otros

materiales como **Chalcopyrita, Pirrotita, Horblenda, Magnetita,**  
etc.

Su volumen aproximado es de 5 Km X 1 Km de área x 30 m de  
espesor; y la Pizarra, compuesta de materiales diversos muy  
inestables

#### **1.4 FALLAS QUE CONTRIBUYEN A LA CAÍDA DE ROCAS.**

**(Fallas Comunes para el Sostenimiento con Shotcrete)**

##### **1.4.1 Rocas Sueltas**

En el MR existen fallas naturales y fallas ocasionadas por la presión  
del mismo, vibración de las detonaciones y/o producto de la  
perforación, quedando así una fracción de roca de tamaño

diferencial fracturada anclada por sus formas a algún lado del MR del cual era parte. Quedando esta a la espera de alguna fuerza externa para su desprendimiento y caída.



Fotografía 1. Se puede apreciar la roca suelta sostenida por la irregularidad de MR

#### **1.4.2 Pizarra Expuesta**

En el MR existen una variedad de rocas La Pizarra es una roca metamórfica, densa con grano fino, procedente de la arcilla la particularidad de esta roca es que es muy inestable, completamente fraccionada por esta razón pertenece al tipo de las diaclasadas es una de las rocas que requiere mayor prioridad para su sostenimiento.

(Ver fotografía 2).



Fotografía 2. Se puede apreciar una sección de Pizarra y su desprendimiento.

### **1.4.3 Lajeado en Hastiales**

Se denomina lajeado de Astiales a las fisuras y rajaduras verticales en forma de lajas que sufren las secciones del MR que cumplen labores de columnas naturales y están sometidas a esfuerzos constantes y ascendentes; estos “Astiales” al llegar a su límite de compresión fallan y dejan un peligro latente en las zonas colindantes.

(Ver fotografía 3).



Fotografía 3. Se puede observar la roca desprendida del MR, con la fisura paralela a la sección del astial.

### **1.5 ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO.**

Los elementos de sostenimiento más utilizados pueden ser permanentes o temporales, entre los cuales nombramos a los que se usan actualmente en la **Mina Cobriza**

### **1.5.1 Diques de Contención (Muros)**

Los Diques de sostenimiento son estructuras de concreto armado los cuales tienen un área promedio de 2.5m x 5.0m y 7m de altura.



Fotografía 4. Se observa un muro de concreto armado, el cual sostiene el MR

### **1.5.2 Las Cimbras**

Son elementos conformados por Vigas en Arco de 2 ò 3 piezas la sección de la viga es "W", las más usuales son W4x13 (arcos ligeros) y W 6x20(arcos semipesados) los espaciamientos entre arco y arco usual es de 1.0 a 1.50 m. Para una sección de túnel de 5m. x 4m.

Los arcos son conectados con "tirantes "(varillas de acero corrugado de 1" de diámetro). El encofrado se realiza con madera. Los pies del arco van cimentados sobre un dado de concreto.

La carga vertical para la que están diseñadas estas estructuras son aproximadamente de 6 a 12 TM / m<sup>2</sup>.



Fotografía 5. Se observa el armado de la cimbra de 5.5 metros de altura con una sección de 8 mts.

### **1.5.3 Los Pernos de Anclaje**

La acción principal de todos de pernos para roca es el de resistir el movimiento o el disloque del terreno. En general en la roca dura este disloque es el resultado por las fallas y fracturas.

Estas fracturas y estratos se abren con el tiempo debido a la presión vertical u horizontal, por el efecto de la gravedad en los bloques y con el efecto de las variaciones en la temperatura y humedad en la roca masiva.

Los Pernos para el sostenimiento pueden ser de tres tipos:

**A - Perno con anclaje expansivo.-** Este tipo de soporte produce una tensión de aproximadamente 3.5 Tn y tiene una resistencia en tracción (ROTURA) máxima de 12,5 Tn

**B - Estabilizador de Fricción.-** Utilizado generalmente en roca severamente agrietada o fracturada sujeta a condiciones de baja tensión.

**C - Perno Cementado.-** Pernos fabricados de acero corrugado instalados en una lechada de resina o cemento, resiste el movimiento del terreno debido a los puntos de contacto del enclavamiento mecánico del perno. Se recomienda para todos tipos de estructuras para el sostenimiento de alta resistencia y a largo plazo.

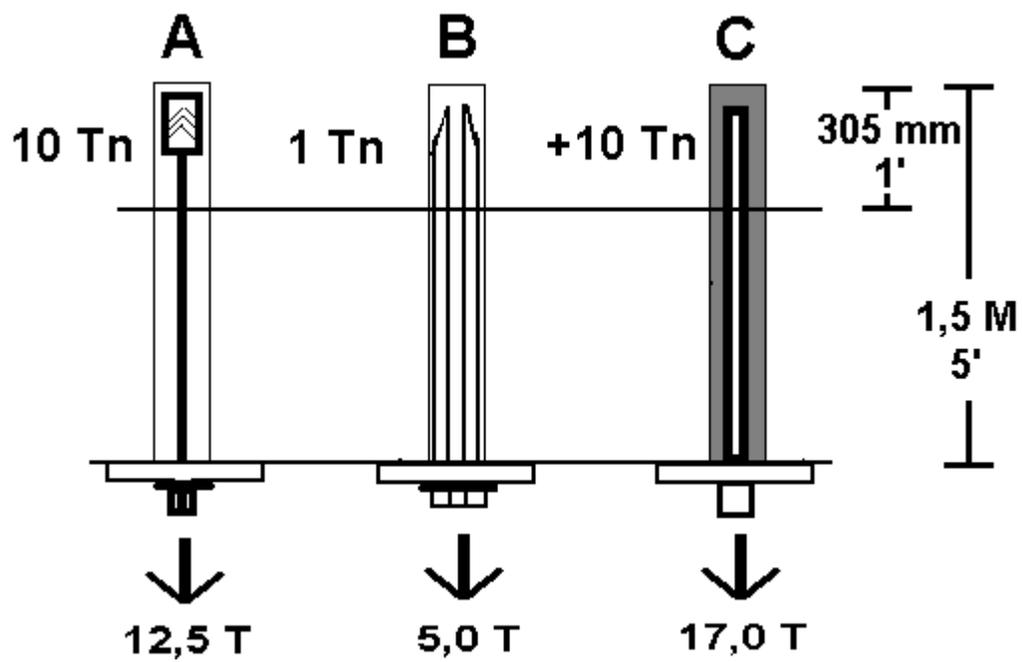


Fig. 03. Se muestran los 3 tipos de pernos.

## CAPÍTULO II

### 2.0 OBJETIVOS.

## **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Determinar el uso del shotcrete con fibras como un método seguro para el sostenimiento a corto plazo.

## **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.**

Determinar la resistencia del shotcrete a compresión tomando como punto de comparación el uso de dos fibras de diferentes texturas y material tal como son las de acero y polipropileno.

## **2.3 DISEÑOS DE SOSTENIMIENTO.**

### **2.3.1 Sostenimiento de rocas mediante el método del Rmi**

Los principios del presente método establecen el número de bloques en la periferia de una apertura subterránea y determinará si en los alrededores del terreno se comportarán como un terreno continuo o un terreno diaclasado.

**El terreno continuo** ocurren cuando  $Cf.* < 5$  (roca masiva) en las cuales dominan las propiedades de la roca intacta y cuando  $Cf. > 100$  aproximadamente (roca altamente diaclasada), donde el terreno se comporta como una masa material. En estos tipos de terreno la principal influencia en el comportamiento dentro de una excavación subterránea viene dada por las tensiones. Por tanto se usa unos factores de competencia las cuales se expresan como:

**En terrenos rocosos masivos**

$$C_g = R_{mi} / \sigma_\theta = f_\sigma \times \sigma_c / \sigma_\theta \cong 0.5 \sigma_c / \sigma_\theta$$

### **En terrenos altamente diaclasados**

$$C_g = R_{mi} / \sigma_\theta = J P \sigma_c / \sigma_\theta$$

$$C_f = D_t / D_v$$

Donde:

$C_f$  = factor de continuidad

$D_t$  = Diámetro del túnel.

$D_v$  = Diámetro equivalente del Bloque.

**El terreno Diaclasado** está dada por el tamaño y la forma del bloque, por la resistencia a la cizalladura de las discontinuidades que delimitan el bloque y por la orientación de las juntas en relación a la orientación que lleve el eje de la excavación, los siguientes dos parámetros de sostenimiento ( $G_c$  y  $S_r$ ), los cuales incluyen todos los

rasgos del diaclasamiento que se utilizan para entrar al ábaco de sostenimiento; los parámetros son:

### **La calidad del terreno**

$$G_c = R_{mi} \times (SL \times C) = \sigma_c \times J_P \times (SL \times C)$$

### **El factor de escala**

$$S_r = C_f \times (C_o / N_j) = (D_t / D_b) \times (C_o / N_j)$$

Donde:

$G_c$  = factor de estado de terreno

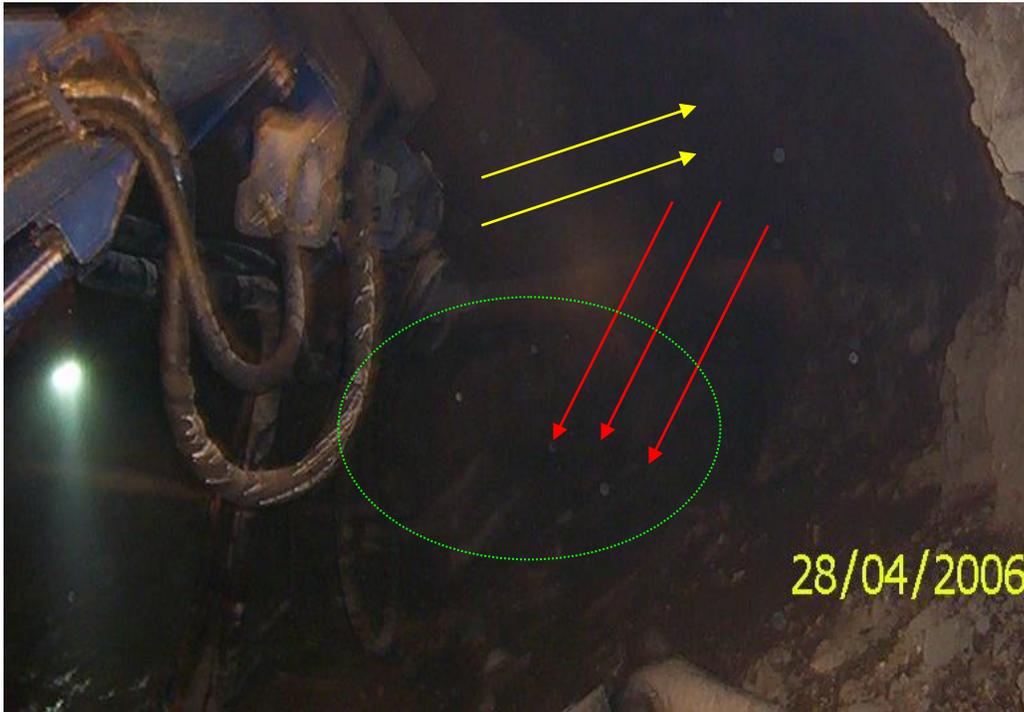
$S_r$  = factor de escala

**Ver anexos 1 y 2**

## **2.4 CONCRETO LANZADO (SHOTCRETE).**

El concreto lanzado o shotcrete es un mortero o concreto transportado por algún medio ya sea vía húmeda o vía seca a través de una manguera y lanzado neumáticamente con una presión aproximada 8 bares contra una superficie, la forma particular de aplicación del concreto permite que este se adhiera a la superficie compactándose al mismo tiempo por la fuerza del impacto; otro de las particularidades del concreto lanzado es que el tamaño máximo del agregado es de 3/8 de pulgada.

Al momento del impacto una parte de este material rebota a esto se le denomina “rebote” que no debe exceder de un 15%; este es un parámetro que corresponde a un promedio de aplicación sobre cualquier tipo de superficie horizontal o inclinada. (Ver fotografía 6).



**Fotografía 6. Se puede apreciar el brazo robótico lanzando el concreto contra la superficie a sostener, y el rebote sobre la superficie de prueba.**

## **2.5 TECNOLOGÍA DE SHOTCRETE.**

### 2.5.1 Shotcrete Vía Seca.

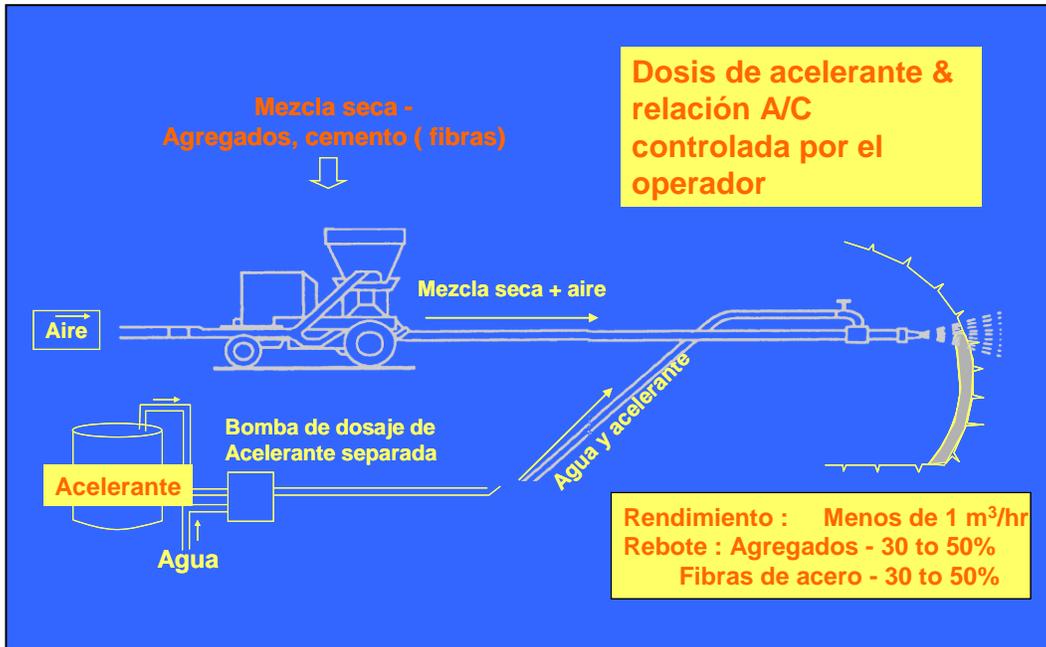
El concreto lanzado o shotcrete por el denominado vía seca data de fines de los años 50 en nuestro país, teniendo sus antecedentes en los túneles de los primeros proyectos hidroeléctricos que se ejecutaron expandiéndose luego en las actividades mineras como elemento de sostenimiento en los socavones.

La tecnología de este tipo ha tenido un desarrollo lento a nivel mundial porque el diseño de la mezcla es netamente artesanal, es muy variable en su calidad al depender de la voluntad del operador la aplicación del agua y en consecuencia no mantiene constante su relación **agua/cemento**; el rebote irregular muestra una estructura de gradación discontinua y finalmente la compatibilidad entre los

diversos tipos de cemento y los acelerantes ultrarrápidos ha sido un problema de difícil solución. La manera como se hace shotcrete vía seca en nuestro país y a nivel mundial en la actualidad no ha variado mucho en los últimos 20 ó 30 años; sin embargo si han cambiado las exigencias de los procesos en las minas en cuanto a rapidez, nivel de resistencia estructural, mayores rendimientos para mantener la rentabilidad de la operación, protección ecológica del medio ambiente y seguridad para la persona.

## Shotcrete vía seca

(Desde 1907)



**Fig. 04. Esquema de liba de shotcrete. (Equipo de lanzado de shotcrete vía seca)**

**2.5.2 Shotcrete Vía Húmeda.**

Se define al Shotcrete (concreto lanzado) como un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. A diferencia del concreto convencional, que se coloca y luego se compacta (vibrado) en una segunda operación, el concreto lanzado se coloca y se compacta al mismo tiempo, debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla.

La aplicación del shotcrete vía húmeda presenta ventajas tales como:

- El agua de mezclado es controlado en la etapa inicial (de mezclado)
- Permite reducir el agua de mezclado mediante el adecuado empleo de aditivos plastificantes y super plastificantes.

- La aplicación de aditivos de inhibición de hidratación permite regular el fraguado inicial extendiéndolo por la cantidad de horas que sea necesaria, manteniendo la mezcla fresca y con la trabajabilidad requerida.
- Permite la adición de otros componentes que ayudarán a su resistencia a la tracción como las fibras.
- Se logran mezclas más homogéneas.
- Disminuye la pérdida de cemento y la generación de polvo.
- Normalmente produce un rebote controlado, llegando a alcanzar un 5% sin afectar la resistencia final.

## Shotcrete vía húmeda

(Desde 1970)

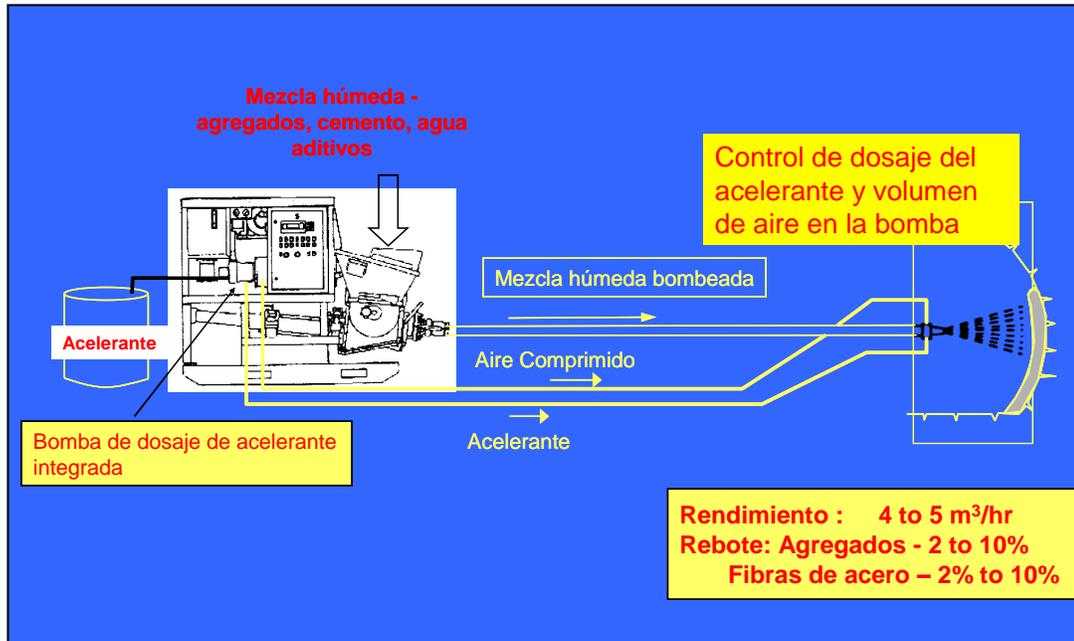


Fig. 05. Esquema de equipo lanzador de shotcrete vía Húmeda.

## CAPÍTULO III

### 3.0 MATERIALES PARA LA MEZCLA

Los materiales para la mezcla del Shotcrete difieren mucho a los de un concreto tradicional, así podemos separarlos entre los aglomerantes y los agregados.

Los agregados son materiales unidos por el material cementicio, sus propiedades físicas, químicas y térmicas influyen en el comportamiento del concreto.

### **3.1 AGREGADOS**

Los agregados están constituidos por partículas duras de tamaño estable y deben estar limpios, libres de terrones, partículas blandas o limadas, arcillas impurezas orgánicas sales y otras sustancias que por su naturaleza o cantidad afecten la resistencia o durabilidad del concreto.

Se recomienda que la combinación de agregados cumpla con las diferentes granulometrías recomendadas por el ACI 506 R-90 para la elaboración del concreto lanzado; así se muestra en la tabla adjunta.

**La mezcla 1 debe usarse para** concretos lanzados con agregado fino, aunque habrá que considerar que el uso de agregados finos

genera mayor contracción por secado mientras que los agregados más gruesos tienden a producir una mayor cantidad de rebote.

Al emplear **la mezcla 3** se recomienda dosificar por separados los agregados finos y gruesos para evitar la segregación. Las partículas con sobre tamaño deberán eliminarse mediante cribado para evitar el atascamiento en el equipo de impulsión.

De acuerdo a la gradación mostrada en párrafos anteriores **La mezcla 2** es la recomendada para el uso en la presente tesis.

Los agregados redondeados son más apropiados que los triturados, estos últimos aumentan la cantidad de rebote, generan mayor desgaste de equipo y tienden a atascarlo.

Deben tomarse las precauciones para transportar y almacenar estos materiales en obra, sin alterar su calidad original.

El hecho de que los agregados cumplan con las normas no garantiza un concreto de buena calidad, porque intervienen otros factores como **el agua, el cemento, los aditivos, la dosificación y el equipo para la colocación.**

### **3.2 AGUA**

El agua de la mezcla está formada por el agua añadida a la mezcla y por la humedad que contengan los agregados.

El agua con relación a su uso en el concreto tiene dos funciones, como ingrediente para la elaboración de las mezclas donde inicia la reacción química de cemento, produciendo el fraguado y endurecimiento del concreto, y como medio de curado del concreto cuando se utiliza este método. Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos.

Se puede utilizar casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un color o sabor pronunciado, con un pH de 7 que no tenga sustancias disueltas o que las contengan en concentraciones mínimas.

El agua de mezclado de calidad dudosa puede producir en el concreto efecto indeseable a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con las resistencias iniciales y los tiempos de fraguado, los de mediano plazo con las resistencias posteriores a los 28 días o más y los de largo plazo puede consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali – agregado.

### **3.3 FILLER CALIZO**

El humo de sílice es un subproducto industrial proveniente de la reducción de cuarzo con carbón de hornos de arco eléctrico en la

producción de la industria del silicio o ferro silicio recuperado de los gases del horno.

Su desempeño en el concreto es muy superior a otras puzolanas.

Las puzolanas son materiales de silicio o silicio aluminio los cuales por sí solos poseen poco o ningún valor cementante pero al estar finamente divididos y en presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio formando compuestos con propiedades cementantes.

La adición de micro sílice al concreto o mortero en estado fresco genera una fuerte cohesión, un color más oscuro, menor segregación y una reducida exudación. En estado endurecido la porosidad de la pasta se obtiene altas resistencias mecánicas,

menor permeabilidad y mayor durabilidad, mayor resistencia a la corrección y al ataque químico.

Con la aplicación del humo de sílice se logran mayores espesores de pasta sin tener los inconvenientes del uso de altas dosificaciones de acelerantes; hay una gran reducción de rebote y puede utilizarse con o sin acelerantes.

### **3.4 CEMENTO**

Para elaborar los concretos y morteros lanzados se pueden emplear todos los tipos de Cementos Pórtland existentes en el país que

cumplan con la norma ASTM C 150 o C 59, eligiendo el tipo según la necesidad particular de la obra.

En nuestro medio existen los siguientes:

- Cementos Pórtland Tipo I para uso general.
- Cementos Pórtland Tipo II para uso de exposición a la acción de sulfatos o cuando se necesita un moderado calor de hidratación.
- Cementos Pórtland Tipo III para uso cuando se requiere alta resistencia inicial.
- Cementos Pórtland Tipo IV para uso cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- Cementos Pórtland Tipo V para uso cuando se requiere alta resistencia a los sulfatos.

Se recomienda el uso de un mismo tipo de cemento y de una misma marca y de ser posible de la misma planta debido a las diferencias de las materias primas en su fabricación.

En el caso de los concretos lanzados que serán expuestos a la acción de suelos o aguas con una alta concentración de sulfatos deberá emplearse cementos resistentes a sulfatos como lo son los

**Tipo II o Tipo V.**

Para el uso de aplicaciones refractarias se debe emplear cemento aluminoso con endurecimiento rápido, que proporcione resistencia al calor y una determinada resistencia a determinados ácidos. Sin embargo su empleo requiere una serie de precauciones, debido a su elevado calor de hidratación inicial. Estas precauciones incluyen una limitación del volumen de la carga y la limpieza frecuente de la

máquina, equipo y mangueras; también necesitará el empleo de arena muy seca.

### **3.5 ADITIVOS PARA LA MEZCLA**

#### **3.5.1 Aditivos para el Control de Hidratación.**

También llamados retardantes de fragua tienen como función principal retardar la reacción química que se produce en el cemento

evitando el desarrollo del **Calor de hidratación**, demora el endurecimiento, produce un aumento del tiempo de trabajabilidad de la mezcla y al mismo tiempo genera un cierto efecto plastificante.

Los aditivos retardantes deben cumplir con la norma ASTM C 494-92

Estos aditivos actúan directamente sobre las partículas de cemento cubriéndolos con una capa delgada relativamente impermeable postergando su hidratación, particularmente del aluminato Tricalcico (C3A).

La composición química de estos aditivos son la glucosa; ácido salicílico; calinosulfatos; roheptonatos de sodio entre otros.

Los aditivos retardantes se usan en climas cálidos para compensar su efecto sobre el fraguado del concreto, para el caso del concreto lanzado (shotcrete) se utiliza para mantener la mezcla trabajable mientras esta es trasladada largas distancias y/o esperas prolongadas, además para el colocado en zonas de difícil acceso como galerías, túneles y otros.

### **3.5.2 Aditivos Reductores de Agua.**

Los aditivos reductores de agua tienen como función primordial incrementar la trabajabilidad de la mezcla sin afectar la relación agua cemento (a/c) por consiguiente no afectar la resistencia de la

mezcla, esto se da por que los reductores de agua son sustancias que provocan una gran dispersión de las partículas de cemento.

Los aditivos reductores de agua de alto rango deben cumplir con la norma ASTM C 494-92

Los reductores de agua se utilizan en concretos y morteros lanzados por vía húmeda exclusivamente para optimizar el mezclado y el transporte, se obtiene mayor homogeneidad y favorece la hidratación completa del cemento; se facilita la impulsión a través de tuberías y mangueras.

Existen dos tipos de aditivos reductores de agua, los normales y los de alto rango o también llamados **superfluidificantes** o **superplastificantes**. Mientras que los reductores normales reducen

el contenido de agua de un 5% a un 12% los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua como mínimo en un 12%. Producto de este decremento en la cantidad de agua la relación agua-cemento (a/c) puede exceder 0,5 lo que ocasionará un incremento de la resistencia del concreto.

Los materiales que generalmente se utilizan como aditivos plastificantes o reductores de agua son:

- Ácidos lignosulfónicos y sus sales; que reducen el agua de mezcla de un 5% a un 10%, además retarda los tiempos de fraguado de 1hrs. a 3 hrs. cuando se trabajan a temperaturas que oscilan entre 18° C y 38° C.
- Ácidos carboxílicos y sus sales; reducen el agua de mezcla de un 5% a un 8%, además retarda los tiempos de fraguado de

1hrs. a 3 hrs. cuando se trabajan a temperaturas que oscilan entre 18° C y 38° C.

- Carbohidratos polisacáridos y ácidos de azular; estos retardan el fraguado de la mezcla en formas diversas y generalmente no son inclusotes de aire.

### **3.5.3 Aditivos Acelerantes de Fragua.**

Los aditivos acelerantes de fragua acortan el tiempo de fraguado y aumentan la rapidez del endurecimiento del concreto, son productos solubles en agua y actúan químicamente sobre la mezcla, obteniendo resistencias elevadas a corto plazo; lamentablemente la mayoría de los acelerantes de fragua tienen efectos adversos sobre

las propiedades del concreto como el incremento de la contracción por secado , incremento de porosidad, incremento de la permeabilidad, reduce la resistencia al ataque químico y reduce la durabilidad.

Al emplear un acelerante deben tomarse precauciones para incorporarlo inmediatamente antes de la aplicación de la mezcla cargándolo directamente en la boquilla del lanzador , de lo contrario puede producirse un fraguado prematuro en la mezcla y consecuentemente daño al equipo; este riesgo aumenta en ambientes cálidos, donde el fraguado acelerado desarrolla un rápido calor de hidratación.

El empleo de cloruros de calcio que cumpla con los requerimientos de la ASTM D 98, puede emplearse como acelerante, bajo ciertas

condiciones, aunque no debe dosificarse en cantidades mayores al 2% con relación al peso del cemento y los iones de cloruro incluyendo los contenidos en los agregados y el agua, no deben exceder los límites actualmente recomendados de ION Cloruro (Cl) totales dentro del concreto antes de ser puesto en servicio de acuerdo con el ACI 318 (expresado como un porcentaje del peso del cemento).

#### **3.5.4 Otros Aditivos**

Como ya se comentó en anteriores ítems el Shotcrete no es otro que la aplicación de un mortero, su dosificación puede ser diversificada con un sinnúmero de aditivos y componentes que determinarán su resistencia y durabilidad, tales componentes dependerán de la zona, de la aplicación y de los medios de colocación, así como del medio

ambiente y demás componentes externos y propiedades que lo describan; por tal habrán otros aditivos que no se detallarán en el presente documento como son los incorporadores de aire.

### **3.5.5 Fibras para el Shotcrete.**

El Shotcrete reforzado con fibras ya sean estas sintéticas o de acero crean un refuerzo homogéneo; se pueden aplicar muy rápido, asegurando un refuerzo inmediato a la roca excavada. El refuerzo homogéneo con fibras permite resistir esfuerzos de flexo tracción en cualquier punto de la capa de shotcrete.

Unos espesores uniformes permiten una reducción importante de los consumos de Shotcrete, una capa reforzada con fibras tiene una muy buena adherencia a la roca, la cual es necesaria que se soporte a sí misma.

## **CAPÍTULO IV**

### **4.0 DISEÑO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

#### **4.1 SELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO.**

Se ha seleccionado un shotcrete con una resistencia a la compresión de 30 MPa o 300 Kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual tomaremos una dosificación adecuada usando dos tipos de fibras como son la fibra NOVOCON 05 (metálica) y la fibra ENDURO (polipropileno).

#### **4.2 SELECCIÓN DEL AGREGADO.**

El agregado será arena bien graduada de la cantera ubicada en la zona de **Cobriza**; su granulometría será la misma puesto que se separó el material necesario para realizar los ensayos; este agregado se ajusta a la norma ASTM-33.

(Ver anexo 3)

#### **4.3 ANÁLISIS DEL AGUA.**

El agua será toma del río **HUARIBAMBA**; cuyas características físicas y químicas se detallan en pruebas de laboratorio.

(Ver anexo 4)

#### **4.4 SELECCIÓN DE LOS ADITIVOS.**

Los aditivos serán los que se usan actualmente en la Mina Cobriza

que son:

**4.4.1 Rehouild 1000.-** Es un aditivo líquido reductor de agua de alto Rango, cumple con las especificaciones de las normas ASTM C-494 para aditivos tipo A y F; ayuda a la producción de concreto con las siguientes características especiales en concreto en estado plástico:

- Rango de plasticidad de 200 a 280 mm
- Plasticidad mantenida durante un tiempo mayor
- Tiempo de fraguado controlado
- Cohesivo y sin segregación
- Mínimo sangrado

Y proporciona las siguientes características en estado endurecido:

- Se producen mejores resistencias iniciales que con otros aditivos super plastificantes convencionales
- Mayor resistencia a la compresión
- Mayor módulo de elasticidad
- Baja permeabilidad y alta durabilidad
- Menores retracciones
- Confiabilidad en la integridad estructural del elemento
- Terminado

**4.4.2 Delvo Estabilizador.-** Es un aditivo líquido que cumple con los requerimientos de ASTM C-494 para aditivos Tipo B, retardadores, y Tipo D, reductores de agua y retardadores; sirve para obtener un comportamiento más uniforme y predecible en concretos de alto desempeño, retarda el fraguado controlando la hidratación del cemento y facilita las operaciones de colocación; específicamente:

- Aumenta la resistencia a compresión y flexión
- Durabilidad relativa a los daños por ciclos de hielo/deshielo.
- Reduce el contenido de agua requerida para una trabajabilidad dada
- Características de retardo del tiempo de fraguado

**4.4.3 Meyco SA 160 E.-** Es adecuado para todas aquellas aplicaciones donde se requieran resistencias iniciales elevadas, resistencias finales elevadas, espesores extremadamente elevados en una sola aplicación y elevada consistencia del hormigón a proyectar; es idóneo para hormigón proyectado por vía húmeda en el sostenimiento de rocas debido a sus propiedades de rápido fraguado.

Es utilizado para:

Para soporte temporal de roca:

- En túneles
- En minería.

Además

- Permite un buen desarrollo de la resistencia inicial
- Limita el descenso de la resistencia final
- Produce poco polvo y por tanto un mejor ambiente de

trabajo

La naturaleza del producto exento de álcalis:

- Reduce las precauciones de manipulación requeridas y  
por tanto, mejora la economía

## **4.5 SELECCIÓN DE LA FIBRA**

Se preparará el shotcrete con fibras de polipropileno y acero como son Fibra ENDURO y Fibra NOVOCON 05 cuyas características se detallan a continuación.

### **4.5.1 Fibra NOVOCON 05.-** La fibra de acero NOVOCON 05

es de alta calidad especialmente para hormigones proyectados (Shotcrete) ya sean en vía seca o vía húmeda, vienen aisladas NO encoladas para un mejor mezclado y distribución, evitando posibles aglomeraciones. La fibra NOVOCON 05535 HE tiene una relación de esbeltez que le permite un mejor rendimiento con menor cantidad de fibra.

Se utiliza para reforzar el shotcrete reduciendo el tiempo y costo asociados al tradicional reforzamiento con barras o

mallas de acero. Además incrementa la ductilidad y absorción de energía como también la resistencia al impacto, al desprendimiento, sin afectar los tiempos de fraguado.

### **INFORMACIÓN TÉCNICA:**

Longitud de la fibra 35 mm

Diámetro de la fibra 0,55 mm

Relación de Esbeltez 65

Resistencia a tracción del alambre 12.000 kg/cm<sup>2</sup>

Deformación Extremo deformado

Apariencia Alambre brillante y limpio.

### **USO DEL PRODUCTO:**

**Mezclado;** La fibra NOVOCON 05535 HE se puede añadir en la mezcladora de la planta o en el camión mixer, después de mezclado todo el hormigón o mortero.

**Colocación;** La fibra NOVOCON 05535 HE puede ser bombeada y colocada en la superficie sin necesidad de un equipo especial.

**Normas que Cumple;** La fibra NOVOCON 05535 HE cumple con la normas ASTM A820; EFNARC; DIN 17410-D9; ASTM C1116; ASTM C1550; ASTM C 1018; ASTM C94; ACI 506

**4.5.2 Fibra ENDURO.-** La fibra de polipropileno ENDURO 600 está diseñada para hormigones proyectados (Shotcrete) ya sean en vía seca o vía húmeda.

Vienen en pequeños cilindros lo que las hace ser ordenadas al momento de agregarlas a la mezcla, ya sean en planta o directamente al mixer evitando que se produzcan erizos o mal distribución de la fibra en la mezcla.

Incrementa la ductilidad y absorción de energía como también la resistencia al impacto, al desprendimiento, sin afectar los tiempos de fraguado con sólo 7 kg/m<sup>3</sup>

### **INFORMACIÓN TÉCNICA:**

Material de la fibra Polipropileno

Longitud de la fibra 50 mm

Diámetro de la fibra 0,7 mm

Relación de Esbeltez 71

Resistencia a tracción del alambre 4.200 kg/cm<sup>2</sup>

Deformación Forma de ondas

Elongación 15%.

### **USO DEL PRODUCTO:**

**Mezclado;** La fibra ENDURO 600 se puede añadir en la mezcladora de la planta o en el camión mixer, después de mezclado todo el hormigón o mortero.

**Colocación;** La fibra ENDURO 600 puede ser bombeada y colocada en la superficie sin necesidad de un equipo especial.

**Normas que Cumple;** La fibra ENDURO 600 cumple con la normas ASTM 1116; FNARC; ASTM C1550; ASTM C 1018; ASTM C94; ACI 506.

## **4.6 DOSIFICACIÓN DEL SHOTCRETE.**

### **4.6.1 Dosificación del Shotcrete con Fibra ENDURO**

**(Ver cuadros adjuntos).**















#### **4.6.2 Dosificación del Shotcrete con Fibra NOVOCON**

**(Ver cuadros adjuntos).**















## **4.7 ENSAYOS DEL CONCRETO.**

### **4.7.1 Tabla Comparativa de Ensayos a Compresión de Concreto con Fibras Novocon vs Enduro**

**(Ver cuadros adjuntos).**

























**4.7.2 Tabla Comparativa de Ensayos a Flexión de  
Concreto con Fibras Novocon vs Enduro**

**(Ver cuadros adjuntos).**





## **CAPÍTULO V**

### **5.0 CONCLUSIONES**

**5.1** De los cuadros de ensayo de las muestras podemos concluir que para ambas fibras se usaron las mismas propiedades (la dosificación, el slump) y se ensayaron las muestras el mismo día, asegurándose que las condiciones climáticas eran las mismas; cumpliendo así con las condiciones de ensayo.

**5.2** De la muestra número 1 en los ensayos a compresión podemos concluir que el Shotcrete con fibra NOVOCON inicialmente tiene una resistencia menor, pero su adherencia mejora como se muestra en los ensayos a 7, 14 y 28 días,

concluyendo que mejora su resistencia y supera a la fibra de ENDURO en porcentajes de resistencia de hasta 7% .

**5.3** De la muestra número 2 y 3 en los ensayos a compresión podemos concluir que el Shotcrete con fibra NOVOCON inicialmente tiene una resistencia menor, pero su adherencia mejora como se muestra en los ensayos a 7 y 14 días, (como en el item anterior) concluyendo que mejora su resistencia pero no logra superar a la fibra ENDURO mostrando una pequeña desventaja a los 28 días.

**5.4** De la muestra número 4 en los ensayos a compresión podemos concluir que el Shotcrete con fibra NOVOCON tiene una resistencia menor a la fibra ENDURO de mas de 10% a los 7 y 14 días y de 3,2% a los 28 días.

**5.5** De la muestra número 5 en los ensayos a compresión podemos concluir que el Shotcrete con fibra NOVOCON tiene una resistencia menor a la fibra ENDURO de hasta 10% a los 28 días, presentando una ligera ventaja a los 7 días.

**5.6** De la muestra número 6 en los ensayos a compresión podemos concluir que el Shotcrete con fibra NOVOCON inicialmente tiene una resistencia menor, pero su adherencia mejora como se muestra en los ensayos a 7, 14 y 28 días,(como en el ítem número 1) concluyendo que mejora su resistencia y supera a la fibra de ENDURO en porcentajes de resistencia mayor al 10% .

**5.7** De los resultados de los ensayos a flexión podemos concluir tomando como referencia las 6 muestras del ensayo a tracción

que la fibra ENDURO obtiene en promedio una resistencia de 5% mayor a la fibra NOVOCON no obstante las dos superan el límite de resistencia requerido equivalente a 41 Kg/cm<sup>2</sup>.

**5.8** De los resultados de los ensayos podemos concluir que no existe un patrón que defina cuál es más resistente, esto debido a que la resistencia del concreto a compresión puede ser a raíz de la distribución de la fibra en el probeta.

**5.9** 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 como método de sostenimiento inmediato la resistencia a 1 día es mayor al 25%

## **BIBLIOGRAFÍA**

Autor : Lic. Adriana Reyes

Título : "Concreto Lanzado"

Lugar de Publicación : México.

Año de Publicación : 2005

Autor : ACI

Título : "Specification for Shotcrete",

Lugar de Publicación : EEUU

Año de Publicación : 1995

Autor : Ing. Alex Cano e Ing. Freddy Castañeda

Título : "Shotcrete Reforzado con fibras de Acero Caso  
Práctico" Central Hidroeléctrica de Yuncan.

Lugar de Publicación : México

Año de Publicación : 2001

Autor : Tom Melbye

Título : Shotcrete para soporte de rocas

Lugar de Publicación : Suiza

Año de Publicación : 2000

Autor : Dr. Carlos Zavala

Título : Ensayo de Tenacidad a la Flexión en Paneles  
Redondos de concreto con fibra

Lugar de Publicación : Perú

Año de Publicación : 2004

**PANEL FOTOGRÁFICO**

**MATERIALES PARA EL SHOTCRETE**



**Arena de granulometría N°2**

**Fibra para el shotcrete**





**Cemento Portland**

**Agua para el shotcrete**





**Aditivos para el shotcrete**

**Mando electrónico de la tolva  
pesadora**





**filler**

## PROCESO DE CARGUIO Y MEZCLADO



**Paso 1: Se mezcla la arena para uniformizar la humedad en la misma; luego se procede con la toma de muestra para el porcentaje de humedad.**

**Paso 2: Se carga la tolva pesadora con el primer carguio de arena, este paso se repetirá luego del paso 3.**





**Paso 3: Se carga la pala con el cemento, y se procede a cargar la tolva pesadora con el mismo.**

**Paso 4: Se continua con el pesado del filler.**





**Paso 5: Una vez pesado todo el material de acuerdo al diseño, se procede al carguio del mixer para su mezclado.**

**Paso 6: Cargado el mixer se le incorpora el agua según el diseño.**





**Paso 7: iniciado el mezclado  
se le añade la fibra.**

**Paso 8: Se procede con la  
colocación de los aditivos  
mientras se continua con el  
mezclado del concreto.**





**Paso 9: Se inspecciona la uniformidad de la mezcla.**

**Paso 10: Una vez confirmada la uniformidad de la mezcla se procede a la toma de muestra para los ensayos**



## ENSAYO DE SLUMP



**Paso 11: Se inicia con el ensayo de slump colocando el concreto en el cono.**

**Paso 12: Se continua con el chuceado del concreto en tres etapas.**





**Paso 13: Se enraza el cono.**

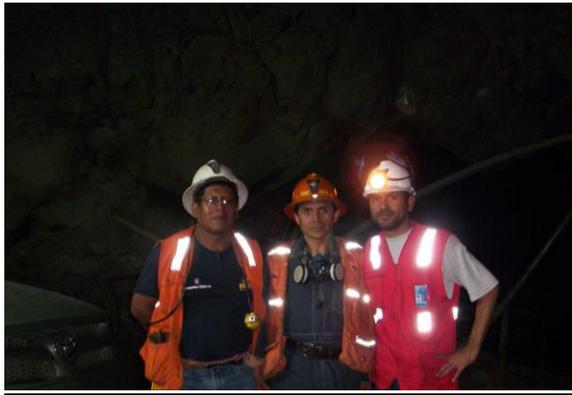
**Paso 14: Se procede a retirar el cono de manera perpendicular a la superficie del suelo.**





**Paso 15: Se comprueba que el slump del concreto cumple con el requerido.**

## PROCESO DE TOMA DE MUESTRA



**Paso 16: Con la supervisión de mina se procede a seleccionar el lugar a sostener.**

**Paso 17: Se realiza el trasegado del camión mixer a la bomba shotcrete revisando que no existan grumos en la mezcla.**





**Paso 18: Se coloca el molde cuadrado en un lugar que le permita al brazo hidráulico ubicarse en posición perpendicular a este.**

**Paso 19: Se procede con el lanzamiento del concreto siempre manteniendo la posición perpendicular.**





**Paso 20: Tomada la muestra  
se marca la ubicación para  
evitar pérdidas.**

**Paso 21: Pasadas las 24 Hrs.  
se procede a recoger la  
muestra de mina para su  
ensayo.**



## PRUEBA DE REBOTE



**Paso 1: Procedemos a llevar la manta y la caja calibrada con 1 pie cúbico.**

**Paso 2: Colocamos la manta para cubrir la superficie donde caerá el shotcrete de rebote.**





**Paso 3: procedemos a lanzar  
el concreto sobre la superficie  
a sostener una sección.**

**Vemos el concreto en el aire  
cayendo sobre la manta**





**Paso 4: procedemos a lanzar el concreto sobre la segunda sección.**

**Paso 5: Confirmamos que la ubicación de la manta cubra la superficie bajo la zona a sostener.**





**Paso 6: Una vez terminado de lanzar el shotcrete se recopila el material de rebote.**

**Paso 7: Medimos el material recopilado con la caja calibrada, la cual debe corresponder al 15% como máximo del concreto cargado.**





**Paso 8: Verificamos que la superficie este con el espesor adecuado y uniforme.**

**Paso 9: Luego del visto bueno se procede a retirar los equipos.**

