

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**“SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE EN UNA MINA  
SUBTERRANEA MECANIZADA”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**  
**PEDRO PABLO CLAVIJO GAMARRA**

**Lima - Perú**

**2011**

**A la compañera de toda mi  
vida, mi incondicional apoyo  
en tiempos difíciles, Vanessa**

## **AGRADECIMIENTO**

A los ingenieros del área de Geomecánica de la unidad Chungar, y en especial al ingeniero Jimmy Bardales – supervisor en jefe de la planta de shotcrete – por sus consejos. A los ingenieros del área de operaciones, por la constante ayuda brindada; así como a los profesores de la UNI, por compartir experiencias recientes y recordarnos temas esenciales durante este curso de actualización de conocimientos. Pero en especial, a mi familia, por su apoyo incondicional.

## RESUMEN

De todos los elementos que componen el sostenimiento en el ciclo de minado de la mina subterránea Chungar; uno de los más importantes y costosos es el concreto lanzado o también llamado shotcrete.

Como primer elemento de sostenimiento, el shotcrete determina – en gran medida – el tiempo del ciclo de minado. El principal objetivo es reducir el tiempo de fraguado, conservando las propiedades iniciales de resistencia antes de proceder a colocar el segundo y permanente elemento de sostenimiento; que en nuestro caso particular será la colocación de pernos hidrobolt.

Las pruebas con diferentes aditivos y las variaciones en las proporciones de los elementos que componen la mezcla final de shotcrete, han dado como resultado un tiempo promedio de 4 horas de espera de fragua. En la actualidad se sigue trabajando en reducir este tiempo.



<b>5.5 Relación entre las Clasificaciones Geomecánicas y el tipo de Sosténimiento</b>	<b>22</b>
<b>CAPITULO VI: CONCRETO LANZADO</b>	<b>22</b>
<b>6.1 Antecedentes</b>	<b>24</b>
<b>6.2 Proceso de aplicación sistema de Shotcrete Vía Seca</b>	<b>27</b>
<b>6.3 Proceso de aplicación Sistema de Shotcrete vía húmeda</b>	<b>29</b>
<b>6.4 Algunas propiedades del shotcrete</b>	<b>32</b>
6.4.1 Adherencia	32
6.4.2 Porosidad	32
6.4.3 Densidad aparente	33
6.4.4 Resistencia a la compresión	33
6.4.5 Resistencia a la tracción	34
6.4.6 Permeabilidad	34
<b>6.5 Requerimientos de la capa de shotcrete</b>	<b>35</b>
6.5.1 Requerimientos mecánicos	35
6.5.2 Requerimientos físicos	35
6.5.3 Requerimientos hidráulicos	35
6.5.4 Requerimientos químicos	36
<b>6.6 Procesos del shotcrete</b>	<b>36</b>
6.6.1 El fraguado	36
6.6.2 El endurecimiento	37
6.6.3 Calor de hidratación	37
<b>6.7 Materiales para el shotcrete</b>	<b>38</b>
6.7.1 El cemento Portland	38
6.7.2 El agua	39
6.7.3 Áridos y agregados	41
6.7.4 Aditivos	41
6.7.5 Adiciones	43
6.7.6 Fibras	43

<b>6.8 Procedimiento de mezclado</b>	<b>45</b>
6.8.1 Procedimiento de Mezclado por Vía Seca	45
6.8.2 Procedimiento de Mezclado por Vía Húmeda	46
6.8.3 Procedimiento de Aplicación	48
<b>6.9 Comentarios sobre la aplicación del shotcrete</b>	<b>49</b>
<b>6.10 Diseño de shotcrete en CHUNGAR</b>	<b>50</b>
<b>6.11 Ensayos y resultados</b>	<b>51</b>
6.11.1 Pruebas con acelerantes	52
a) Ensayos realizados	52
b) Resultados	53
6.11.2 Pruebas de fragua	57
a) Características de los aditivos empleados	57
b) Ensayos y resultados	61
c) Promedio de resultados obtenidos en las pruebas	63
d) Pruebas para determinación del volumen de mezcla	67
e) Comparativos económicos	68
<b>6.12 Términos conceptuales</b>	<b>69</b>
<b>CAPITULO VII: ANALISIS</b>	<b>71</b>
<b>7.1 Conclusiones a las pruebas de acelerantes</b>	<b>71</b>
<b>7.2 Conclusiones a las pruebas de fragua</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>79</b>

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

**Cuadro de Barton dimensión equivalente**

**Clasificación de Barton – NGI**

**Clasificación Bieniawsky – CSIR**

**Tabla de Ábacos de GSI**

**Tablas geomecánicas y tipos de sostenimiento**

**Tablas geomecánicas complementarias**

### **ANEXO 2**

**Resultados de muestras de superficie**

**Resultados de muestras de mina**

**Comparativos económicos**

### **ANEXO 3**

**Ensayos para determinar la calidad del Concreto y Shotcrete**

**Resumen grafico de ensayo de fibras**

## **RELACIÓN DE FOTOS**

**Foto N° 1 – Ubicación y Accesibilidad**

**Foto N° 2 - Vetas de mineral masivo y con venillas de calcita**

**Foto N° 3 – Prueba de resistencia a la compresión de I concrete en testigos cilíndricos.**

**Foto N° 4 – Mineral intensamente alterado, correspondiente al cuerpo Karina.**

**Foto N° 5: Labor amplia de 18m de ancho, 6m de altura y buzamiento 45°, controlados con shotcrete e hydrabolt de 7'.**

**Foto N° 6 – Proceso de lanzado de shotcrete vía húmeda.**

**Foto N° 7 – Planta de concreto en superficie.**

**Foto N° 8 - Fibra Metálica para Shotcrete Vía Húmeda (Encolada 65/35)**

**Foto N° 9 - Fibra Metálica para Shotcrete Vía Seca (Suelta 45/35)**

## INTRODUCCION

Los cálculos iniciales para una mezcla eficiente del shotcrete lanzado, dieron como resultado un tiempo de fraguado estándar de cuatro horas. Este es el tiempo que se debe esperar antes de proceder con la siguiente etapa.

El presente trabajo busca la manera de disminuir este tiempo de fraguado, mediante nuevas mezclas de los elementos que la componen. Variando el tipo y la cantidad de acelerante y/o plastificante, así como el porcentaje de agua en la mezcla.

La disminución del tiempo de fragua, daría como consecuencia inmediata, la aceleración del ciclo de minado; resultando en una mayor fluidez de los equipos de sostenimiento con pernos, así como los de perforación de frentes.

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1. UBICACIÓN:**

La mina Chungar es un yacimiento polimetálico de zinc, plomo, plata y cobre, propiedad de Empresa Administradora Chungar S.A.C., está ubicada al Oeste de los Andes Centrales del Perú en el departamento de Pasco, Provincia de Cerro de Pasco, distrito de Huayllay a una altitud de 4,600 msnm, distanciado a 46 Km. al sureste desde la ciudad de Cerro de Pasco; se encuentra enmarcada en las coordenadas U.T.M.: N-8'780,728 y E-344654 a una altura de 4,600 m.s.n.m. dentro de la hoja 23-K-Ondores.

### **1.2. ACCESIBILIDAD:**

El principal acceso es por la carretera central Lima-Oroya-Villa de Pasco: 285 km. en carretera asfaltada, y de este punto a Animón existe 43 Km. entre carretera asfaltada y afirmada, totalizando 328 Km hasta ña unidad minera.

También describe otras rutas como son:

- Lima-Canta-Animón 219 Km
- Lima-Huaral-Animón 225 Km.

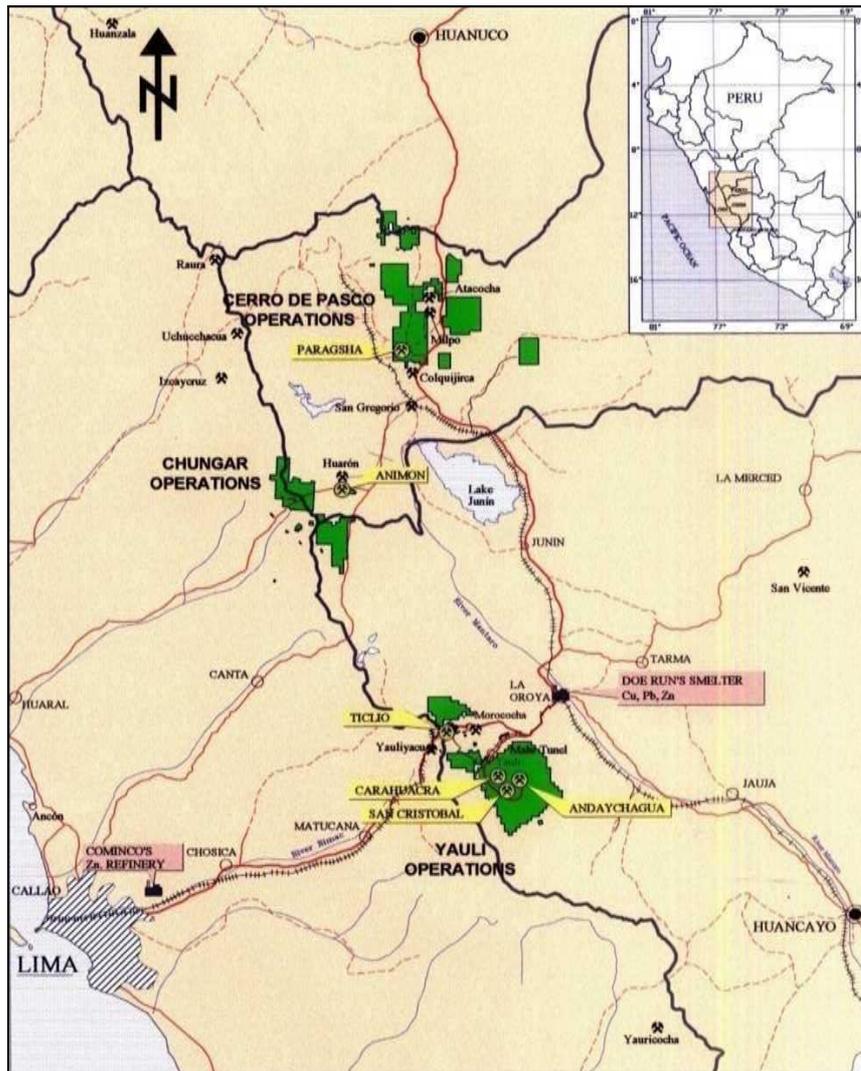


Foto N°1 - Ubicación y Accesibilidad

## **CAPITULO II: GEOLOGÍA**

Chungar está emplazado en Rocas sedimentarias, conocidas como “Capas Rojas de la Formación Casapalca” del Cretáceo Superior al Terciario Inferior. Están constituidas por intercalaciones de margas, areniscas, conglomerados, sedimentos calcáreos, las cuales fueron plegadas fragmentadas y falladas por la orogenia andina del Eoceno-Plioceno.

La acción de fuerzas tectónicas compresivas a lo largo de las zonas axiales, originaron zonas de debilidad, pliegues y fallas geológicas en el anticlinal, las que sirvieron de canales de circulación de fluidos mineralizantes.

### **2.1. ESTRUCTURAS EN VETAS EN CHUNGAR**

Las vetas son discontinuidades preliminares que han sido rellenas con minerales de Zn, Pb, Ag y Cu. Las vetas que se presentan en Chungar son más de 20; pero los más importantes que han sido

proyectados y desarrollados en Chungar son alrededor de 8 vetas principales.

La longitud de los desarrollos horizontales en cada una de las estructuras va desde unas pocas centenas de metros en las vetas de menor importancia como la Veta Nor Este, con 300 metros, hasta 1,800 en las Vetatas de mayor importancia como la Veta Principal.

En general estos depósitos son parcialmente conocidos desde superficie hasta profundidad de 500 metros en Chungar (Nivel 150). La potencia de las Vetatas varía desde 0.80m hasta 20m. La Veta Principal en el nivel 200 tiene una potencia hasta de 8.0m, la veta 085 tiene una potencia hasta de 15m, la veta Lorena potencia hasta 12m. Las Vetatas Este-Oeste tienen buzamientos entre 75° a 90°, las Vetatas al cruzar los diques monzoníticos tienden a ramificarse y al ingresar a los conglomerados reemplazan a clastos calcáreos.

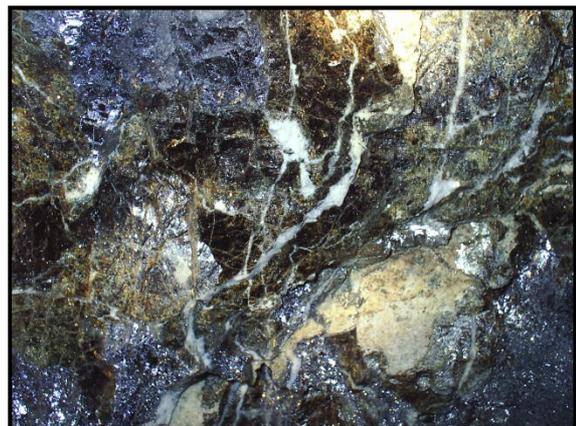


Foto N°2 - Vetatas de mineral masivo y con venillas de calcita

### **CAPITULO III: DESCRIPCION GEOMECANICA**

En un suelo de rocas sedimentarias muy fragmentadas y alteradas por acción meteórica e hidrotermal, con excavaciones subterráneas que superan una profundidad de 450m, se encuentra la mina de Chungar; el sostenimiento de rocas fue un procedimiento difícil, lento y no adecuado, hasta que se empezó a utilizar Shotcrete y pernos de compresión y fricción axial.

La mina Chungar está situada en la parte Central de Cordillera de los Andes del Perú, donde la temperatura es muy variable desde  $-10^{\circ}\text{C}$  en las noches hasta  $30^{\circ}\text{C}$  en el día; con una temperatura ambiente medio de  $8^{\circ}\text{C}$ . Las condiciones climáticas y de la roca haría pensar que las condiciones de explotación sería una tarea de difícil proceder, pero el empleo de Shotcrete y pernos de compresión y fricción axial la hace en realidad más fácil.

Junto con las condiciones climáticas que dificultan el trabajo, el macizo rocoso está compuesto por rocas sedimentarias muy incompetentes que aunado al agua subterránea que circulan por los poros y fisuras, estas son muy difíciles de controlar ante el desprendimiento o caída de rocas. Con labores de explotación (tajos) de hasta 20m de ancho, 5.5m de alto y 150m de largo, asegurar la estabilidad de las labores tiene alta prioridad.

### **3.1. CONDICIONES GEOMECÁNICAS ESTRUCTURALES DEL MACIZO ROCOSO**

- El yacimiento se ubica debajo de lagunas de origen glaciar, las rocas presentan plegamientos, fallas geológicas e intenso fracturamiento.
- El grado de alteración de las rocas y del mineral es de moderada a intensa.
- La presencia de aguas subterráneas se manifiesta por aguas meteóricas, fósiles e hidrotermales, en las rocas y en la estructura mineralizada.
- Las operaciones se desarrollan entre los 300m a 450m bajo la superficie, donde la manifestación de esfuerzos del macizo son evidentes.
- Las discontinuidades se manifiestan hasta en cinco familias siendo las principales paralelos a la estructura mineralizada.

- El espaciado entre fracturas es entre 0.05m a 0.30m.
- La resistencia es menor a 15MPa en las cajas y menor de 45 MPa en el mineral.
- Persistencia de discontinuidades es de centímetros a metros siguiendo el rumbo de las fallas geológicas.
- Separación de las superficies de discontinuidad es cerrada hasta 10cm.
- Las superficies de rugosidad, son planas a ondulantes, suaves en las fallas geológicas y planas lisas hasta medianamente rugosas en las rocas y minerales.
- El relleno de fisuras es por arcillas, calcita, carbonatos, pirita y limpia.
- Las aguas subterráneas se manifiestan por goteo en las cajas y flujos en la estructura mineralizada.
- Forma y tamaño de los bloques, generalmente son tabulares a cúbicos y con tamaños de hasta 1m<sup>3</sup>.

### **3.2. ASPECTOS GEOMECÁNICOS DE CHUNGAR**

“En Chungar la roca es muy incompetente”, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas de muy mala calidad, donde hacen que la principal preocupación sea el riesgo de caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud.

Para el control y su estabilización usamos una capa de 2” de concreto lanzado (Shotcrete) como elemento preventivo de sostenimiento y como sostenimiento definitivo a los pernos compresión y fricción axial de 7 pies para mantener confinado el macizo rocoso.

Se tiene mucho cuidado de examinar y definir las aberturas máximas, los tiempos de auto-soporte, y determinar el distanciamiento entre perno y perno.

### **3.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE CHUNGAR**

Para la evaluación del yacimiento consideramos los siguientes principios y metodologías:

- Evaluación considerando las propiedades Físico Mecánicas de las Rocas.
- Evaluación considerando las propiedades Geológico Ingenieriles.
- Calificación de los macizos rocosos mediante la aplicación de los sistemas de Clasificación Geomecánica.
- Determinación del diseño y tipo de Sostenimiento.

### 3.3.1. Evaluación considerando las Propiedades Físico-Mecánicas de las Rocas

Sobre la base teórica definida por Hooke, y el criterio de ruptura de Mohr- Coulomb, la geomecánica establece parámetros intrínsecos para calificar las propiedades de resistencia y deformación de las rocas:

- Módulo de Young
- Módulo de Poisson
- Cohesión
- Índice de Fricción
- Resistencia a la Compresión
- Resistencia a la Tracción

Mediante los resultados – en laboratorio – de estos dos últimos ensayos, se determinan las propiedades del concreto lanzado en mina.



Foto N°3 – Prueba de resistencia a la compresión del concreto en testigos cilíndricos.

## **CAPITULO IV: EVALUACION GEOMECANICA DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS**

La Veta PRINCIPAL, se explota en una longitud de 1.5Km con anchos de minado variables que varían de 0.80m hasta más de 10m; con sistema de explotación CORTE Y RELLENO ASCENDENTE, minado selectivo y voladura en Breasting. La veta tiene un Rumbo Este Oeste, buzamiento promedio de 85° hacia el Norte.

Actualmente en los niveles inferiores (Nivel 175) se tiene presencia de aguas fósiles e hidrotermales con flujos ascendentes por la veta, lo cual ocasionando la hidratación de las rocas cajas presentándose más inestables que en niveles superiores.

La Veta MARIA ROSA es una de las vetas en explotación, inicialmente desde el Nivel 390 hasta la actualidad en que se encuentra en el Nivel 175, con anchos de veta que varían desde 1.20m hasta cuerpos diseminados, asociados con split y/o ramales, de hasta 20m de ancho.

Veta María Rosa, se explota en una longitud de 600m aproximadamente con anchos de minado variables que varían de 1.2m hasta los 20m, con un sistema de explotación de CORTE Y RELLENO ASCENDENTE, minado selectivo y voladura en Breasting.

La veta es del tipo "Rosario" con mineralización masiva y/o bandeada, pertenece al sistema E-W con buzamiento al N.

En el Nivel 250 se está realizando la explotación de un Ramal de esta veta denominada María Rosa Piso, el tajo tiene una longitud de 120m con rumbo S70°E y buzamiento 45°-55° SW; con ancho que varían de 1.5m a 20m, esta veta está siendo explotada recién en este nivel y presenta continuidad hacia el nivel superior, no se presentan mayores problemas de estabilidad, inclusive donde las secciones de excavación son mayores a 12m.

La Veta LORENA, se explota en una longitud de 500m aproximadamente, con anchos de minado variables que varían de 1.2m hasta los 5.0m, con un sistema de explotación de CORTE Y RELLENO ASCENDENTE, minado selectivo y voladura en Breasting.

La veta es del tipo "Rosario" con mineralización masiva y/o bandeada, pertenece al sistema NE-SW con buzamiento al SE.

Actualmente esta veta se está trabajando en los niveles Nivel 175.

La Veta CARMEN forma parte de un lazo cimoide que en longitud llega a 250m y en profundidad llega a 500m y vuelve a unirse a la veta ramal 85, presenta un bandeamiento de sulfuros con carbonatos, no es una estructura constante sino que son zonas ramaleadas por tramos, con alto contenido de cobre debido a la presencia de cristales de calcopirita.

La veta además tiene una orientación promedio E-W con buzamiento promedio de  $74^{\circ}$  -  $70^{\circ}$  al S la caja techo con un ancho que varía de 1.80 - 7.00m.

Veta del CUERPO KARINA, con alto contenido de carbonatos. Son estructuras formadas como re-emplazamiento presentando cuerpos a partir de estructuras mineralizadas, contienen areniscas con matriz calcárea, donde se nota también algunos fragmentos que han sido reemplazados.

No tiene una geometría definida, presenta concentraciones altas de plata, por la presencia de la galena argentífera y sulfo-sales de plata, como se tiene varios ramales denominados como veta Karina, se tomara como patrón referencial al Cuerpo Karina.

Cuerpo Karina, como su nombre lo indica es un Cuerpo de forma de una "lenteja", su extensión más largo es en el medio llegando a 140m como mineral económico y a 170m como estructura geológica. En la vertical se ha explotado 75m con proyección a 130m.

La mineralización está controlada por fracturas paralelas de rumbo de N78°E y buzamiento promedio de 58° al SE, que provienen del techo de veta M. Rosa que buza S33°E; este fenómeno se presenta en tramos específicos a lo largo de veta Karina. Las cajas no son definidas, presenta una alteración de transición hacia una marga roja totalmente estéril. El techo presenta una falla que hacia el lado Este está en contacto y controla a la mineralización.

La veta RAMAL 085 es una estructura con características importantes en el grado de mineralización, por lo que resulta de importancia realizar un análisis geomecánico del comportamiento de sus cajas así como de la estructura propiamente dicha.

La Veta RAMAL 85, tiene una longitud de 1100m, con rumbo E-W y buzamiento que van desde los 55° a 75° al N. La mineralización es con predominancia esfalerita, galena, pirita y bandas de Rodocrosita.

Podemos observar rocas muy fracturadas (MF) a intensamente fracturadas (IF) esto en grado de fracturamiento y con roca pobre (P) a muy pobre (MP), en grado de resistencia, con una mineralización de esfalerita, galena y pirita diseminada.



Foto N°4 – Mineral intensamente alterado, correspondiente al cuerpo Karina.

## **CAPITULO V: PRINCIPIOS GEOMECANICOS BASICOS**

La roca circundante de la labor subterránea debe ser empleada como miembro activo del sistema de sostenimiento (auto-soporte con la propia roca).

### **5.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL NATM.**

- Consideramos que la parte más importante de la estructura de la labor minera es el macizo rocoso circundante.
- Tratar de mantener la resistencia original de la roca tanto como sea posible; porque, esta es el elemento de resistencia inicial.
- Se previene la desintegración o alteración de la roca, tanto como sea posible, porque esto, nos conduce a una considerable pérdida de resistencia del macizo.
- Se evita en lo posible la presión por esfuerzos uniaxiales o biaxiales, mediante el confinamiento del arco circundante a la excavación.

- Se controla la relajación o deformaciones prematuras del macizo; para prevenir el realce o inestabilidad de la roca.
- El revestimiento con shotcrete es dentro del tiempo establecido, cuya resistencia presenta una dosificación de acuerdo al diseño elaborado en la mina en base a muchos ensayos.
- El shotcrete aplicado es capaz de adaptarse a la deformación del macizo, es decir, presenta flexibilidad.
- El sistema de sostenimiento considerado permite ajustes en cuanto a espesores de shotcrete y distribución de pernos de anclaje. En algunos casos cuando la roca necesita se considera la adición de malla electrosoldada.
- Se considera el efecto de las etapas de construcción de la labor y el efecto del tiempo en el comportamiento de la excavación, conocido como tiempo de auto-soporte. El planeamiento de construcción es una buena herramienta para controlar el comportamiento de la roca.
- Para prevenir concentración de esfuerzos que empujan la roca, deben evitarse las ángulos y ejecutarse las secciones de contornos redondeados.
- La excavación y la primera etapa del soporte, conocida como soporte temporal, es considerada como parte importante del control de excavación de la labor, porque ella evita la relajación inicial y

tiene una influencia significativa sobre la acción del soporte final. En realidad el soporte temporal es el principal elemento de control de las deformaciones y permite alcanzar equilibrios definitivos.

- La estabilidad total se logra mediante el soporte definitivo es con los anclajes. El soporte definitivo sirve para confinar el macizo rocoso formando el arco de auto-soporte. Estas técnicas de soporte son las últimas del mercado mundial que aseguran la estabilidad definitiva.
- En caso de presencia de flujos de agua subterránea, se considera drenajes mediante la perforación de taladros y pernos huecos.

## 5.2 CLASIFICACIÓN DE BARTON (NGI).

Esta clasificación presentada por Barton, Lien y Lunde del NGI (Norwegian Geotechnical Institute), consiste en determinar el índice (Q) de acuerdo a la siguiente relación:

$$Q = RQD/J_n \times J_r/J_a \times J_w/SRF$$

Dónde:

- RQD = Índice propuesto por Deere, explicado anteriormente.
- $J_n$  = Numero de familias de discontinuidades.
- $J_r$  = Factor de rugosidad de las discontinuidades.

- $J_a$  = Factor de alteración de las discontinuidades.
- $J_w$  = Factor de reducción por contenido de agua en las discontinuidades.
- SRF = Factor de reducción por esfuerzos o tensiones.

El factor  $RQD/J_n$  representa la estructura de la masa rocosa y es medida aproximadamente del tamaño de bloques o partículas. El factor  $J_r/J_a$  representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno. El factor  $J_w/SRF$  consiste de dos parámetros de tensiones.

El SRF es una medida de: La pérdida de carga en el caso de excavaciones en zonas de fallas y rocas con fracturas rellenas con arcilla; tensiones en caso de roca competente; y carga que produce deformación en rocas plásticas incompetentes. El parámetro  $J_w$  es una medida de la presión de agua subterránea, la cual tiene un efecto adverso en la resistencia al corte de las discontinuidades debido a que reducen las tensiones normales efectivas.

Analizando las tablas de esta clasificación los autores no presentan corrección por la orientación de las discontinuidades, debido a que consideran que los tres factores que mencionamos, juegan un rol general más importante que el de la orientación de las discontinuidades. Para la evaluación de los requerimientos de soporte de excavaciones, la Clasificación del NGI contempla un factor adicional denominado por los autores:

Dimensión Equivalente (De); este se obtiene de la relación entre la luz de la excavación (diámetro o altura) y un factor de utilización de las mismas, denominado ESR (Excavation Support Ratio).

Así:

$$\mathbf{De = Span (altura o diámetro) / ESR}$$

El factor ESR varía entre 5 para minas de abertura temporales y 0.8 para plantas nucleares subterráneas, estaciones ferroviarias subterráneas, fábricas, etc.

La relación entre Q y De determina una recta (estrictamente una familia de rectas para cada ESR) que separa excavaciones que requieren soportes de las que no lo requieren. Los actuales límites para excavaciones sin soportes (permanentes) pueden expresarse por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Span = 2 ESR.Q^{0.4}}$$

El detalle de los parámetros de esta clasificación así como las 38 categorías de soporte recomendadas se muestra en las tablas Geomecánicas diseñadas por Barton, que son referencias bibliográficas para nuestra toma de decisiones del sostenimiento de Chungar.

Ver parámetros de Calificación en Tablas del Anexo N° 1.

### **5.3. CLASIFICACIÓN BIENIAWSKY (CSIR).**

Esta clasificación del CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research) fue propuesta por Bieniawsky. Considera cinco parámetros básicos para definir la clasificación:

#### **5.3.1. Resistencia de la Roca Intacta**

Está determinada por ensayos de Compresión simple ( $R_c$ ) o en su defecto por los ensayos de cargas puntuales ( $I_s$ ); datos que se obtiene en el laboratorio de mecánica de rocas.

#### **5.3.2 RQD del Testigo ( Rock Quality Designation )**

Tal como fue definido por su autor (Deere, 1964) es el % de testigos de perforación diamantina recuperados en piezas intactas de 100 mm o más, con respecto a la longitud total de la perforación.

#### **5.3.3 Espaciamiento Entre Discontinuidades.**

Aquí, discontinuidades es un término que abarca diaclasas, fallas geológicas, planos de estratificación y otras superficies de debilidad.

#### **5.3.4. CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES**

Este parámetro toma en cuenta la abertura de las discontinuidades, su continuidad, rugosidad de su superficie, grado de alteración de sus paredes y la presencia de material de relleno.

### **5.3.5. Condiciones Hidrogeológicas**

Este parámetro considera la influencia del agua subterránea en la estabilidad de las excavaciones; la clasificación se hace a la cantidad de flujo de agua que entra en la excavación o alternativamente usando la relación entre la presión hidrostática y la tensión principal mayor, siempre que sean conocidas. Ver tablas en Anexo 1

### **5.4 INDICES G.S.I. (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).**

Este índice ha sido introducido como un equivalente del RMR para que sirva como un medio de incluir la información geológica en la aplicación del criterio de falla generalizada de Hoek - Brown, especialmente para rocas de mala a muy mala calidad (muy alterada y con elevado contenido de finos).

La determinación del G.S.I., es el primer paso a seguir, definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso, basándose en las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, forma de fracturas, relleno).

La clasificación según su estructura varía de:

- Levemente fracturado (LF)
- Fracturada (F)

- Muy fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)
- Triturada (T)

La clasificación según sus condiciones superficiales varía de:

- Muy buena (MB)
- Buena (B)
- Regular (R)
- Pobre (P)
- Muy pobre (MP)

Su aplicación permite obtener una clasificación geológica muy simple como por ejemplo: fracturada, regular (F/R) o muy fracturada, muy pobre (MF/MP) y mediante la tabla de Ábacos de GSI. (Ver Anexo N° 1)

## **5.5. RELACIÓN ENTRE LAS CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS Y EL TIPO DE SOSTENIMIENTO**

En base a las condiciones del macizo rocoso en el área excavada definido por los diferentes tipos de clasificación geomecánica, se determina el tipo de soporte a colocar que consta básicamente de:

- Concreto lanzado (Shotcrete).

- Pernos de Compresión y fricción axial (Hydrabolt).
- Malla Electro-soldada.
- Cimbras metálicas Tipo H.
- Jack Pot.

El tiempo de auto-soporte mínimo, así como, la abertura máxima permisible sin soporte, está relacionado con el Índice Q según la siguiente relación:

$$\text{Abertura máxima} = 2(\text{ESR}) Q^{0.4}$$

Valores de ESR, se muestra en un cuadro del Anexo N° 1.

Abertura máxima y tiempo de auto soporte según el RMR.

En base a la relación de estas clasificaciones con la aplicación de los diferentes tipos de soporte y la equivalencia entre los valores del Índice Q, RMR y G.S.I., se realizo las tablas de aplicación de sostenimiento según el G.S.I., tanto para las labores permanentes y temporales como desarrollos y explotación, como para los diferentes tajos, los cuales se muestran en el Anexo N° 1 Estándares de Sostenimiento.



Foto N° 5: Labor amplia de 18m de ancho, 6m de altura y buzamiento 45°, controlados con shotcrete e hydrabolt de 7'.

## **CAPITULO VI: CONCRETO LANZADO**

Comúnmente conocido por el nombre de shotcrete, se denomina de ese modo a la técnica de sostenimiento por la cual se lanza concreto a alta presión sobre la roca, ya sea por medios mecánicos o automatizados.

### **6.1. ANTECEDENTES**

La Empresa Administradora Chungar S.A.C. en el año 2001, decide aplicar shotcrete vía seca para sostener sus accesos principales y mejorar su producción en la veta María Rosa, en los Niveles 540, 500 y 465.

Entre los años 2001 y 2002, se aplicó 4219 m<sup>3</sup>, de shotcrete vía seca; para ello se contaba con máquinas shotcreteras de rotor - de Marca Aliva – y estuvo centrado principalmente a labores permanentes de desarrollo, como Rampas, cruceros y By Pass, la aplicación promedio fue de 176m<sup>3</sup>/mes; el preparado de la mezcla se realizaba en los frentes de avance, para el cual se trasportaba todo los materiales necesarios.

Considerando las pérdidas en el transporte de materiales e incomodidades en la preparación de la mezcla en los frentes de avance, el año 2003 se decide preparar la mezcla en superficie, para el cual, se construye un ambiente para la acumulación de materiales y preparado con un trompo mezclador de 9 pies<sup>3</sup>, donde la dosificación se realizaba a mano por paladas, y el cemento en bolsas; esta práctica se desarrolló hasta febrero del 2005; la aplicación fue similar a los años anteriores, para shotcrete vía seca.

El mes de marzo del 2004, se inicia la aplicación de shotcrete vía húmeda, con la E.E. Unicon, principalmente en labores principales y algunos tajos amplios e importantes; para el lanzado de shotcrete vía húmeda, se contó con una planta de dosificación de concreto, un camión hormigonero Marca Volvo de 8m<sup>3</sup> para el mezclado, dos camiones hormigoneros Marca Nissan Condor de 2m<sup>3</sup> para el transporte y dos lanzadores robotizados; el rendimiento promedio fue de 250m<sup>3</sup>/ mes hasta diciembre del 2005.

En el mes de febrero del 2005, entra en funcionamiento la planta de Concreto de la EE Inpecon, con la finalidad de preparar mezcla para shotcrete vía seca, mejorando de esta manera la homogeneidad de la mezcla y reduciendo el tiempo de mezclado; se mejoró las proporciones de insumos, principalmente el de cemento, ya que anteriormente se utilizaba las bolsas, que fue reemplazando por granel, esto permitió la optimización de costos. Considerando el bajo rendimiento de Unicon en

vía húmeda, se recomienda otra EE, y en el mes de Agosto del 2005 ingresa la EE Robocon, cuyo abastecimiento fue con la planta de concreto de Inpecon y con el diseño del Dpto. Geomecánica, mejorando de esta manera la velocidad del sostenimiento.

El año 2006, se optimiza el lanzado vía húmeda principalmente con los equipos de la EE Robocon, cuyo lanzador robotizado (Alpha 20) es de gran rendimiento. En Agosto del 2006, termina el contrato de la EE Unicon; quedándose para las operaciones de sostenimiento la EE Robocon, por su puesto, con incremento de su flota, con dos Alpha 20 y tres camiones hormigoneros de 4m<sup>3</sup>, el abastecimiento de mezcla es en la planta de Inpecon.

A partir de Noviembre 2006, ingresa la EE Firth, quien reemplazará a la EE Inpecon a partir de Enero 2007, con una planta de concreto para el preparado de mezcla vía seca y húmeda.

A partir de Enero 2009 hasta la fecha, el Dpto. de Geomecánica administra la operación de la Planta de Concreto, mejorando el diseño y disminuyendo notablemente los costos de operación y rendimiento.



Foto N° 6 – Proceso de lanzado de shotcrete vía húmeda.

## **6.2. PROCESO DE APLICACIÓN SISTEMA DE SHOTCRETE VÍA SECA.**

Es un proceso donde se emplea “mezcla seca”, constituido por áridos (con una humedad de 5 a 6%), y cemento. Para el caso de Chungar es añadido fibra metálica y acelerante para el fraguado al momento del lanzamiento. El agente impulsor es el aire comprimido. El agua es adicionada en la pistola de proyección.

El proceso es como sigue: El cemento y los áridos se mezclan adecuadamente en la planta hasta conseguir una perfecta homogeneidad en proporciones variables o de acuerdo al diseño. Normalmente utilizamos cemento Pórtland, junto con los áridos de río de la Cantera de Cochamarca.

La mezcla de cemento / áridos / fibra, es transportado en Volquetes hasta una cámara de acumulación en interior mina, de esta es transportado con Scoop hasta el frente de aplicación, la cual se introducen en el alimentador de la bomba shotcretera (Aliva). Luego, desde el alimentador, la mezcla mediante un distribuidor (rotor) es impulsada con aire comprimido. En el momento de salida en la pistola es añadida el agua con el aditivo acelerante líquido, para conseguir resistencias iniciales altas y disminuir el rebote.

La mezcla es transportada por la manguera mediante aire a alta presión hasta la pistola especial. Esta pistola va equipada con un distribuidor perforado, a través del cual se pulveriza agua a presión, que se mezcla con el conjunto cemento/árido.

La mezcla ya humedecida se proyecta sobre la superficie a revestirse. La regulación del agua es fundamental y depende el operador shotcrete la buena aplicación.

**CUADRO 1: SHOTCRETE VÍA SECA**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Los equipos son más pequeños y adaptables a las limitaciones de espacio físico de las labores.	El tiempo de lanzado es más lento, requiere de cuatro trabajadores como mínimo.
Equipos lanzadores son más económicos.	El control de la relación agua /cemento depende del shotcretero.
En la boquilla se tiene el control del agua y de la consistencia de la mezcla	Perdidas de mezcla por rebote de hasta 35%.
Manejo es sencillo.	Pérdida en el transporte de la mezcla o materiales y en la preparación.
Mantenimiento de equipos es más económica	Mayor Polución, requiere de EPP adecuados.
Transportable a mayor distancia.	La exposición a zonas de riesgo es mayor.
El shotcrete trabaja rápidamente en zonas con flujos de agua y alcanza buena resistencia.	Requiere de equipos adicionales para el traslado del proyector y accesorios.
Existe una oferta amplia de equipos en el Mercado.	No adecuado para labores de secciones mayores de 3.0m x3.0m.
Velocidad de proyección alta 80-100 m/s	Su rendimiento es menor que el de vía húmeda.
No requieren de una planta para el preparado de mezcla	Mayor contaminación

Fuente: Geomecánica Chungar

### **6.3. PROCESO DE APLICACIÓN SISTEMA DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.**

Tiene el mismo principio de vía seca, solo que en este caso la mezcla de hormigón es preparada en la planta de concreto y transportada en camiones hormigoneros.

Para la preparación y lanzado de shotcrete vía húmeda, se requiere de camiones hormigoneros, equipo lanzador de concreto con brazo robotizado y una planta de concreto para la preparación de la mezcla; el lanzado del mortero u hormigón es de buen rendimiento, y con bajo rebote, cubriendo de éste modo ampliamente los requerimientos de mina, y pasando a un segundo plano las aplicaciones del shotcrete vía seca. Estos equipos se limitan a un bombeo a alta velocidad a través de conductos hasta la boquilla donde es impulsada por aire comprimido, con lo que se obtiene una superficie de hormigón adecuadamente compactado.

El sistema de mezcla húmeda consta de una serie de fases y requiere de una planta de concreto y equipos adecuados. La mezcla de áridos, cemento y el agua se realizan en la planta de concreto; es abastecida mediante pesaje con una balanza electrónica, donde es girada hasta conseguir una perfecta homogeneidad de acuerdo a los requerimientos de diseño. Para facilitar la plasticidad se suele adicionar aditivos.

Previo al envío se mide el Slump y el tiempo que dura el transporte hasta el momento de la alimentación el equipo lanzador (Alpha 20) que es impulsada por una bomba de concreto.

Previo al lanzado, se determina la labor a sostener, que debe estar limpia, desatada y ventilada; se solicita a planta el volumen de mezcla calculada con la siguiente formula:

$$V = L \times P \times e \times R \times Re,$$

Donde: V = volumen, L = longitud, P = perímetro, e = espesor del shotcrete, R = rugosidad y Re = rebote.

La mezcla es transportada en camiones hormigoneros, hasta el frente de aplicación, donde el equipo lanzador ya debe estar instalado para el lanzado.

La mezcla húmeda de cemento, áridos, plastificante y fibra se abastece al alimentador de la bomba shotcretera (Alpha 20). La mezcla es impulsada a la manguera y al brazo robotizado mediante un distribuidor, y en la salida se adiciona el acelerante de fragua, para conseguir resistencias iniciales altas y favorecer la disminución de rebote. La mezcla es lanzada mediante aire comprimido. Esta boquilla va equipada con un distribuidor de aire, para ayudar a la proyección.

La mezcla se proyecta desde la boquilla mediante un brazo robotizado, sobre la superficie del terreno a soportar, este lanzado es operado a control remoto.

### CUADRO 2: SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los equipos son modernos, de gran rendimiento y apropiados para secciones mayores de 3.0 x3.0, adecuado para labores permanentes y tajos amplios.	Se requiere de una planta de concreto para el preparado de mezcla con las dosificaciones de diseño.
El equipo lanzador está dotado de brazo robotizado y accionado a control remoto.	Se requiere de camiones hormigoneras para el traslado de mezcla. Mejor control de la relación agua /cemento
Mejor control de la dosificación principalmente la relación agua / cemento.	Para el manejo de los equipos se requiere de mano de obra calificada.
Menor rebote de la mezcla, se estima como máximo 10%	El mantenimiento de equipos es más costoso.
La aplicación es rápida y segura; se requiere solamente de dos operadores.	Velocidad de impacto contra la superficie es inferior.
Se optimiza los tiempos de aplicación.	No se puede aplicar en secciones menores de 3.0x3.0m por las dimensiones de los equipos.
Menos producción de polvo, por ende menos contaminante.	Los costos son relativamente más altos que el de vía seca.
Existe una oferta amplia de equipos en el mercado	
Velocidad de proyección alta 60-70 m/s	

Fuente: Geomecánica Chungar

## **6.4. ALGUNAS PROPIEDADES DEL SHOTCRETE**

Las propiedades se definen con los siguientes parámetros:

### **6.4.1. Adherencia**

La adherencia es una propiedad importante y depende de las condiciones de la roca, a la solidez, alteración, agua, limpieza y a que esté exenta de partes sueltas. La mezcla choca a la superficie a una velocidad elevada, y rellena las irregularidades, las fisuras y los poros con la ayuda de las partículas más finas. El mecanismo consiste en que primeramente se forme una fina capa de pasta de arena fina y cemento, a la cual se incrustan los granos de áridos gruesos, efectuándose un puente o lechada de adherencia.

La resistencia de adherencia viene dada por la calidad de la roca y por la variación de aplicación. Se deduce que la adherencia del shotcrete con la roca permite la absorción de los esfuerzos de flexión. La unión del shotcrete con la roca debe ser íntima para que impida el proceso de aflojamiento, descompresión, o relajación del macizo rocoso.

### **6.4.2. Porosidad**

El shotcrete generalmente contiene más cantidad de áridos finos y más cantidad de cemento que el hormigón tradicional, por lo que la porosidad es menor; si además la relación agua/cemento es menor y la compacidad alta, se crean poros bajo forma de inclusiones de aire que no

se comunican entre si. La porosidad es creada por el aire encerrado durante el proceso de la operación.

#### **6.4.3. Densidad aparente**

Varían entre 2.3 a 2.5 kg/dm<sup>3</sup>, dependen del contenido de áridos, cemento y la porosidad.

#### **6.4.4. Resistencia a la compresión**

Está en función al diseño, según el requerimiento de la operación minera. El requerimiento mínimo para un Shotcrete 210 es de 35kg/cm<sup>2</sup> a las cuatro horas, a las 24 horas debe estar por encima de 100 kg/cm<sup>2</sup>, a los 7 días debe sobrepasar los 210kg/cm<sup>2</sup>, mientras que a los 28 días está por muy encima de los 350 kg/cm<sup>2</sup>; con esto se logra optimizar y reducir tiempos en una operación minera. Sin embargo, una característica fundamental del shotcrete es el incremento de resistencias con el tiempo a causa del contenido elevado de cemento, 500 kg/cm<sup>2</sup> a los 12 meses y 600 kg/cm<sup>2</sup> a los 4 años. Algunas veces se ha reportado hasta 700 kg/cm<sup>2</sup>.

El uso de acelerantes de fragua, nos permite conseguir altos valores de resistencia inicial, que es muy importante para la explotación minera. Así, se puede tener la progresión de resistencias en base a un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> prevista para los 28 días, se encuentra en los siguientes valores:

**CUADRO 3: TIEMPO VS RESISTENCIA**

TIEMPO TRANSCURRIDO	RESISTENCIA
4 horas	25 a 35 kg/cm <sup>2</sup>
24 horas	> 100 kg/cm <sup>2</sup>
3 días	> 180 kg/cm <sup>2</sup>
7 días	> 210 kg/cm <sup>2</sup>
28 días	> 350 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Geomecánica Chungar

#### 6.4.5 RESISTENCIA A TRACCIÓN

Es variable entre 15 - 20 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 30 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Esta resistencia mejora con la utilización de la fibra.

#### 6.4.6. Permeabilidad

En el caso del shotcrete alcanza valores de 10-25x10<sup>-10</sup> m/s que es inferior al de un hormigón normal que es de 50x10<sup>-10</sup> m/s.

La relación agua/cemento para el concreto lanzado esta comprendida entre 0.45 a 5.0 por peso, que es más baja que la mayoría de los valores para las mezclas convencionales.

La contracción por secado depende de las proporciones de mezclas empleadas, pero se encuentran entre 0.06 - 0.10 %.

## **6.5. REQUERIMIENTOS DE LA CAPA DE SHOTCRETE**

### **6.5.1. Requerimientos Mecánicos**

- Debe poseer resistencia a temprana edad, suficiente para contrarrestar a las tensiones, particularmente en el último tramo excavado.
- Obtener resistencias suficientes para equilibrar los esfuerzos de corte o cizalla- miento y flexo-tracción, para de esa manera soportar eficazmente a las sollicitaciones del “empuje de roca”.

### **6.5.2. Requerimientos Físicos**

- Protección contra la meteorización o deterioro de la superficie rocosa del macizo atravesado.
- Impedir el ingreso de humedad y aire en las discontinuidades de la roca.
- Impedir que la variación de temperatura circundante a la excavación afecte la estabilidad del macizo rocoso.

### **6.5.3. Requerimientos Hidráulicos**

- Estancamiento eficaz de las aguas de infiltración a las labores.

- Disminuir la rugosidad en las paredes de las labores, para mantener y controlar un régimen de pérdida de carga; para una excavación tiene por finalidad conducir agua o ventilación.

#### 6.5.4. Requerimientos Químicos

- Protección de la roca a la acción de aguas agresivas, humos, gases.
- Impedir que la roca circundante a la excavación sufra efectos higroscópicos e inestabilización por efectos de la humedad.

### 6.6 - PROCESOS DEL SHOTCRETE

#### 6.6.1. Fraguado

Es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. Hay dos etapas de fraguado:

- a) **Fraguado inicial**, cuando la masa empieza a perder plasticidad; esto se acelera para el shotcrete con aditivos de acuerdo a la necesidad de operación.
- b) **Fraguado final**, cuando la pasta de cemento deja de ser “deformable” y se convierte en un bloque relativamente rígido o endurecido.

### 6.6.2. Endurecimiento

Es el desarrollo lento de la resistencia, esto se consigue con el paso de las horas y los días hasta su endurecimiento final.

### 6.6.3. Calor de Hidratación

Es la reacción que genera calor en el proceso del endurecimiento. La temperatura que genera la hidratación llega hasta los 50°C. Como la temperatura ambiente es menor se producen descensos bruscos de ésta, ocasionando contracciones y en consecuencia rajaduras, esto se evita con la utilización de fibras metálicas o sintéticas.

El shotcrete se endurece al mezclarse con la cantidad suficiente de agua, mediante un desarrollo lento de estructuras cristalinas cementantes que se adhieren a las partículas entremezcladas de los áridos (arena y grava). Esto une la masa, al mismo tiempo, que desarrolla resistencia y adquiere gran dureza. Mientras haya humedad en el ambiente la reacción continúa, esta es una ventaja dentro de la mina por la humedad del medio, mientras que en superficie se recomienda su curado con agua de aspersión.



Foto N°7 – Planta de concreto en superficie.

## 6.7. MATERIALES PARA EL SHOTCRETE

### 6.7.1. Cemento Pórtland

Aglomerante que se obtiene de la transformación de una materia prima que está compuesto por una mezcla de caliza, arcilla, puzolana y otros minerales o simplemente caliza. Esta materia prima finamente molida, es llevada a altas temperaturas (entre 1400 a 1450°C), a través de un horno (rotatorio o vertical), de donde se obtiene un producto denominado CLINKER, del cual, al molerse finamente con alrededor de 5% en peso del yeso, se obtiene el CEMENTO.

Si el clinker fuera molido finamente para ser utilizado como cemento, en el momento de su mezcla con el agua fraguaría casi de inmediato, por tal razón, en el momento de la molienda se le adiciona yeso natural con el objeto de retardar el fraguado.

- a) **Cementos Portland Comunes:** Son aquellos cementos hidráulicos producidos por la pulverización del clinker y dentro de ellos tenemos:

#### CUADRO 4: TIPOS DE CEMENTOS PORTLAND

<b>Tipo I</b>	Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifican la utilización de otros 4 tipos de cemento; este cemento se emplea en Chungar para el Shotcrete.
<b>Tipo II</b>	Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.
<b>Tipo III</b>	Es el cemento de alta resistencia inicial, el concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concreto hechos con cemento tipo I o tipo II.
<b>Tipo IV</b>	Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.
<b>Tipo V</b>	Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

Fuente: Geomecánica Chungar

- b) **Cementos Pórtland Adicionados** :Son aquellos cementos hidráulicos, que consisten de una mezcla íntima y uniforme producida por la molienda conjunta del clinker con los materiales de adición – como escorias o puzolanas - y yeso o por la mezcla separada del cemento Pórtland con dichas adiciones.

#### 6.7.2. El Agua

Es un elemento fundamental en la preparación del shotcrete, está relacionado con la resistencia, trabajabilidad, manchado, corrosión del refuerzo y propiedades del concreto endurecido. El agua debe ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales como el aceite, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al

concreto y al acero. El agua para el curado debe tener las mismas características que el utilizado en la preparación

Es necesario realizar un análisis químico de las aguas a utilizar, no debe tener valores superiores a los máximos admisibles de las sustancias existentes de acuerdo a la siguiente relación:

**CUADRO 5: VALORES MÁXIMOS DISUELTOS EN AGUA.**

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
PH.	De 6 a 8
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Geomecánica Chungar

El agua llega a una válvula instalada en la boquilla de la bomba shotcretera a través de una línea de alta presión y debe estar conectado directamente a la alimentación principal. Esta presión debe ser no menor de 4 Bar.



Foto N° 8 - Fibra Metálica para Shotcrete  
Vía Húmeda (Encolada 65/35)

### **6.7.3. Áridos o Agregados**

Constituyen alrededor del 75 al 80% del volumen, de una mezcla típica de concreto. Los utilizados en la preparación del shotcrete se obtendrán por la selección y clasificación de materiales naturales de la Cantera Cochamarca que son lavados y cribados de acuerdo a la gradación N° 2 del ASTM.

Los agregados para el shotcrete, deberá cumplir con los requisitos de las especificaciones Standard ASTM C-33. Los agregados finos se consideran como tal a la arena de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5mm (3/8") y agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75mm (N° 4) que es grava de río. Los áridos combinados, estarán uniformemente bien graduados y no mostraran segregación alguna, en Chungar utilizamos la gradación N° 2.

El polvo tiende a formar una película perjudicial en las partículas de los áridos, que afecta el proceso de fraguado del concreto, raíz por el cual se recomienda humedad en los áridos.

### **6.7.4. Aditivos**

Tienen por finalidad lograr propiedades específicas en el shotcrete y en el endurecido; en el mercado se dispone de diferentes tipos de aditivos / ingredientes, a utilizarse para el shotcrete tanto para el procedimiento por vía seca como por vía húmeda y son para las siguientes necesidades:

- Acelerantes de fragua.
- Plastificantes (fluidificantes reductores de agua).
- Súper fluidizantes (para la producción de hormigón y mortero fluido o como reductor de agua).
- Súper fluidizantes - Retardadores (para la producción de hormigón y mortero fluido y retardo).
- Impermeabilizantes (para hormigones y morteros de impermeabilización).
- Estabilizadores (para estabilizar hormigones y morteros hasta 40 horas).
- Reductores de rebote.
- Reductores de polvo y entre otros.

Los aditivos solubles deberán disolverse en agua antes de añadirse a la mezcla. Se mezclan generalmente en un tanque con agua y la solución se bombea a la boquilla (vía seca). Los polvos insolubles se mezclan con el cemento antes que éste se mezcle con el agregado.

En cuanto a orden de importancia, es de resaltar que la granulometría y mezcla de áridos representan un 30%, los aditivos un 25%, la elección del equipo de maquinarias y sus especialistas un 40% y el 5% restante los elementos que forman parte de la técnica del hormigón y mortero proyectado.

### **6.7.5. Adiciones**

La microsíllica, al ser adicionada al cemento reaccionan con la cal libre del cemento que representa un 25% de la pasta y forma el silicato cálcico que es un compuesto estable con resistencias propias y que formará una pasta mucho mas resistente a los esfuerzos físicos, además va ser más resistente a los ataques químicos y atmosféricos y en general puede ofrecer un grado de durabilidad mayor en los hormigones proyectados.

La microsíllica debe utilizarse siempre junto con un superfluidificante, ya que, por una parte se obtiene una defloculación de dicho humo de sílice y, por tanto un buen reparto en la pasta de cemento. La dosificación aproximada puede ser de 8 -10%.

### **6.7.6. Fibras**

El shotcrete reforzado con fibras ha avanzado significativamente en los últimos años, contando ahora con la aprobación de profesionales para el soporte de rocas; el shotcrete es un material frágil, se agrietan por razones estructurales principalmente por la poca resistencia a la tracción del material. El agrietamiento se produce como resultado de la combinación de los esfuerzos de contracción y las restricciones. Para evitar este problema es necesario reforzarlo con fibras.

Las fibras metálicas tienen ventajas obvias sobre la malla electro-soldada, siendo más importante el hecho de que son pequeñas y que pueden distribuirse uniformemente en toda la capa de shotcrete.

La adición de fibras a los morteros y hormigones mejora sus características notablemente. Aunque hay fibras de distintas naturalezas (nylon, fibras de vidrio, polipropileno, polietileno, metálicas, etc.). Las más divulgadas y conocidas son las metálicas.

Además de la ventaja del acero de tener un módulo de elasticidad 10 veces superior al hormigón, presentan cualidades de una buena adherencia de éstas a la mezcla, un alto alargamiento de rotura y una gran facilidad de mezclado. La presencia de fibras metálicas en los morteros y hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas haciendo que disminuya su fragilidad y aumente su ductilidad después de la fisura, aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía, disminuye la tendencia a las roturas por retracción, evita la aparición de micro-fisuras y propagación de grietas, aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura, mejora el comportamiento a flexo-tracción y aumenta la durabilidad.

Al iniciarse la rotura, las fibras metálicas ancladas a ambos lados de la fisura actúan de tirantes, oponiéndose a la propagación y aumento de ésta, así continúan hasta que se rompa a tracción o se deslicen al perder la adherencia. La utilización más común es de fibras de 30mm a 40mm de longitud y 0.50mm de diámetro.



Foto N° 9 - Fibra Metálica para Shotcrete  
Vía Seca (Suelta 45/35)

## **6.8 - PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO**

### **6.8.1. Procedimiento de Mezclado por Vía Seca**

El mezclado deberá realizarse preferentemente en una planta de concreto o con una mezcladora de trompo por un tiempo máximo de 3 minutos; el tiempo mínimo para la utilización de la mezcla después de preparado es variable, dependiendo de la temperatura del medio, se tiene experiencia que se puede emplear hasta las 4 horas de preparado en ambientes con temperaturas menores de 10°C.

En el caso de realizarse la mezcla manualmente se realizara como mínimo tres vueltas al conjunto de árido/cemento; sobre una lona o manta de polipropileno o geomembrana.

El mezclado deberá realizarse en las proporciones de diseño previamente calculadas en forma adecuada de tal manera que el agregado esté homogenizada con el cemento; la cantidad debe ser calculada previamente y debe ser preparada en su totalidad para mantener un suministro constante a la shotcretera. La mezcla deberá cribarse para impedir la inclusión de piedras de mayor tamaño u otros materiales extraños.

El almacenaje del cemento deberá realizarse cerca de la zona de preparado, sobre una tarima bajo techo y ser posible protegido con geotextil y su utilización debe ser dentro del tiempo de vida.

Los agregados o áridos deben almacenarse bajo techo o estar protegidos con geomembrana, evitar el agua y las precipitaciones, para conservar la humedad requerida. El piso puede ser enrocado, lona o madera para que la percolación del agua sea con facilidad.

### **6.8.2. Procedimiento de Mezclado por Vía Húmeda**

Una vez que ya se tiene la orden o pedido y verificada la cantidad a despachar se procede a la dosificación en la Planta de Concreto:

La tolva de agregados debe estar llena, donde se realiza el pesaje de la arena, este mediante una faja transportadora es transportado a la mezcladora o al Mixer. El mezclado es como mínimo de un minuto por tanda de un m<sup>3</sup>, y vaciado al Hurón o Tornado.

- Los silos de cemento deben estar con este elemento y se debe controlar diariamente el volumen, reportando a logística y geomecánica; se sigue la siguiente secuencia:
- Se abastecerá la mezcladora en el siguiente orden:
- Abastecimiento de agua al 90% del requerimiento.
- Acelerar la velocidad de giro de la mezcladora o del trompo del Mixer a 18 vueltas por minuto como mínimo.
- Abastecer la fibra metálica en su totalidad.

- Agregar el aditivo plastificante en su totalidad.
- Previo pesaje, agregar el cemento conjuntamente con la arena lentamente, para que no se genere atoros en la entrada de la mezcladora o Mixer.
- Se imprimirán los pesajes de los insumos utilizados.
- Completar con el resto de agua.
- Verificar visualmente el comportamiento de la mezcla.
- Mezclado durante un minuto por m<sup>3</sup>.
- Terminado el mezclado se verifica el asentamiento de la mezcla por medio del ensayo de Slump Testing (el asentamiento requerido es de 6" a 7" al salir de planta y de 4" a 5" para ser lanzado) Norma ASTM C 143, esto para facilitar el bombeo en el robot al momento de ser lanzado.
- Dar conformidad de la mezcla preparada entre el que dosifica y el que recibe el producto, mediante un reporte.
- Se transporta la mezcla a la labor, teniendo como tiempo de vida útil como máximo 4 horas, pasado este tiempo la mezcla se desecha.

### 6.8.3. Procedimiento de Aplicación

- Verificar la instalación de calibradores, estos deben estar instalados en toda la sección de la labor, de acuerdo al estándar, elaborado por Geomecánica de un calibrador por m<sup>2</sup>.
- La alimentación de la mezcla a la tolva del equipo lanzador debe ser continua, hasta concluir con el lanzado.
- Asegurarse que el chorro de mezcla sea de flujo regular, verificar la presión en el manómetro debe fluctuar entre 3.5 a 5 Bar.
- Dirigir la boquilla en forma transversal a la superficie, el lanzado es en forma elíptica a circular ver gráfico parte superior.
- La aplicación se iniciará de la parte inferior de las paredes de la labor, debe ser ha espesor completo según la recomendación hasta una altura de 1.50m, para evitar concentraciones de material de rebote.
- La parte superior de las paredes y la bóveda, se lanzará en capas de ½", para evitar desprendimientos del shotcrete.
- No se retirará el equipo lanzador hasta que haya concluido con el lanzado en toda la zona a sostener, por ningún motivo se dejara incompleto los trabajos de sostenimiento.
- La mezcla debe ser lanzada como máximo a las 4:00 horas de preparado en planta, pasado este tiempo se debe desechar.

- El tiempo mínimo de fraguado del shotcrete es 4:00 horas, No se debe realizar ningún otro trabajo en este lapso.

## **6.9 - COMENTARIOS SOBRE LA APLICACIÓN DE SHOTCRETE**

La forma y el movimiento de la boquilla durante la aplicación permiten que el material de rebote sea menor, obteniendo un trabajo correcto y de mayor recubrimiento.

En los casos de que exista presencia de agua de filtraciones en las paredes de la labor, se debe previamente realizar “lloronas” que consiste en perforaciones en la zona para poder canalizar el agua mediante un tubo o trozo de manquera el cual evitará que el agua fluya por las paredes de la superficie de aplicación lavándolas.

Para zonas muy inestables con agua, primeramente se lanzará shotcrete, con aditivos de fraguado rápido y en capas delgadas, hasta mejorar la estabilidad, posteriormente instalar las lloronas.

La aplicación sobre rocas meteorizadas, en rocas con descomposición superficial al contacto del aire o la humedad, es complicada porque la adherencia es mínima o nula; para estos casos el shotcrete es preventivo, va requerir de un complemento que en el caso de Chungar son los anclajes de compresión y fricción axial (Hydrabolt).

La aplicación del shotcrete en el techo de las labores es por capas delgadas no deberá sobrepasar la 1/2 pulgada por pasada; mientras que en las paredes o hastiales podría alcanzar hasta el ancho de diseño hasta 6 pulgadas. No se recomienda aplicar shotcrete sobre estructuras de aluminio porque puede generarse una corrosión electrolítica; tampoco, sobre el acero galvanizado debido a que hay buena adherencia.

#### 6.10 - DISEÑO DE SHOTCRETE EN CHUNGAR

El diseño actual, tanto para via seca como para via humeda, esta en proceso de mejora, debido a las últimas pruebas del mes de octubre; por el momento el diseño que se maneja es el siguiente:

**CUADRO 6: MEZCLA PARA SHOTCRETE VIA SECA AL 2011**

Descripción	Unidad	Cantidad	Observaciones
Cemento	Kg.	400	Andino Tipo I
Áridos lavados	Kg.	1690	Cantera Cochamarca
Fibra Dramix	Kg.	20.00	Metálica 45/35
Aditivo Sigunit L30	Gl.	3.00	Acelerante de Fragua.
Agua	Lt.	175	Aprox.

Fuente: Geomecánica Chungar

**CUADRO 7: MEZCLA PARA SHOTCRETE VÍA HUMEDA AL 2011  
(ROBOCON)**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>210kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Observaciones</b>
Cemento	Kg.	400	Andino Tipo I
Áridos lavados	Kg.	1595	(Peso seco)
Viscocrete 3330	Lt.	2.15	Superplastificante reductor agua
Fibra Dramix	Kg.	20	Metálica 65/35
Aditivo Sigunit L30	Gl.	3.00	Acelerante
Agua	Lt.	185	Aprox.

Fuente: Geomecánica Chungar

La dosificación del acelerante podrá incrementarse en función de las características de estabilidad de la superficie del macizo rocoso y necesidades tempranas de fragua. Se utilizará mayor dosificación en casos de roca deleznable, superficies cercanas a los frentes de disparo o superficies con filtraciones de agua. No siempre a mayor volumen de acelerante la fragua es más rápida; además, cuan mayor sea el aditivo acelerante se genera menor resistencia con el tiempo.

### **6.11. Ensayos y Resultados del concreto lanzado**

Desde que la planta viene operando directamente bajo la supervisión y operación de la empresa se han realizado cambios y mejoras en el diseño de mezcla; de las pruebas y ensayos que se han realizado durante este tiempo, se puede mencionar las pruebas con acelerantes y las fragua.

### 6.11.1. Pruebas con Acelerantes

EL cambio del aditivo líquido acelerante de fragua V-lox por el Sigunit L-30, se debió a la búsqueda de nuevas alternativas para obtener una reducción en el costo de la mezcla de concreto para shotcrete vía húmeda manteniendo la calidad de esta; los resultados de las pruebas, fueron los siguientes:

El Sigunit L-30 PE es un aditivo acelerante para ser utilizado en concreto proyectado por vía húmeda como por vía seca. No contiene cloruros. Tiene las mismas características que el Sigunit L-22, sin embargo posee mejoras en cuanto a ganancias más tempranas de resistencias iniciales.

Es un aditivo que proporciona al concreto las siguientes características:

- Disminuye el rebote.
- Evita desprendimientos de roca.
- Acelera el fraguado del concreto, permite obtener ganancias tempranas de resistencia.

#### a) Ensayos Realizados

Los ensayos realizados fueron pruebas a escala industrial en interior mina en vía seca y en vía húmeda; se muestreo paneles para obtener resistencias a la compresión comparando el aditivo V-Lox , con el aditivo Sigunit L-30.

## b) Resultados

En el siguiente cuadro se observa la toma de paneles para rotura a compresión en testigos diamantinos vía húmeda V-LOX(BASF) vs. SIGUNIT I-30 PE(sika)

**CUADRO 8: V-LOX(BASF) VS. SIGUNIT L-30 PE(SIKA)**

	<b>MUESTRA PATRON V-LOX</b>	<b>MUESTRA SIGUNIT L-30 PE</b>
Zona de lanzado	Nivel 295 Rampa 200(+)	Nivel 295 Rampa 200(+)
<b>DOSIFICACION DE PLANTA</b>		
Cemento andino tipo i	400 Kg.	400 Kg.
Agregado seco - grad. 2	1610 Kg.	1610 Kg.
Fibra metálica CHO 65/35	20.0 Kg.	20.0 Kg.
Agua de diseño	185 l.	185 l.
Relación agua/cemento	0.463	0.463
Viscocrete 3330	1.5 Kg.	1.5 Kg.
Acelerante de fragua V-Lox (basf)	3.2 Gl. (12.10 l.)	-
Acelerante de fragua Sigunit I-30 PE (SIKA)	-	3.2 Gl. (12.10 l.)
<b>PARAMETROS ESTADO FRESCO DE LA MEZCLA EN MINA</b>		
Asentamiento en mina (pulg)	5 Pulg.	5 Pulg.
Temperatura del concreto (°c)	17.7	17.9
<b>PARAMETRO ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA</b>		
Resistencia a 24 horas promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	100.5 Kg/cm <sup>2</sup>	105.2 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 3 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	302.5 Kg/cm <sup>2</sup>	289.0 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Geomecánica Chungar

En el cuadro 9 tenemos la toma de paneles para rotura a compresión en testigos diamantinos vía húmeda v-lox(basf) vs. sigunit l-30 pe(sika)

**CUADRO 9: V-LOX(BASF) VS. SIGUNIT L-30 PE(SIKA)**

	<b>MUESTRA PATRON V-LOX</b>	<b>MUESTRA SIGUNIT L-30 PE</b>
Zona de lanzado	Nivel 280 Tajo 500	Nivel 280 Tajo 500
<b>DOSIFICACION DE PLANTA</b>		
Cemento andino tipo i	400 Kg.	400 Kg.
Agregado seco - grad. 2	1610 Kg.	1610 Kg.
Fibra metálica CHO 65/35	20.0 Kg.	20.0 Kg.
Agua de diseño	185 l.	185 l.
Relación agua/cemento	0.463	0.463
Viscocrete 3330	1.5 Kg.	1.5 Kg.
Acelerante de fragua V-LOX (basf)	3.2 Gl. (12.10 l.)	-
Acelerante de fragua SIGUNIT I-30 PE (sika)	-	3.2 Gl. (12.10 l.)
<b>PARAMETROS ESTADO FRESCO DE LA MEZCLA EN MINA</b>		
Asentamiento en mina (pulg)	5.75 Pulg.	5.75 Pulg.
Temperatura del concreto (°c)	18.6	18.9
<b>PARAMETRO ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA</b>		
Resistencia a 24 horas promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	113.5 Kg/cm <sup>2</sup>	119.1 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 3 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	309.8 Kg/cm <sup>2</sup>	315.4 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Geomecánica Chungar

En el cuadro 10 se observa la toma de paneles para rotura a compresión en testigos diamantinos vía seca V-Lox(Basf) Vs. Sigunit L-30 PE(Sika)

**CUADRO 10: V-LOX(BASF) VS. SIGUNIT L-30 PE(SIKA)**

	<b>MUESTRA PATRON V-LOX</b>	<b>MUESTRA SIGUNIT L-30 PE</b>
Zona de lanzado	Nivel 250 Tajo 400	Nivel 200 By pass 200 w
<b>DOSIFICACION DE PLANTA</b>		
Cemento andino tipo i	400 Kg.	400 Kg.
Agregado seco - grad. 2	1690 Kg.	1690 Kg.
Fibra metálica Dramix 45/35	20.0 Kg.	20.0 Kg.
Agua de diseño	190 l	190 l
Relación agua/cemento	0.475	0.475
Viscocrete 3330	-	-
Acelerante de fragua v-lox (basf)	2.5 Gl. (9.45 l.)	-
Acelerante de fragua SIGUNIT I-30 PE (SIKA)	-	2.2 Gln. (8.32 l.)
<b>PARAMETROS ESTADO FRESCO DE LA MEZCLA EN MINA</b>		
Asentamiento aproximado (pulg)	1.5 Pulg.	1.5 Pulg.
Agua aproximada real en mina	75 l.	75 l.
<b>PARAMETRO ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA</b>		
resistencia a 24 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	104.5 Kg/cm <sup>2</sup>	119.2 Kg/cm <sup>2</sup>
resistencia a 24 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	89.0 Kg/cm <sup>2</sup>	112.1 Kg/cm <sup>2</sup>
promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	96.75 Kg/cm <sup>2</sup>	115.65 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Geomecánica Chungar

En el cuadro 11 se observa la toma de paneles para rotura a compresión en testigos diamantinos vía seca V-LOX(basf) vs. SIGUNIT I-30 PE(SIKA)

**CUADRO 11: V-LOX(BASF) VS. SIGUNIT L-30 PE(SIKA)**

	<b>MUESTRA PATRON V-LOX</b>	<b>MUESTRA SIGUNIT L-30 PE</b>
Zona de lanzado	Nivel 355 Tajo 400 w	Nivel 250 Tajo 300 lorena
<b>DOSIFICACION DE PLANTA</b>		
Cemento andino tipo i	400 Kg.	400 Kg.
Agregado seco - grad. 2	1610 Kg.	1610 Kg.
Fibra metálica CHO 65/35	20.0 Kg.	20.0 Kg.
Agua de diseño	190 l	190 l.
Relación agua/cemento	0.475	0.475
Viscocrete 3330	1.5 Kg.	1.5 Kg.
Acelerante de fragua V-LOX (BASF)	2.5 Gl. (9.45 l.)	-
Acelerante de fragua SIGUNIT L-30 PE (SIKA)	-	2.2 Gln. (8.32 l)
<b>PARAMETROS ESTADO FRESCO DE LA MEZCLA EN MINA</b>		
Asentamiento en planta (pulg)	1.5 Pulg.	1.5 Pulg.
Agua aproximada real en mina	75 l.	75 l.
<b>PARAMETRO ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA</b>		
Resistencia a 24 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	94.5Kg/cm <sup>2</sup>	115.6 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 24 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	106.4 Kg/cm <sup>2</sup>	123.3 Kg/cm <sup>2</sup>
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	100.45 Kg/cm <sup>2</sup>	119.45 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Geomecánica Chungar

### 6.11.2. Pruebas de Fragua

Entre los cambios y mejoras en el diseño, el principal ha sido en la utilización de un aditivo superplastificante de alto rango con el fin de mantener la homogeneidad de la pasta y su viscosidad en el tiempo para que no se pierda la trabajabilidad y manutención de la mezcla, ya que actualmente las distancias en mina son mayores que en un inicio. Actualmente contamos como aditivo para mantener estos requerimientos al Viscocrete 3330.

Sin embargo en la búsqueda de nuevos retos y la mejora continua, se está llevando a cabo una serie de ensayos con aditivos que puedan brindarnos una mayor mantención en el tiempo y a la vez reducción del agua de diseño, esto con la finalidad de obtener resistencias iniciales mayores en un 20% a 30% a las obtenidas actualmente, y buscar el diseño con mayor performance al brindarnos el poder reducir el tiempo de fragua en la mezcla para vía húmeda sin alterar significativamente el precio actual por metro cúbico del concreto.

#### a) **Características de los aditivos empleados:**

Como primera etapa se realizaron los ensayos con los aditivos propuestos por la empresa Sika Perú SA

**El VISCOCRETE 3330** – aditivo usado actualmente - Es un aditivo superplastificante de alto rango para climas fríos de aspecto

líquido, color marrón y densidad =  $1.07 \pm 0.01 \text{kg/l}$  no contiene cloruros.

***Ventajas:***

- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Incrementa las altas resistencias iniciales (producción de prefabricados)
- Alta impermeabilidad
- Menor relación agua – cemento
- Reduce el agua hasta en un 30%..
- Aumenta la durabilidad del concreto.
- Reduce la exudación y segregación.
- Aumenta la cohesión del concreto.
- Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero.
- Comportamiento mejorado de contracción y deslizamiento.
- Reduce la carbonatación del concreto.

- Permite e acuerdo a dosis empleada realizar disparos en menos horas, para un mejor avance en proyectos mineros.

El **VISCOCRETE 1110** – Aditivo Superplastificante con retardo -

Es un aditivo superplastificante con retardo, de aspecto líquido, color marrón, densidad =  $1.06 \pm 0.02$ kg/l; no contiene cloruros. Actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades: Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).

- Concreto para climas cálidos y/o sometidos a trayectos largos o espera antes de su utilización.
- Incrementa la resistencia inicial debido a que se reduce el porcentaje de agua de mezclado.
- Menor relación agua – cemento.
- Reduce la exudación y segregación.
- Mejora la contracción y plasticidad.

El **SIKATARD PE** - Aditivo estabilizador de la hidratación del cemento - Es un aditivo con densidad: 1.1 Kg/l.

***Propiedades:***

- Es un aditivo desarrollado para controlar la hidratación del cemento. De esta forma, las mezclas de concreto pueden estabilizarse durante largos períodos de tiempo sin perder su calidad.
- Se utiliza principalmente para la estabilización de concretos proyectados por vía húmeda en trabajos de obras subterráneas, alargando su tiempo de trabajabilidad.
- Es ideal para concretos en tiempos calurosos.
- Para mantener el Slump y la no hidratación de la mezcla en trayectos o jornadas largas de colocación del concreto.
- Estabiliza el agua de lavado para los camiones de pre-mezclado en las plantas concreteras.
- Con la utilización del aditivo estabilizador SikaTard PE se consigue un concreto enormemente fluidificado, retrasando al mismo tiempo la hidratación del cemento durante un período de tiempo que depende de la dosificación de aditivo utilizada. La mezcla de concreto fresco permanece estable durante el tiempo

de retraso, mantenimiento constante su trabajabilidad y la calidad del mismo.

- Su efecto es distinto al de los retardados de fraguado tradicionales, los cuales se limitan a frenar fuertemente la hidratación del cemento. El concreto proyectado por vía húmeda estabilizado con el aditivo SikaTard PE, se activa inmediatamente cuando entra en contacto con un aditivo acelerante de fraguado, de forma que se reanude de nuevo la hidratación de la mezcla sin caída en las resistencias requeridas.
- En el concreto fresco en tiempos calurosos prolonga su tiempo de trabajabilidad.
- Contrarresta los efectos de la pérdida de trabajabilidad en el concreto, en tiempos calurosos y/o trayectos largos.

## **b) Ensayos y resultados**

Se llevaron a cabo ensayos a nivel laboratorio como una primera etapa. Las relaciones agua/cemento y los porcentajes de dosificación de aditivos se varió así como también una ligera variación en la cantidad de arena por metro cúbico, pero tratando de mantener trabajabilidad, manejabilidad, contrarrestar que la hidratación del cemento se realice en menor tiempo y elevar la resistencia inicial.

De los ensayos realizados se obtuvieron los siguientes resultados:

### CUADRO 12: COMPRESIÓN UNIAXIAL – PROBETAS CILÍNDRICAS

<b>ADITIVOS SIKA PERU - REDUCCION DE FRAGUA 2011</b>				
Tipo de Diseño	DV3330-1 Relación: 0.44	DV1110-1 Relación: 0.44	DV3330-2 Relación: 0.44	DV1110-2 Relación: 0.44
<b>DOSIFICACION DE PLANTA</b>				
Cantidad de cemento	400 Kg.	400 Kg.	400 Kg.	400 Kg.
Agregado seco - grad. 2	1610 Kg.	1610 Kg.	1610 Kg.	1610 Kg.
Fibra metálica 65/35	20.0 Kg.	20.0 Kg.	20.0 Kg.	20.0 Kg.
Agua de diseño	176 l.	176 l.	176 l.	176 l.
Relación agua/cemento	0.44	0.44	0.44	0.44
Viscocrete 3330	2.675 Kg. (0.67%)	-	2.675 Kg. (0.67%)	-
Viscocrete 1110	-	2.724 Kg. (0.681%)	-	2.724 Kg. (0.681%)
<b>PARAMETROS ESTADO FRESCO DE LA MEZCLA</b>				
Asentamiento o slump (pulg)	8 1/2" Pulg.	7 1/4 Pulg.	8 Pulg.	7 1/2 Pulg.
Temperatura del concreto (°c)	14.5	14	14	14
Adición de agua para obtención de slump	0.00 l.	0.00 l.	0.00 l.	0.00 l.
<b>PARAMETRO ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA</b>				
Resistencia a la 24 horas (kg/cm <sup>2</sup> )	114 Kg/cm <sup>2</sup>	99 Kg/cm <sup>2</sup>	128 Kg/cm <sup>2</sup>	110 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 2 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	134 Kg/cm <sup>2</sup>	119 Kg/cm <sup>2</sup>	139 Kg/cm <sup>2</sup>	122 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 3 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	253 Kg/cm <sup>2</sup>	206 Kg/cm <sup>2</sup>	251 Kg/cm <sup>2</sup>	226 Kg/cm <sup>2</sup>

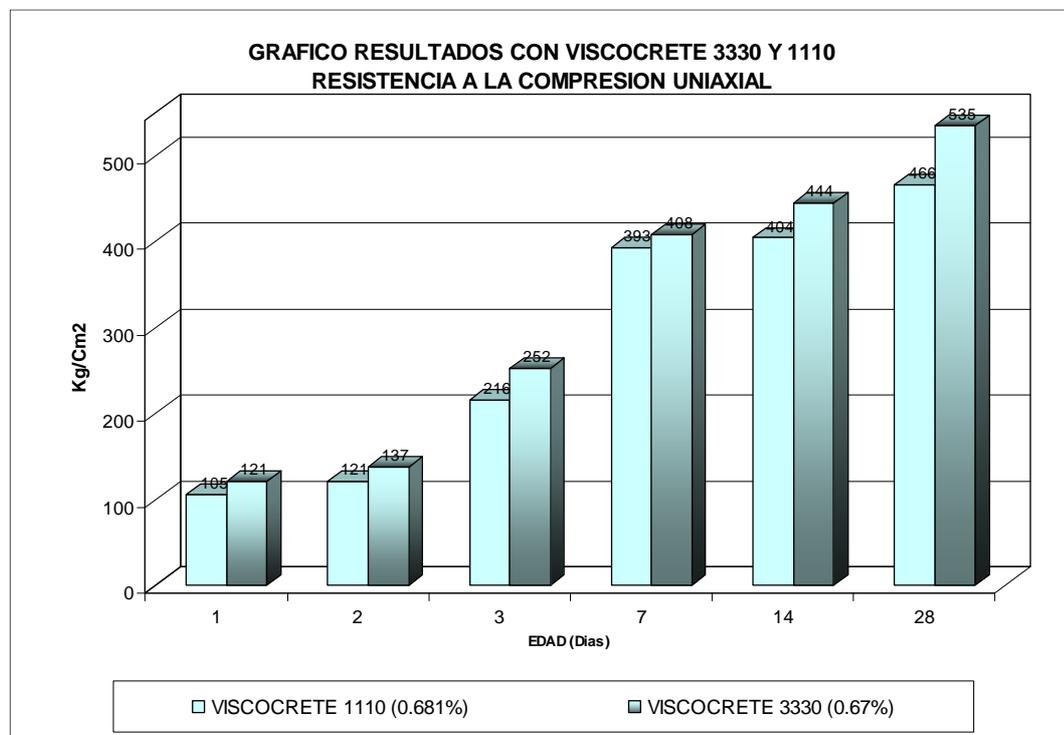
Resistencia a 7 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	406 Kg/cm <sup>2</sup>	376 Kg/cm <sup>2</sup>	410 Kg/cm <sup>2</sup>	380 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 14 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	441 Kg/cm <sup>2</sup>	399 Kg/cm <sup>2</sup>	446 Kg/cm <sup>2</sup>	409 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 28 días promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	529 Kg/cm <sup>2</sup>	460 Kg/cm <sup>2</sup>	540 Kg/cm <sup>2</sup>	472 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Geomecánica Chungar

### c) Promedio de resultados obtenidos en las pruebas.

#### LABORATORIO PLANTA DE CONCRETO

RESULTADOS CON VISCOCRETE 3330 Y 1110		
Resistencia a la Compresion Uniaxial		
Kg/cm2		
EDAD Dias	VISCOCRETE 1110 (0.681%)	VISCOCRETE 3330 (0.67%)
1	105	121
2	121	137
3	216	252
7	393	408
14	404	444
28	466	535



Fuente: Geomecánica Chungar

Los resultados de las pruebas en mina, y de superficie se encuentran en el Anexo 2.

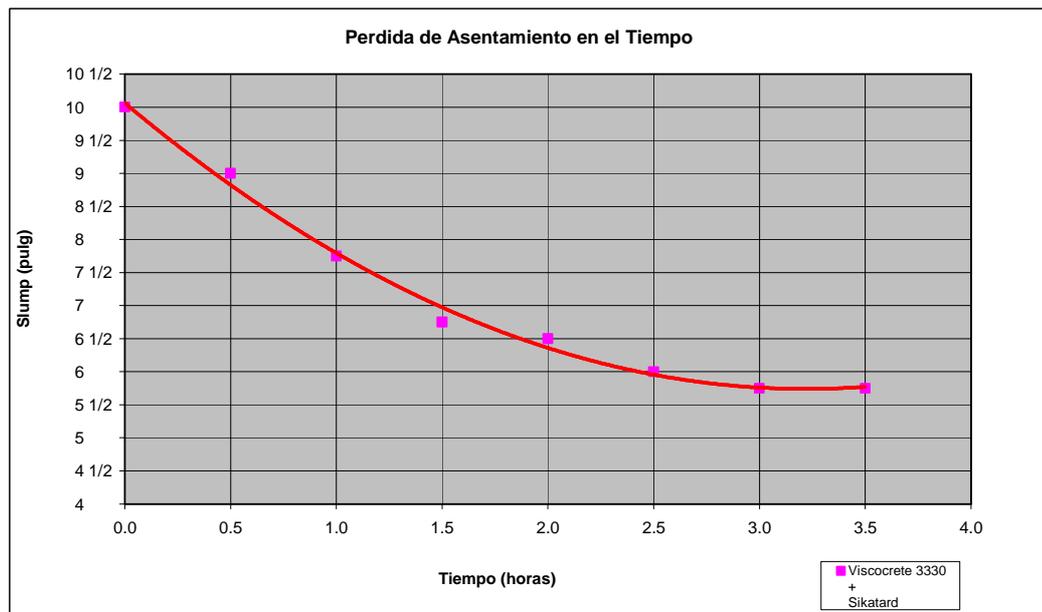
### CUADRO 13: ASENTAMIENTO DE FRAGUA-VISCOCRETE 3330 (SIKATARD)

CIA MINERA VOLCAN - UO CHUNGAR S.A.C. Laboratorio - Control de Calidad			
Tiempo (horas)	Viscocrete 3330 + Sikatard	Perdida de Asentamiento	Perdida de Asentamiento
0.0	10	0	0
0.5	9	1	1
1.0	7 3/4	1 1/4	2 1/4
1.5	6 3/4	1	3 1/4
2.0	6 1/2	1/4	3 1/2
2.5	6	1/2	4
3.0	5 3/4	1/4	4 1/4
3.5	5 3/4	0	4 1/4

Características del Ensayo	
Tipo de mezcla	Via humeda
Aditivos	V3330+Sikatard
Hora inicio	10:19
% Viscocrete 3330	0.67
% Sikatard	0.20

Fuente: Geomecánica Chungar



Fuente: Geomecánica Chungar

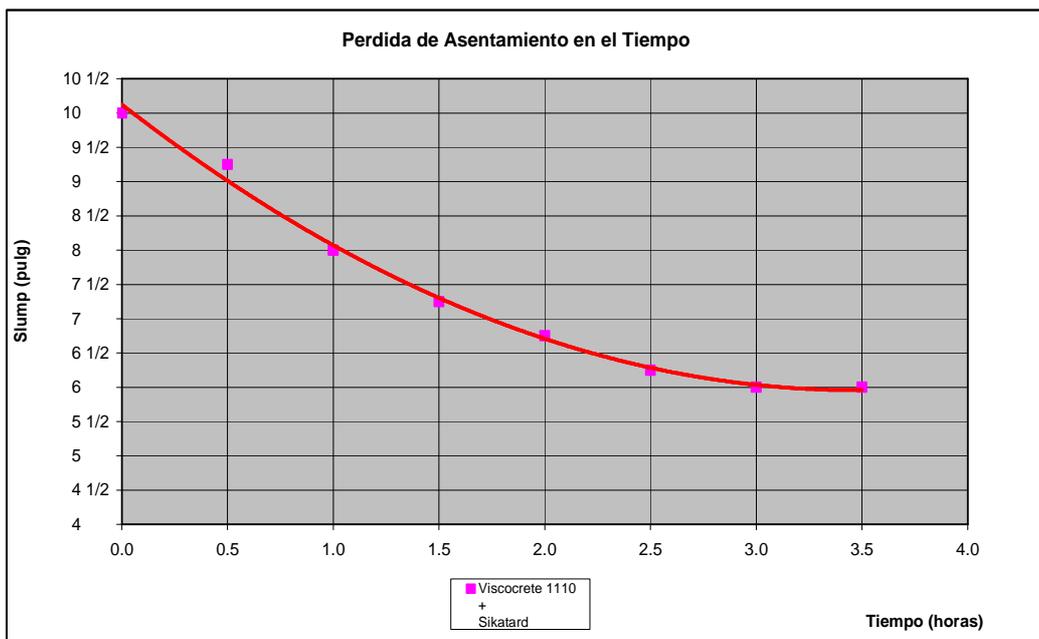
## CUADRO 14: ASENTAMIENTO DE FRAGUA-VISCOCRETE 1110 (SIKATARD)

CIA MINERA VOLCAN - UO CHUNGAR S.A.C. Laboratorio - Control de Calidad			
Tiempo (horas)	Viscocrete 1110 + Sikatard	Perdida de Asentamiento	Perdida de Asentamiento
0.0	10	0	0
0.5	9 1/4	3/4	3/4
1.0	8	1 1/4	2
1.5	7 1/4	3/4	2 3/4
2.0	6 3/4	1/2	3 1/4
2.5	6 1/4	1/2	3 3/4
3.0	6	1/4	4
3.5	6	0	4

Características del Ensayo	
Tipo de mezcla	Via humeda
Aditivos	V1110+Sikatard
Hora inicio	12:19
% Viscocrete 1110	0.73
% Sikatard	0.20

Fuente: Geomecánica Chungar



Fuente: Geomecánica Chungar

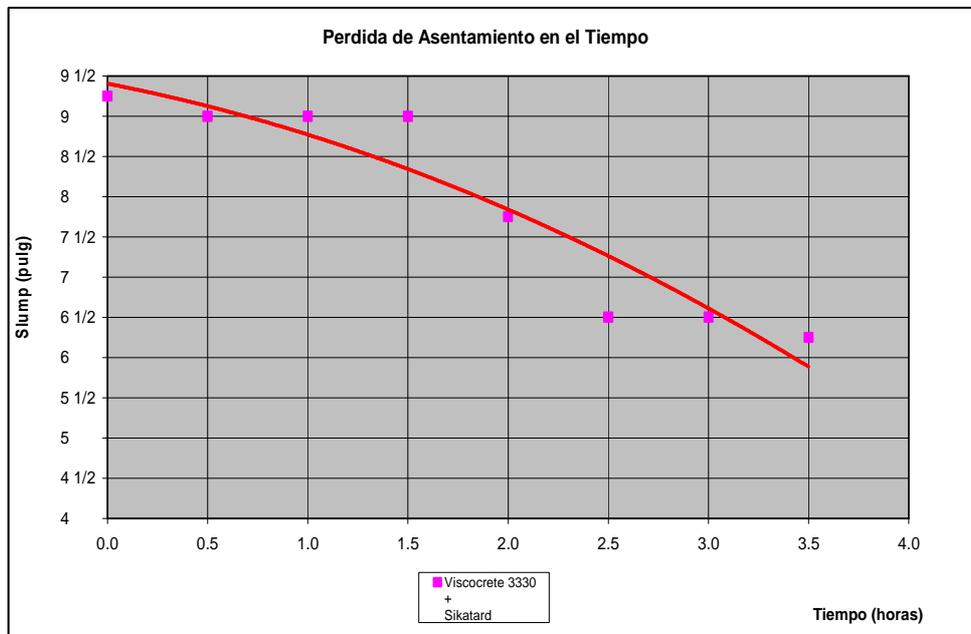
## CUADRO 15: ASENTAMIENTO DE FRAGUA-VISCOCRETE 3330 (SIKATARD)

CIA MINERA VOLCAN - UO CHUNGAR S.A.C.  
Laboratorio - Control de Calidad

Tiempo (horas)	Viscocrete 3330 + Sikatard	Perdida de Asentamiento	Perdida de Asentamiento
0.0	9 1/4	0	0
0.5	9	1/4	1/4
1.0	9	0	1/4
1.5	9	0	1/4
2.0	7 3/4	1 1/4	1 1/2
2.5	6 1/2	1 1/4	2 3/4
3.0	6 1/2	0	2 3/4
3.5	6 1/4	1/4	3

Características del Ensayo	
Tipo de mezcla	Via humeda
Aditivos	V3330+Sikatard
Hora inicio	08:40
% Viscocrete 3330	0.67
% Sikatard	0.50

Fuente: Geomecánica Chungar



Fuente: Geomecánica Chungar

**d) Pruebas para determinación del volumen de mezcla.**

En los cuadros siguientes se observan los resultados de las pruebas de determinación de volumen de mezcla

 <b>LABORATORIO CONTROL CALIDAD-PLANTA DE CONCRETO</b> Propiedades del Concreto en Estado Fresco y Verificación de Rendimiento						
<b>LCC - PC - 002</b>						
<b>Peticionario :</b>	J. Bardales		<b>Cliente :</b>	CHUNGAR		<b>Guía :</b>
<b>Diseño:</b>	SVH400/0.44 Visocrete 1110		<b>Obra :</b>	Pruebas Laboratorio		<b>Huron :</b> - <b>Volumen :</b> 0.025 <b>Técnico :</b> Miguel Vicente S.
<b>Planta :</b>	Chungar		<b>Diseño :</b>	310 Kg/cm2 a los 7 Dias		
Verificación de Rendimiento						
INSUMOS	Peso Parcial Cargado en Planta	Peso Total Cargado	Volumen Cargado	Peso Unitario Teorico	Peso Unitario Real	Rendimiento
Arena		43.14	0.025	2273	2256	1.01
Piedra 57						
Piedra 67						
Cemento		10				
Filler						
Agua		3.11				
Aditivo 1	2.57 Lt/m3	0.0681				
Aditivo 2						
Fibra		0.5				
<b>Total</b>		56.82	0.03	2273	2256	1.01
Peso Unitario				Slump		
W olla =	3.44 Kg.		7 1/4"			
Vol. Olla =	0.0071 m3		% Aire			
Tara	3.44		4%			
Tara + Concreto	19.46		Temperatura °C			
Peso Concreto	16.02		11 °C			
PU =	$\frac{16.02}{0.0071}$					
PU =	2256 Kg / m3					
Hora de Medición			09:15			
Temperatura Ambiente			5.5°C			

Fuente: Geomecánica Chungar

INSUMOS		Peso Parcial Cargado en Planta	Peso Total Cargado	Volumen Cargado	Peso Unitario Teorico	Peso Unitario Real	Rendimiento
Arena			43.14	0.025	2273	2225	1.02
Piedra 57							
Piedra 67							
Cemento			10				
Filler							
Agua			3.11				
Aditivo 1		2.50 Lt/m3	0.0669				
Aditivo 2							
Fibra			0.5				
<b>Total</b>			56.82	0.03	2273	2225	1.02
<b>Peso Unitario</b>				<b>Slump</b>			
W olla = 3.44 Kg.		Vol. Olla = 0.0071 m3		8 1/2"			
Tara 3.44		Tara + Concreto 19.24		<b>% Aire</b>			
Peso Concreto 15.8		PU = $\frac{15.8}{0.0071}$		4%			
PU = 2225 Kg / m3		<b>Temperatura °C</b>				11 °C	
Hora de Medición				09:15			
Temperatura Ambiente				5.5°C			

Fuente: Geomecánica Chungar

### e) Comparativos económicos

Se realizaron comparaciones de la prueba patrón – con VISCOCRETE 3330 – y utilizando el segundo superplastificante, y el retardante. Los resultados se pueden ver en el anexo 2

## 6.12 – Términos Conceptuales

**Gunitar.** Consiste en la puesta en obra de un mortero u hormigón a gran velocidad, que es transportado a través de una manguera y proyectado neumática-mente sobre una superficie.

**Hormigón proyectado.** Es un hormigón cuyo tamaño de áridos es superior a 8mm y que aplicado a máquina se proyecta a gran velocidad sobre una superficie a través de una manguera y boquilla.

**Mortero proyectado.** Es un mortero cuyo tamaño máximo de áridos puede llegar hasta 8mm y que aplicado a máquina, se proyecta a gran velocidad sobre una superficie a través de una manguera y boquilla. También conocido como gunita.

**Hormigón o mortero proyectado joven.** Es aquel hasta una edad de 24 horas.

**Hormigón o mortero proyectado tradicional.** Hormigón o mortero proyectado que utiliza cemento y áridos convencionales y en su caso aditivos y/o adiciones.

**Hormigón y mortero proyectado especial.** Es aquel que utiliza cemento o áridos especiales (cemento aluminoso, áridos ligeros, pesados, refractarios, etc.). En este tipo se consideran los hormigones o morteros refractarios.

**Hormigón y mortero con fibras.** Son aquellos que pueden ser como cualquiera de los dos anteriores, pero que además utiliza fibras como refuerzo para mejorar algunas características físico-mecánicas.

**Rebote.** Material proyectado que no queda incorporado a la superficie a revestir al ser rechazado por ésta.

**Distancia de proyección.** Distancia entre la boquilla de proyección y la superficie a revestir.

**Tenacidad.** Cantidad de energía que absorbe un hormigón o mortero proyectado antes de llegar a la rotura. Su valor es el área encerrada por la curva carga-deformación del ensayo a flexión.

## **CAPITULO VII: ANALISIS**

### **7.1. CONCLUSIONES A LAS PRUEBAS DE ACELERANTES**

- Las pruebas realizadas en la mezcla para vía húmeda, se muestrearon de un mixer tanto para la mezcla con acelerante V-LOX y SIGUNIT L-30, esto con la finalidad de que la mezcla sea la misma sin variación.
- Para las pruebas en vía seca si se tuvo que ingresar a diferentes labores para el muestreo respectivo de paneles.
- En los resultados a compresión en vía húmeda se puede apreciar los valores de resistencia promedio obtenidos con Sigunit L-30 PE a 24 horas, estos son similares a los obtenidos con V-lox, del primer cuadro con un 4.68% mayor que el V-lox y del segundo cuadro comparativo un 4.93% mayor que con V-lox.

- En los resultados a compresión en vía seca, se puede apreciar que los valores de resistencia promedio obtenidos con Sigunit L-30 PE a 24 horas superan en el tercer cuadro en un 19.53% a los obtenidos con V-lox y en el cuarto cuadro supera en un 18.91% con relación a los obtenidos con V-lox.

## 7.2. CONCLUSIONES A LAS PRUEBAS DE FRAGUA

- Los ensayos han sido realizados tomando como referencia el diseño patrón utilizado en la elaboración del concreto lanzado para vía húmeda.

INSUMOS	UND	CANTIDAD
Cemento Andino Tipo 1	Kg/m <sup>3</sup>	400.00
Arena gradación 2	Kg/m <sup>3</sup>	1610.00
Agua de diseño	Litros/m <sup>3</sup>	185.00
Aditivo Viscocrete 3330	Kg/m <sup>3</sup>	2.15 a 2.30
Fibra metálica 65/35	Kg/m <sup>3</sup>	3.00

- Con este diseño se obtiene una relación agua/cemento de: 0.463, valor que se debe reducir para obtener mayores resistencias que las actuales.
- De los ensayos realizados con el Viscocrete 3330 + Sikatard PE y Viscocrete 1110 + Sikatard PE, se determinó que los diseños elaborados con el 1110 presentan mayor trabajabilidad de la

mezcla (véase cuadros de pérdida de asentamiento), pero su resistencia a la compresión uniaxial es menor que los diseños realizados con el viscoconcreto 3330.

- En los cuadros: pruebas para verificar el rendimiento, explica claramente que ambos diseños tanto con viscoconcreto 3330 y con viscoconcreto 1110, se llega a lo especificado por las normas ASTM: valor de volumen entre 0.98 a 1.02 m<sup>3</sup>, esto quiere decir que se está dosificando 1 m<sup>3</sup> real.

## CONCLUSIONES

- Hasta la fecha – noviembre del 2011 – se continúa con las pruebas de campo para la reducción de fragua.
- Las pruebas realizadas en campo lograron una reducción a tres (03) horas del tiempo de fragua; sin embargo estos resultados solo han sido puntuales para las zonas de Veta Principal NV 200, mas no para el resto de zonas.
- Si bien cierto en la zona de Principal Nv 175 se obtuvieron tiempos menores de fragua, el shotcrete ha presentado resquebrajamiento puntuales debido a las condiciones de temperatura (de 28°C a 32°C) y presencia de agua.
- Las pruebas realizadas con mayor detenimiento han sido con una relación agua/cemento de 0.44, valor ideal para obtener resistencias iniciales elevadas como se puede observar en los cuadros de resistencia a la compresión uniaxial.

- Las pruebas de resistencia a la compresión solo se realizan adicionando el aditivo superplastificante, no el retardante, en ensayos a elaborarse en mina se adicionará el retardante SIKATARD PE para verificar su eficacia como se puede visualizar en los cuadros de pérdida de asentamiento.
- Luego de culminado el lote de pruebas con la empresa SIKA PERU, se invitará a las demás empresas proveedoras de aditivos para realizar los mismos ensayos tanto en laboratorio y en mina.

## RECOMENDACIONES

- Para los diseños con Viscocrete 3330 + Sikatard, los valores de resistencia se elevan en un 35% en comparación con los resultados que obtenemos actualmente, sin embargo el costo se eleva, valores que tendrían que evaluarse por el departamento de Costos en su debido momento.
- Existe dentro de los diseños uno que es alternativo en donde la relación agua/cemento se reduce solo a 0.45, con un costo mayor al actual, pero con resistencias por encima del diseño actual en superficie, este diseño tendría que tener un tratamiento especial, esto significa tratar en lo posible que las labores estén listas, la demora por encima de las 3 horas ocasionaría serios problemas en la trabajabilidad de la mezcla.
- Se realizaran pruebas con los demás proveedores de aditivos que existen en el mercado para buscar alternativas en dosificación, mantención de la mezcla y comparación de costos, obteniendo un

lote de diseños propuestos que satisfagan los requerimientos de resistencia inicial y reducción del tiempo de fragua de 4 a 3 horas.

- Adicionalmente a los trabajos se está dando capacitación constante al personal que transporta y coloca el concreto sobre los nuevos aditivos que se emplearán y sus beneficios.
- Para llevar a cabo los trabajos, se indica que sólo se realizara pruebas con aditivos super plastificantes de última generación y retardantes, no se deberá cambiar las dosis del aditivo acelerante de fragua, la dosis utilizada se mantendrá invariable.

## BIBLIOGRAFIA

- HOEK, Evert. & BROWN Ted. Institution of Mining and Metallurgy.  
***Underground Excavations in Rock. USA. 1990.***
- LOPEZ JIMENO, Carlos. ***Manual de Túneles y obras subterráneas.*** Santiago – Chile. 2003. Tomos 1 y 2.
- PASQUEL CARBAJAL, Enrique. Colegio de Ingenieros del Perú.  
***Tópicos en Tecnología del concreto en el Perú.*** Lima – Perú.  
1998
- ACINDAR CONSTRUCCIÓN Y SERVICIO. ***Manual de Fibracero.***  
Lima – Perú. 2005.
- ABRIL, Raúl. Jefe del departamento de geología. Mina Chungar –  
Grupo Volcan
- ALDAVE, Eli. Jefe del departamento de Geomecanica. Mina  
Chungar – Grupo Volcan.
- BARDALES Jimmy, Jefe de la planta de concreto. Mina Chungar –  
Grupo Volcan.

## **ANEXO 1**

**Cuadro de Barton dimensión equivalente**

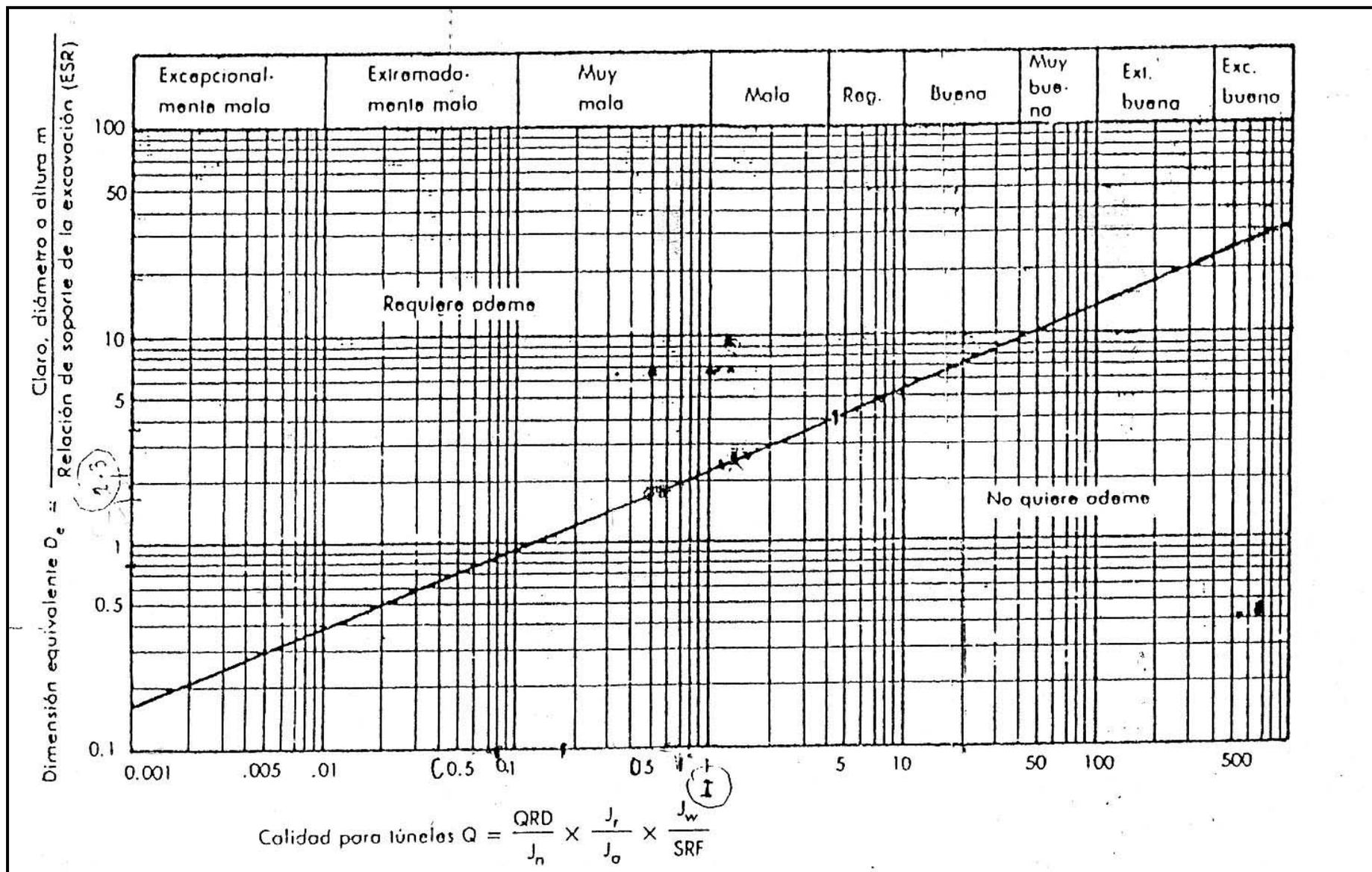
**Clasificación de Barton – NGI**

**Clasificación Bieniawsky – CSIR**

**Tabla de Ábacos de GSI**

**Tablas geomecánicas y tipos de sostenimiento**

**Tablas geomecánicas complementarias**



RELACION DE LA DIMENSION EQUIVALENTE MÁXIMA  $D_e$  DE UNA EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA SIN ADEME Y DEL INDICE Q DE LA CALIDAD PARA TUNELES (NGI) SEGÚN BARTON, LIEN Y LUNDE

## Clasificación Geomecánica de Barton - NGI

### Valor por RQD

Descripción	RQD	Notas
A. Muy mala	0 – 25	1. Donde RQD < 10 (incluso cero) asignar el valor 10.
B. Mala	25 – 50	
C. Regulas	50 – 75	2. Los valores de RQD son suficientes en intervalos de 5. Ejm.: 100, 95, 90. Son suficientemente precisos
D. Buena	75 – 90	
E. Muy buena	90 – 100	

### Valor por sistema de discontinuidades (Jn)

Número de sistemas de fisuras	Jn	Notas
A. Masivo, sin o con pocas fisuras	0.5 - 1.0	1. Para cruces en túneles (3.0* Jn)  2. Para portales utilizar (2.0* Jn)
B. Un sistema de fisuras.	2	
C. Un sistema de fisuras mas una aislada	3	
D. Dos sistemas de fisuras.	4	
E. Dos sistemas de fisuras mas una aislada	6	
F. Tres sistemas de fisuras.	9	
G. Tres sistemas de fisuras más una aislada.	12	
H. Cuatro o más sistemas de fisuras, fisuración, interna, etc.	15	
I. Roca triturada, suelos.	20	

### Valor de rugosidad de las fracturas (Jr)

Descripción	Jr	Notas
<b>a) Contacto en las paredes. y b) Contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10cm.</b>		I. Las descripciones están referidas a caracteres en órdenes de pequeña a mediana escala.  II. Añade 1.0 si espaciamiento promedio de la familia principal es > de 3 m.  III. Jr = 0.5 para juntas lisas y planos con alineaciones orientadas según la dirección del esfuerzo.
A. Fisuras sin continuidad.	4	
B. Rugosas o irregulares, corrugadas.	3	
C. Suaves, corrugación suave.	2	
D. Reliz de falla, o superficie de fricción ondulación*	1.5	
E. Rugosas o irregulares pero planas.	1.5	
F. Lisas y planas.	1.0	
G. Reliz de falla o superficie de fricción* plano.	0.5	
<b>c) Sin contacto de roca después de un cizalleo de 10 cm.</b>		
H. Zona que contiene numerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.	1.0	
I. Zona arenosa, de grava o roca triturada espesor suficiente para impedir el contacto de paredes.	1.0	

## Valor de alteración de las juntas (Ja)

Descripción	Ja	Notas
<b>a) Contacto en las paredes de roca.</b>		
A. Relleno soldado, duro, inablandable, Impermeable.	0.75	I. Los valores de Q El ángulo de fricción residual, se indica como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración si es que están presentes.
B. Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie.	1.0 (25- °35°)	
C. Paredes ligeramente alteradas con recubrimiento de minerales inablandables, partículas arenosas, roca triturada sin arcilla	2.0 (25- 30°)	
D. Recubrimiento limosos o arenosos arcillosos pequeñas partículas de arcilla (inablandable)	3.0 (20°- 25°)	
E. Recubrimiento ablandables o con arcilla de baja fricción o sea kaolinita o mica. También clorita, talco, yeso y grafito, etc. y pequeñas cantidades de arcillas expansivas (recubrimientos sin continuidad de 1-2 mm de espesor o menos).	4.0 (8°- 16°)	
<b>b) Contacto en las paredes antes de un cizalleo de 10 cm.</b>		
F. Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla, etc.	5.0 (25°- 30°)	
G. Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados e inablandables (continuos < 5mm de espesor)	6.0 (16°- 25°)	
H. Rellenos de minerales arcillosos de consolidación media o baja (continuos < 5mm de espesor)	7.0 (8°- 16°)	
J. Rellenos de arcillas expansivas, o sea montomorillonita. (Continuos < 5mm de espesor). El valor J. depende del porcentaje de partículas expansivas y del acceso al agua.	8.0-12.0 (6°-12°)	
<b>c) Sin contacto de las paredes después del cizalleo.</b>		
K. Zonas o capas de roca y arcilla desintegrada.	6.0	
L. o triturada (véase G. H y J para la	8.0	
M. descripción condiciones de arcilla)	0.8-12.0 (6°-24°)	
N. Zonas o capas de arcilla limosa o arenosa. pequeñas fracciones de arcilla (inablandable)	5.0	
Q. Zonas o capas gruesas y condiciones		
P. de arcilla (véase G. H. y J. Para	10.0-13.0	
R. las condiciones de la arcilla	13.0-20.0 (6°-24°)	

### Factor de reducción por agua de las fisuras (Jw)

Descripción	Jw	Presión H2O	Notas
A. Excavación seca o poca infiltración o sea < 5 L/min. localmente	1.0	<1.0	I. Los factores C a F son estimaciones aproximadas. Aumenta Jw si se instalan drenes.  II. Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.
B. Infiltración o presión medianas con lavado ocasional de los rellenos.	0.66	1.0-2.5	
C. Gran infiltración o presión alta en roca competente con juntas sin relleno.	0.50	2.5-10.	
D. Gran infiltración a presión alta. lavado importante de los rellenos.	0.33	2.5-10	
E. Infiltración o presión excepcionalmente altas con las voladuras. disminuyendo con el tiempo	0.2-0.1	>10	
F. Infiltración o presión excepcionalmente altas en todo momento.	0.1-0.05	>10	

### Factor de reducción por esfuerzos ( SRF)

Descripción	Valor SRF
<b>a) Intersección de zonas de debilidad con la excavación, los cuales podrían causar la caída de bloques de roca durante la excavación.</b>	
A) Presencia de múltiples zonas de debilidad con arcillas o roca descompuesta; roca circundante bastante suelta ( cualquier profundidad).	<b>10</b>
B) Zonas de debilidad aisladas con arcilla o roca descompuesta químicamente (profunda de excavación <50 m).	<b>5</b>
C) Zona de debilidad aisladas con arcilla o roca descompuesta químicamente (profundidad de excavación > 50).	<b>2.5</b>
D) Múltiples zonas de cizalla en roca competente sin arcilla, roca suelta circundante (cualquier profundidad).	<b>7.5</b>
E) Zona de cizalla aisladas de rocas competente, sin arcilla (profundidad de excavación < 50).	<b>5.0</b>
F) Zona de cizalla aisladas en roca competente, sin arcilla (prof. de excavación > 50).	<b>2.5</b>
G) Juntas abiertas sueltas, densamente fracturada (cualquier profundidad)	<b>5.0</b>

### Factor de reducción por esfuerzos (RSF)

Descripción	Valor SRF	$\sigma_c / \sigma$	$\sigma_t / \sigma_1$
<b>b) Roca competente: roca con problemas de esfuerzos.</b>			
H) Esfuerzos bajo; cerca de la superficie.	<b>2.5</b>	<b>&gt; 200</b>	<b>&gt; 13</b>
J) Esfuerzo moderado.	<b>1</b>	<b>200 - 10</b>	<b>13 - 0.6</b>
K) Esfuerzo elevado, estructura bastante apretadas; por la general favorable para la estabilidad, podría ser desfavorable para la estabilidad de la pared.	<b>0.5 - 2</b>	<b>10 - 5</b>	<b>0.66 - 0.33</b>
L) Suave estallido de roca (para masiva).	<b>5 - 10</b>	<b>5 - 2.5</b>	<b>0.33 - 0.16</b>
M) Fuerte estallido de roca (roca masiva).	<b>10 - 20</b>	<b>&lt; 2.5</b>	<b>0.16</b>

### Factor de reducción por esfuerzos (SRF)

Descripción	Valor SRF
<b>c) Roca deformable: flujo plástico en roca incompetente bajo elevada presiones del macizo.</b>	
N) Suave presión de deformación.	<b>5 - 10</b>
O) Fuerte presión de deformación.	<b>10 - 20</b>
<b>d) Roca expansiva: expansión química dependiendo de deformación.</b>	
P) Baja presión de expansión.	<b>5 - 10</b>
R) Elevada presión de expansión.	<b>10 - 20</b>

### Notas acerca de SRF

Notas acerca de SRF	
I.	Reducción de valores de SRF de 25 - 50 % si las zonas de fracturas importante s ejercen influencia pero no cruzan la excavación.
II.	Para un campo de esfuerzos virgen, fuertemente anisotrópicos (si es medido): Cuando: $5 \leq \sigma_1 / \sigma_2 \leq 10$ , reduce $\sigma_c$ a $0.8 \sigma_c$ y $\sigma_t$ a $0.8 \sigma_t$ Cuando: Donde $\sigma_c$ = Esfuerzo de no confinada.
III.	Hay pocos casos registrados donde la profundidad del techo sea menor que el ancho del claro. Se sugiere el incremento del SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H)

**Notas Complementarias, cuando se realice el estimado del índice Q siga las instrucciones que complementan a las notas en las tablas:**

1- En caso de no tener testigos de perforación, estimar el RQD en función de la cantidad de juntas o fisuras por unidad de volumen, en la que el número de fisuras o juntas por metro de cada sistema se suman. Una simple relación podrá utilizarse para convertir esta cantidad en RQD para una roca sin arcillas:

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v \text{ (aprox.)}$$

Donde:  $J_v$  = cantidad total de fisuras por M<sup>3</sup>  
(RQD = 100 para  $J_v < 4.5$ )

2- El parámetro  $J_n$  muchas veces estará afectado por filiación, esquistocidad, pizarrosidad o estratificación. Cuando sean conspicuos, deberán considerarse como familia de juntas, en caso contrario tomarla como juntas aisladas.

3- Los parámetros  $J_r$  y  $J_a$  (que representan los esfuerzos de corte) estarán referidos al sistema de juntas más importante o a las discontinuidades con relleno arcilloso. Sin embargo si la familia de juntas o discontinuidades, con valor mínimo se  $J_r / J_a$ . Tiene orientación favorable. Entonces una segunda familia. Con orientación menos favorable resultara tener mayor significado. en cuyo caso se usara su valor mas alto de  $J_r / J_a$  para el calculo de Q.

4- Cuando el macizo rocoso contiene arcilla. Deberá evaluar el factor RSF apropiado para cargas de afloramiento. En tales casos la resistencia de la roca intacta es de poco interés. Sin embargo cuando la facturación es mínima y no existe arcilla, resistencia de la roca intacta podría ser el vinculo mas débil y la estabilidad dependerá entonces de la relación: esfuerzo / resistencia, de la roca. Un campo de esfuerzos fuertemente anisotropica es desfavorable para la estabilidad lo cual se toma en cuenta de manera aproximada en la nota II de la tablado evaluación el factor de reducción del SRF.

5- Las resistencias a la comprensión y tensión ( $\sigma_c$  y  $\sigma_t$ ) de la roca intacta deberá evaluarse en condiciones de saturación si esa será la condición in-situ futura. Un estimado bastante conservador de la resistencia se hara para aquellas rocas susceptibles de deteriorarse en ambientes de humedad o condiciones de saturación.

**CLASIFICACION CSIR DE LOS MACIZOS ROCOSO FISURADOS**

La relación de soporte de la excavación ESR tiene que ver con el uso que se pretende dar a la excavación y hasta donde se le puede permitir cierto grado de inestabilidad. Barton da los siguientes valores propuestos para ESR:

Tipo de Excavación	ESR
A. excavación minera provisional.	3 - 5
B. Excavación minera permanente, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuerta), túneles piloto (exploración), excavación parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
C. Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteras y ferrocarriles pequeños. Cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1.3
D. Casas de maquina, túneles carreteras y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1.0
E. Estaciones núcleo-eléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones fabricas.	0.8
<p>La ESR es más o menos análoga al inverso del “factor de seguridad” empleado en el diseño de talud.</p> <p>La relación entre el índice de calidad para túneles Q y la dimensión equivalente De de una excavación que se sostendrá sin ademe se ilustra en la fig. adjunta. Barton, Lien, y Lunde y Barton, presentaron unas graficas mucho mas complicadas a partir de las cuales se pueden estimar las necesidades del sistema ademe; mediante estas graficas mostradas a continuación.</p>	

### Calidad de Roca Definidas por la Clasificación NGI

CALIDAD DE ROCA	VALOR DE Q
Macizo de calidad excepcionalmente mala	0,0001 - 0,01
Macizo de calidad extremadamente mala	0,01 - 0,1
Macizo de calidad muy mala	0,1 - 1,0
Macizo de calidad mala	1,0 - 4,0
Macizo de calidad regular	4,0 - 10,0
Macizo de calidad buena	10,0 - 40,0
Macizo de calidad muy buena	40,0 - 100,0
Macizo de calidad extremadamente buena	100,0 - 400,0
Macizo de calidad excepcionalmente buena	400,0 - 1000,0

**CLASIFICACIÓN DEL C.S.I.R.**  
(MODIFICADA POR BIENIAWSKI )

**A. PARAMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SU VALUACIÓN.**

PARAMETROS		RANGOS DE VALORES							
1	R.C.S. de la Matriz	Ensaye de carga de punto	>8 Mpa	4 - 8 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	Usar compresión Uniaxial		
		Resistencia a la compresión simple	>200 Mpa	100 - 200 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	10 - 25 Mpa	3 - 10 Mpa	1 - 3 Mpa
	Valuación	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
2	R.Q.D.	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%			
	Valuación	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>			
3	Espaciamiento de fracturas	>3m.	1 - 3m.	0.3 - 1m.	50 - 300mm.	<50mm.			
	Valuación	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>			
4	Condición de fracturas	Superficies muy rugosas sin continuidad, sin separación. Paredes de roca dura.	Superficies algo rugosas. Separación <1 mm. paredes de roca dura.	Superficie ligeramente rugosas. Separación <1 mm. paredes de roc: roca suave.	Superficie lisa o pulida o relleno <5 mm. de espesor a fracturas abiertas 1-5 mm. frac fracturas continuas	Relleno >5 mm. de espesor a fracturas abiertas >5 mm. continuos.			
		Valuación	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>0</b>		
5	Flujo en 10 m de túnel (Lts/min)	Nulo		<25 Lts/min.	25 - 125 Lts./min.	>125 Lts./min.			
	Presión de agua	0		0.0 - 0.2	0.2 - 0.5	>0.5			
	Razón sobre fracturas Esfuer. ppal mayor	Completamente seco		Solo húmedo (intersticios)	Presencia moderada	Severos problemas			
	Condiciones generales								
Valuación	<b>10</b>		<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>				

**B. AJUSTE EN LA VALUACIÓN POR ORIENTACIÓN DE FRACTURAS.**

Orientación de rumbo y echado de fracturas		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

**C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS EN FUNCION DE LA VALUACIÓN TOTAL**

Valuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20
Clase N°	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

**D. SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

Clase N°	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de estabilidad de la labor	10 años para 5 m de luz	6 meses para 4m de luz	1sem. para 3 m de luz	5hrs. para 1.5m de luz	10min. para 0.5m. de luz
Cohesión del macizo rocoso	>300KPa	200 - 300KPa.	150 - 200 KPa.	100 - 150 KPa.	<100 KPa.
Angulo de fricción del macizo rocoso	>45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	<30°

## RESUMEN DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL C.S.I.R.

### A: DESCRIPCIÓN DE LOS ITEM

ITEM	CLASE DESCRIPCIÓN	1 MUY COMPETENTE	2 COMPETENTE	3 MEDIANAMENTE COMPETENTE	4 INCOMPETENTE	5 MUY INCOMPETENTE
1	RQD	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
2	Alteración	Sin alteración	Alteración leve	Moderada alteración	Fuerte alteración	Completamente alterada
3	R.C.S.(Mpa)	>200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	<25
4	Espaciamiento de fracturas	>3 m.	1 m. - 3 m.	0.3 m. - 1 m.	50 mm. - 300 mm.	<50 mm.
5	Separación de fracturas	<0.1 mm.	<0.1 mm.	0.1 mm. - 1.0 mm.	1 mm. - 5 mm.	>5 mm.
6	Continuidad de fracturas	Discontinuas	Discontinuas	Continuas sin estrias	Continuas con estrias	Continuas con estrias
7	Flujo de agua x 10 m.	Nulo	Nulo	Escaso 25 Lts. / min.	Moderado 25 - 125 lts. / min.	Fuerte 125 lts. / min.
8	Orientación de fracturas	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable

### B. VALUACIÓN ASOCIADOS A CADA ITEM

ITEM	PARAMETRO	CLASE				
		1	2	3	4	5
1	RQD	16	14	12	7	3
2	Alteración	9	7	5	3	1
3	Resistencia a la compresión simple	10	5	2	1	0
4	Espaciamiento de fracturas	30	25	20	10	5
5	Separación de fracturas	5	5	4	3	1
6	Continuidad de fracturas	5	5	3	0	0
7	Aguas subterráneas	10	10	8	5	2
8	Orientación de fracturas	15	13	10	5	3

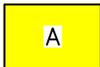
### C. VALUACIÓN FINAL

NUMERO DE CLASE	1	2	3	4	5
Descripción de la clase	Muy Competente	Competente	Medianamente Competente	Incompetente	Muy Incompetente
Valuación Total	100 - 90	90 - 70	70 - 50	50 - 25	<25



**ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO  
SEGUN GSI MODIFICADO CON  
RMR E INDICE Q :**

**LABOR TEMPORAL SECCION ENTRE 10.0 a 20.0 mts.**



**A** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1.5" + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.5 x 1.5 m.



**B** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICO a 1.2 x 1.2 m.



**C** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICO a 1.0 x 1.0 m.



**D** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICO a 1.0x1.0m + MAS CAPA DE SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1".



**E** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.0x1.0m + Sh 2" DE REQUERIR INSTALAR CASTILLOS DE CRIBBING 6 JACK POT.



**F** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 0.80x0.80m + SHOTCRETE 2" DE REQUERIR INSTALAR CASTILLOS DE CRIBBING 6 JACK POT.

**REG: 01 -01**



CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA)



ESTRUCTURA

TABLA GSI

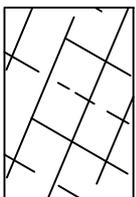
MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)  
DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS (6), SIN RELLENO (6)  
INALTERADAS (6), CERRADAS (6). PERSISTENCIA <1M. (6).  
**(SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA) (15)**

BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)  
DISC. RUGOSAS (5), RELLENO DURO <5mm (4)  
LEV. ALT. (5), ABIERTA <0.01mm (5), PERS. 1a3m (4)  
**(SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE BARRETILLA) (12)**

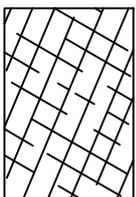
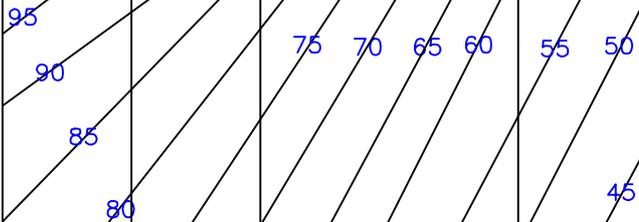
REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.)  
DISC. LIG. RUGOSAS (3), RELLENO DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (3), ABIERTA 0.01a1mm (4), PERS. 3a10m (2)  
**(SE ROMPE CON 1 6 2 GOLPES DE BARRETILLA) (7)**

POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)  
DISC. LISAS (1), RELLENO BLANDO <5mm 6 DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (1), ABIERTO 1a5mm (1), PERS. 10a20m (1)  
**(SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) (4)**

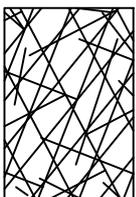
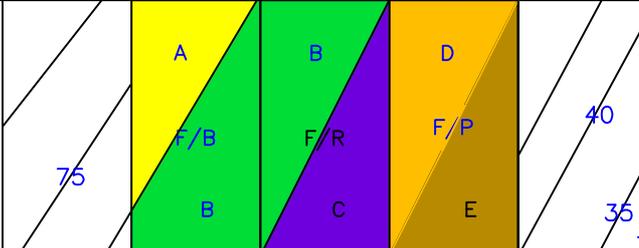
MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA)  
SUPERFICIE PULIDA, FALLA (0), RELLENO BLANDO >5mm (0)  
DESCOMPUESTO (0), ABER >5mm (0), PERS. >20m (0)  
**(SE INDENTA MAS DE 5 mm.) (0 a 2)**



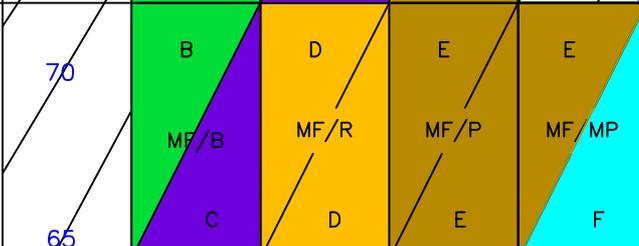
**LEVEMENTE FRACTURADA.**  
TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI.  
(RQD 75 - 90)  
Espc. 0.6 a 2m.  
(2 A 6 FRACT. POR METRO)  
0 (40), 1 (34), 2 (31), 3 (29), 4 (28), 5 (27)



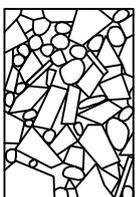
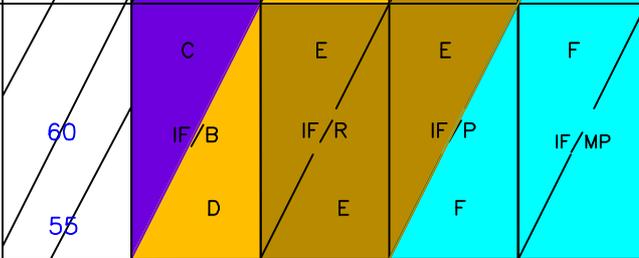
**MODERADAMENTE FRACTURADA.**  
MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES.  
(RQD 50 - 75), espc. 0.2 a 0.6m.  
(6 A 12 FRACT. POR METRO)  
6 (26), 7(25), 8(24), 9(23), 10(22), 11(21), 12(20)



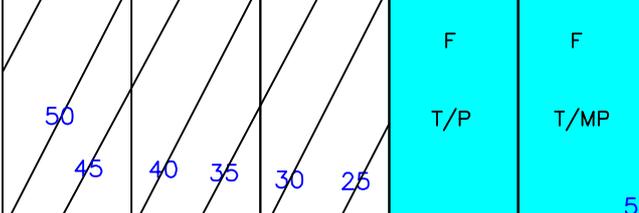
**MUY FRACTURADA.**  
MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS, FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25 - 50)  
(12 A 20 F/m) 0.06 a 0.2m.  
12 (20), 13 (19), 14 (18), 15 y 16 (17)  
17 (16), 18 (15), 19 y 20 (14)



**INTENSAMENTE FRACTURADA.**  
PLEGAMIENTO Y/O FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS, FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES.  
(RQD 0 - 25) espc. 0.06 a 0m.  
(MAS DE 20 FRACT. POR METRO)  
21 y 22 (13), 23 y 24 (12), 25 y 26 (11), 27 y 28 (10)  
29 al 31 (9), 32 a 34 (8), 35 a 39 (7), 40 a 45 (6)



**TRITURADA O BRECHADA.**  
LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS.  
(SIN RQD)

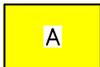


20 15 10 5



**ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO  
SEGUN GSI MODIFICADO CON  
RMR E INDICE Q :**

LABOR TEMPORAL SECCION ENTRE 1.5 A 3.0 mts.



**A** SIN SOPORTE ó PERNOS DE FRICCION 5' INSTALADOS OCACIONALMENTE ó PUNTALES OCACIONALES.



**B** PERNOS DE FRICCION 5' SISTEMATICOS a 1.5 x 1.5 m ó PUNTALES DE SEGURIDAD.



**C** PERNOS DE COMPRESION 5' SISTEMATICOS a 1.5 x 1.5 m. ó PERNOS DE FRICCION 5' + MALLA ó PUNTALES + MALLA.



**D** MALLA + PERNOS DE COMPRESION 5' SISTEMATICOS a 1.5 x 1.5 m ó PUNTALES CON JACK POT a 1.5 m.



**E** MALLA + PERNOS DE COMPRESION 5' SISTEMATICO a 1.2 x 1.2 ó PUNTALES CON JACK POT a 1.2 mts + MALLA.



**F** SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 5' SISTEMATICO a 1.2x1.20m ó CUADROS METALICOS 4"x4"x13

**REG: 01 - 01**



CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA)

↓  
ESTRUCTURA

TABLA GSI

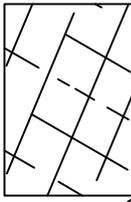
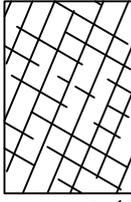
MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)  
DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS (6), SIN RELLENO (6)  
INALTERADAS (6), CERRADAS (6). PERSISTENCIA <1M. (6).  
**(SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA) (15)**

BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)  
DISC. RUGOSAS (5), RELLENO DURO <5mm (4)  
LEV. ALT. (5), ABIERTA <0.01mm (5), PERS. 1a3m (4)  
**(SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE BARRETILLA) (12)**

REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.)  
DISC. LIG. RUGOSAS (3), RELLENO DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (3), ABIERTA 0.01a1mm (4), PERS. 3a10m (2)  
**(SE ROMPE CON 1 ó 2 GOLPES DE BARRETILLA) (7)**

POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)  
DISC. LISAS (1), RELL BLANDO <5mm ó DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (1), ABIERTO 1a5mm (1), PERS. 10a20m (1)  
**(SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) (4)**

MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA)  
SUPERFICIE PULIDA, FALLA (0), RELL. BLANDO >5mm (0)  
DESCOMPUERTO (0), ABER >5mm (0), PERS. >20m (0)  
**(SE INDENTA MAS DE 5 mm.) (0 a 2)**

	<p>95 90 85 80</p>	<p>75 70 LF/R</p>	<p>65 60</p>	<p>55 50</p>	<p>45</p>
	<p>75</p>	<p>A F/B</p>	<p>A F/R</p>	<p>A F/P B</p>	<p>40 35 30</p>
	<p>70 65</p>	<p>A MF/B</p>	<p>A MF/R A</p>	<p>B MF/P C</p>	<p>C MF/MP D 25 20</p>
	<p>60 55</p>	<p>A IF/B</p>	<p>B IF/R C</p>	<p>C IF/P D</p>	<p>D IF/MP E 15 10</p>
	<p>50 45</p>	<p>40 35 30 25</p>	<p>D T/P E</p>	<p>F T/MP</p>	<p>5</p>





**ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO  
SEGUN GSI MODIFICADO CON  
RMR E INDICE Q :**

LABOR TEMPORAL SECCION ENTRE 3.0 A 4.0 mts.



**A**

SIN SOPORTE ó PERNOS DE FRICCION 7' INSTALADOS OCACIONALMENTE.



**B**

PERNOS DE FRICCION 7' SISTEMATICOS a 1.5 x 1.5 m ó SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1.5" ESPESOR.



**C**

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS COMPRESION 7' ó MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICO a 1.5 x 1.5m.



**D**

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.5x1.5m ó MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.2 x 1.2m.



**E**

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.2 x 1.2 m ó MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.0 x 1.0 m.



**F**

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7' SISTEMATICOS a 1.0x1.0m ó SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + CUADROS METALICOS 4"x4"x13

**REG: 01 - 01**



CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA)

↓  
ESTRUCTURA

TABLA GSI

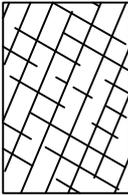
MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)  
DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS (6), SIN RELLENO (6)  
INALTERADAS (6), CERRADAS (6). PERSISTENCIA <1M. (6),  
(SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA) (15)

BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)  
DISC. RUGOSAS (5), RELLENO DURO <5mm (4)  
LEV. ALT. (5), ABIERTA <0.01mm (5), PERS. 1a3m (4)  
(SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE BARRETILLA) (12)

REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.)  
DISC. LIG. RUGOSAS (3), RELLENO DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (3), ABIERTA 0.01a1mm (4), PERS. 3a10m (2)  
(SE ROMPE CON 1 ó 2 GOLPES DE BARRETILLA) (7)

POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)  
DISC. LISAS (1), REL Blando <5mm ó DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (1), ABIERTO 1a5mm (1), PERS. 10a20m (1)  
(SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) (4)

MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA)  
SUPERFICIE PULIDA, FALLA (0), REL. BLANDO >5mm (0)  
DESCOMPUESTO (0), ABER >5mm (0), PERS. >20m (0)  
(SE INDENTA MAS DE 5 mm.) (0 a 2)

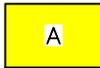
 <p><b>LEVEMENTE FRACTURADA.</b> TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90) Espc. 0.6 a 2m. (2 A 6 FRACT. POR METRO) 0 (40), 1 (34), 2 (31), 3 (29), 4 (28), 5 (27)</p>	<p>95 90 85 80</p>		<p>75 70</p>	<p>65 60</p>	<p>55 50</p>
 <p><b>MODERADAMENTE FRACTURADA.</b> MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75), esp. 0.2 a 0.6m. (6 A 12 FRACT. POR METRO) 6 (26), 7(25), 8(24), 9(23), 10(22), 11(21), 12(20)</p>	<p>75</p>	<p>A F/B</p>	<p>A F/R</p>	<p>A F/P B</p>	<p>40 35 30</p>
 <p><b>MUY FRACTURADA.</b> MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS, FORMADOS POR CUATRO O MAS SITEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25 - 50) (12 A 20 F/m) 0.06 a 0.2m. 12 (20), 13 (19), 14 (18), 15 y 16 (17) 17 (16), 18 (15), 19 y 20 (14)</p>	<p>70 65</p>	<p>A MF/B</p>	<p>A MF/R</p>	<p>B MF/P D</p>	<p>C MF/MP D</p>
 <p><b>INTENSAMENTE FRACTURADA.</b> PLEGAMIENTO Y/O FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS, FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25) esp. 0.06 a 0m. (MAS DE 20 FRACT. POR METRO) 21 y 22 (13), 23 y 24 (12), 25 y 26 (11), 27 y 28 (10) 29 al 31 (9), 32 a 34 (8), 35 a 39 (7), 40 a 45 (6)</p>	<p>60 55</p>	<p>A IF/B B</p>	<p>B IF/R</p>	<p>C IF/P D</p>	<p>E IF/MP D</p>
 <p><b>TRITURADA O BRECHADA.</b> LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p>	<p>50 45 40 35 30 25</p>			<p>E T/P F</p>	<p>F T/MP</p>

20 15 10 5



## ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO CON RMR E INDICE Q :

LABORES PERMANENTES SECCION ENTRE 3.0 A 5.0 m.



A

PERNOS DE FRICCION 7' INSTALADOS OCACIONALMENTE  
6 SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1".



B

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7'  
SISTEMATICO a 1.8 x 1.8 m.



C

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7'  
SISTEMATICO a 1.5 x 1.5 m.



D

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7'  
SISTEMATICO a 1.2 x 1.2 m + SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1"



E

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7'  
SISTEMATICO a 1.0 x 1.0 m + SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1".



F

SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7'  
SISTEMATICO a 1.0x1.0m + SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2"  
6 Sh ESTRUCTURAL 2" + CUADROS METALICOS 6"x6"x20.

REG: 01 - 01



CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA)

ESTRUCTURA

TABLA GSI

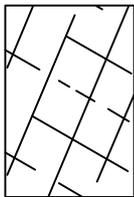
MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)  
DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS (6), SIN RELLENO (<6)  
INALTERADAS (6), CERRADAS (6). PERSISTENCIA <1M. (6),  
(SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA) (15)

BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)  
DISC. RUGOSAS (5), RELLENO DURO <5mm (4)  
LEV. ALT. (5), ABIERTA <0.01mm (5), PERS. 1a3m (4)  
(SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE BARRETILLA) (12)

REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.)  
DISC. LIG. RUGOSAS (3), RELLENO DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (3), ABIERTA 0.01a1mm (4), PERS. 3a10m (2)  
(SE ROMPE CON 1 6 2 GOLPES DE BARRETILLA) (7)

POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)  
DISC. LISAS (1), REL Blando <5mm 6 DURO >5mm (2)  
MOD. ALT. (1), ABIERTO 1a5mm (1), PERS. 10a20m (1)  
(SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) (4)

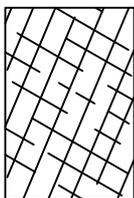
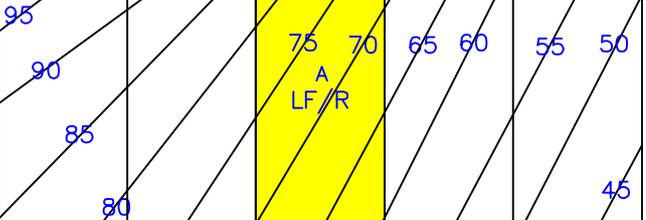
MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA)  
SUPERFICIE PULIDA, FALLA (0), REL. BLANDO >5mm (0)  
DESCOMPUERTO (0), ABER >5mm (0), PERS. >20m (0)  
(SE INDENTA MAS DE 5 mm.) (0 a 2)



### LEVEMENTE FRACTURADA.

TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI.  
(RQD 75 - 90) (RMR: 61 - 80)  
Esp. 0.6 a 2m.  
(2 A 6 FRACT. POR METRO)

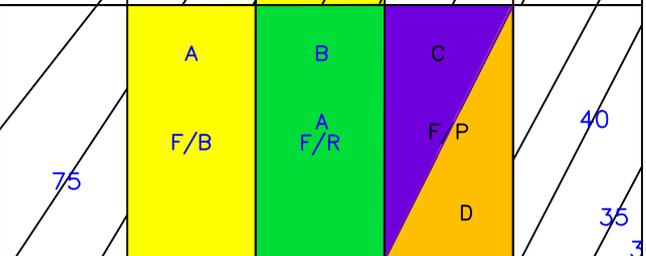
0 (40), 1 (34), 2 (31), 3 (29), 4 (28), 5 (27)



### MODERADAMENTE FRACTURADA.

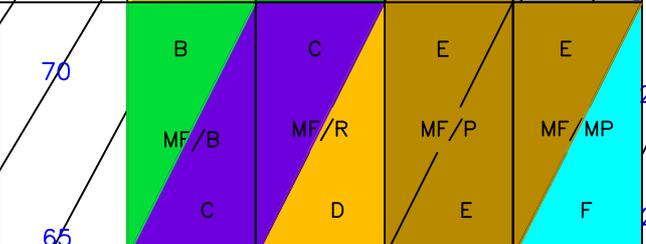
MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES.  
(RQD 50 - 75), esp. 0.2 a 0.6m.  
(6 A 12 FRACT. POR METRO)

6 (26), 7(25), 8(24), 9(23), 10(22), 11(21), 12(20)



### MUY FRACTURADA.

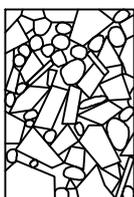
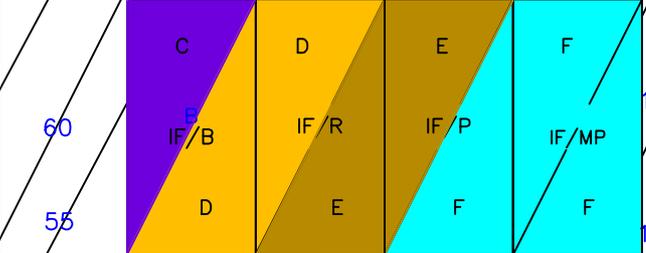
MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS, FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25 - 50)  
(12 A 20 F/m) 0.06 a 0.2m.  
12 (20), 13 (19), 14 (18), 15 y 16 (17)  
17 (16), 18 (15), 19 y 20 (14)



### INTENSAMENTE FRACTURADA.

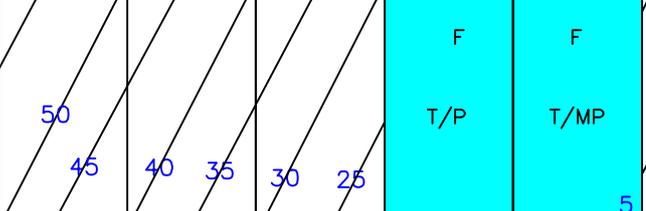
PLEGAMIENTO Y/O FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS, FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES.  
(RQD 0 - 25) esp. 0.06 a 0m.  
(MAS DE 20 FRACT. POR METRO)

21 y 22 (13), 23 y 24 (12), 25 y 26 (11), 27 y 28 (10)  
29 al 31 (9), 32 a 34 (8), 35 a 39 (7), 40 a 45 (6)



### TRITURADA O BRECHADA.

LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS.  
(SIN RQD)



20 15 10 5



## ESTANDARES DE SOSTENIMIENTO SEGUN GSI MODIFICADO CON RMR E INDICE Q :

LABOR TEMPORAL SECCION ENTRE 4.0 A 10.0 mts.



SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1.5" + PERNOS DE COMPRESION 7" EN BOVEDA SISTEMATICOS a 1.8 x 1.8 m ó MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICOS a 1.5 x 1.5 m.



SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICOS a 1.5x1.5m ó MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICO a 1.2 x 1.2 m.



SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICO a 1.2 x 1.2 m.



SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICO a 1.0x1.0m + DRENES CON PERNOS DE FRICCION.



SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICOS a 1.2 x 1.2 m + SHOTCRETE ESTRUCTURAL 1".



SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2" + MALLA + PERNOS DE COMPRESION 7" SISTEMATICOS a 1.0x1.0m + SHOTCRETE ESTRUCTURAL 2"; DE REQUERIR SE INSTALARA SPILIG BAR.

REG: 01 -01



CONDICION SUPERFICIAL (RESISTENCIA)

↓  
ESTRUCTURA

TABLA GSI

MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS (6), SIN RELLENO (6), INALTERADAS (6), CERRADAS (6), PERSISTENCIA <1M. (6), <b>(SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA) (15)</b>	BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISC. RUGOSAS (5), RELLENO DURO <5mm (4) LEV. ALT. (5), ABIERTA <0.01mm (5), PERS. 1a3m (4) <b>(SE ROMPE CON 3 O MAS GOLPES DE BARRETILLA) (12)</b>	REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.) DISC. LIG. RUGOSAS (3), RELLENO DURO >5mm (2) MOD. ALT. (3), ABIERTA 0.01a1mm (4), PERS. 3a10m (2) <b>(SE ROMPE CON 1 ó 2 GOLPES DE BARRETILLA) (7)</b>	POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) DISC. LISAS (1), RELLENO BLANDO <5mm ó DURO >5mm (2) MOD. ALT. (1), ABIERTO 1a5mm (1), PERS. 10a20m (1) <b>(SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) (4)</b>	MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA, FALLA (0), RELLENO BLANDO >5mm (0) DESCOMPUERTO (0), ABER >5mm (0), PERS. >20m (0) <b>(SE INDENTA MAS DE 5 mm.) (0 a 2)</b>
	95 90 85 80	75 70	65 60	55 50
	75	A F/B	A F/R	C F/P
	70 65	A MF/B	B MF/R	D MF/P
	60 55	B IF/B	C IF/R	E IF/P
	50 45	C D	D E	F IF/MP
	50 45	40 35	30 25	F T/P
				F T/MP
				5



## TABLA GEOMECÁNICA Y TIPO DE SOSTENIMIENTO - MINA CHUNGAR

REG: 01-01

Codigo de Colores	Tipo de Roca	Descripción	Valuación Índice Q		SOSTENIMIENTO
			De	A	
Blanco	I - III	Excep.-Muy Buena	50	1000	Sin Sostenimiento
Amarillo (A)	IV	Buena	10	50	Según Sección de Excavación
Verde (B)	V	Regular	5	10	Según Sección de Excavación
Violeta (C)	VI	Mala	1	5	Según Sección de Excavación
Beige (D)	VII	Muy Mala	0.1	1	Según Sección de Excavación
Marrón (E)	VIII	Extremad. Mala	0.1	0.01	Según Sección de Excavación
Celeste (F)	IX	Excepcional. Mala	0.01	0.001	Según Sección de Excavación

### LABORES TEMPORALES SECCIÓN ENTRE 1.5 A 3.0 m.

Codigo de Colores

TIPO DE SOSTENIMIENTO

A	Sin soporte o Pernos de Fricción 5' instalados ocasionalmente o Puntales ocasionales
B	Pernos de Fricción 5' sistemáticos a 1.5x1.5m ó Puntales de Seguridad
C	Pernos de Compresión 5' sistemáticos a 1.5x1.5m. ó Pernos de Fricción 5' + Malla ó Puntales + Malla.
D	Malla + Pernos de Compresión 5' sistemáticos a 1.5x1.5m ó Puntales con Jack Pot a 1.5m.
E	Malla + Pernos de Compresión 5' sistemáticos a 1.2x1.2m o Puntales con Jack Pot a 1.2m. + Malla.
F	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 5' Sistemáticos a 1.2x1.2 ó Cuadros Metálicos 4"x4"x13.

### LABORES TEMPORALES SECCIÓN ENTRE 3.0 A 4.0 m.

Codigo de Colores

TIPO DE SOSTENIMIENTO

A	Sin soporte o Pernos de Fricción 7' instalados ocasionalmente
B	Pernos de Fricción 7' Sistemáticos a 1.5x1.5m o Shotcrete Estructural 1.5" espesor.
C	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' ó Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.5x1.5m.
D	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.5x1.5m ó Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.2x1.2m.
E	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.2x1.2m ó Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.0x1.0m.
F	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.0x1.0m + Sh 1" ó Sh Estructural 2" + Cuadros metálicos 4"x4"x13.

### LABORES TEMPORALES SECCIÓN ENTRE 4.0 A 10.0 m.

Codigo de Colores

TIPO DE SOSTENIMIENTO

A	Shotcrete Estructural 1.5" + Pernos de Compresión 7' en Bóveda sistemáticos 1.8x1.8m ó Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.5x1.5m.
B	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 1.5x1.5m ó Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.2x1.2m.
C	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.2x1.2m.
D	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 1.0x1.0m + mas drenes con Pernos de Fricción.
E	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 1.2x1.2m + Shotcrete Estructural 1".
F	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 1.0x1.0m + Shotcrete Estructural 2"; de requerir se instalará Spilig Bar.

### LABORES TEMPORALES SECCIÓN ENTRE 10.0 A 20.0 m.

#### Codigo de Colores

#### TIPO DE SOSTENIMIENTO

A	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.5x1.5m.
B	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.2x1.2m.
C	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.0x1.0m.
D	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 1.0x1.0m + mas capa de Shotcrete Estructural 1".
E	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 1.0x1.0m + Sh 2" de requerir instalar castillos de Cribbing ó Jack Pot.
F	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos 0.80x0.80m + Sh 2" de requerir instalar castillos de Cribbing ó Jack Pot.

### LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 1.8 A 3.0 m.

#### Codigo de Colores

#### TIPO DE SOSTENIMIENTO

A	Sin soporte o Pernos de Fricción 5' instalados ocasionalmente.
B	Pernos de Fricción 5' Sistemáticos a 1.5x1.5m ó Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Fricción 5' en Bóveda.
C	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 5' sistematicos a 1.5x1.5m.
D	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 5' sistematicos a 1.2x1.2m.
E	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 5' sistematicos a 1.0x1.0m + Shotcrete Estructural 1"
F	Shotcrete Estructural 2" + Cimbras ó Shotcrete Estructural + Túnel Linner.

### LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 3.0 A 5.0 m.

#### Codigo de Colores

#### TIPO DE SOSTENIMIENTO

A	Pernos de Fricción 7' instalados ocasionalmente ó Shotcrete Estructural 1".
B	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' Sistemáticos a 1.8x1.8m.
C	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' Sistemáticos a 1.5x1.5m.
D	Shotcrete Estructural 2" + Pernos de Compresión 7' Sistemáticos a 1.2x1.2m + Shotcrete Estructural 1".
E	Shotcrete Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.0x1.0m + Shotcrete Estructural 1".
F	Sh. Estructural 2" + Malla + Pernos de Compresión 7' sistemáticos a 1.0x1.0m + Sh Estructural 2" ó Sh. Estructural 2" + Cuadros Metálicos 6"x6"x20.

#### LEYENDA

Pernos de Fricción	Split Set
Pernos de Compresión	Hydrabolt ó Swellex
Puntales de Seguridad	Puntales de madera de 8" a 10" de diámetro.
Shotcrete Estructural	Shotcrete con Fibra Metálica 20 Kg/m3.
Malla	Malla Electro-soldada codada 2"x2".
Cuadros Metálicos	Cimbras Metálicas de 4"x4"x13 Libras por pie ó de 6"x6"x 20 Libras por pie.
Jack Pot	Puntales de madera de 8" a 10" de diámetro con Platos Inflables a presión hidráulica.
Túnel Linner	Segmentos de Planchas acanaladas en forma circular.
Spiling Bar	Hydrabolt Instalados en la corona del frente de avance.

## TABLAS GEOMECÁNICAS PARA CALIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

**TABLA N° 1  
GRADO DE ALTERACIÓN**

<b>Roca</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Características</b>
Muy poco Alterado	<b>A<sub>1</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microscópicamente no existe indicios de alteración física y química de los minerales.</li> <li>• Los minerales presentan brillo.</li> <li>• Alteración incipiente con decoloración original de la roca</li> <li>• Se rompe difícilmente al golpe del martillo.</li> <li>• Los fragmentos poseen bordes cortantes que resisten a ser cortados por una lámina de acero</li> </ul>
Medianamente Alterado	<b>A<sub>2</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minerales medianamente alterados</li> <li>• Los minerales generalmente no presentan brillo</li> <li>• Materiales de alteración ocultan el color original de la roca</li> <li>• Se rompe con relativa facilidad al golpe del martillo</li> <li>• Los fragmentos poseen bordes cortantes que pueden ser cortados por una lámina de acero</li> </ul>
Muy Alterada	<b>A<sub>3</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los minerales se presentan pulverulentos y totalmente sin brillo.</li> <li>• Se rompe fácilmente al golpe del martillo.</li> <li>• Los bordes de los fragmentos pueden ser quebrados por la presión de los dedos.</li> <li>• Una lámina de acero hace un surco acentuado en la superficie del fragmento.</li> </ul>
Extremadamente Alterada	<b>A<sub>4</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suelo como producto de la alteración de la roca.</li> <li>• La estructura de la roca madre es preservada.</li> </ul>

Fuente: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (1972).

<sup>a</sup>4: Semana Paulista de Geología Aplicada.

**TABLA N° 2****GRADO DE COHERENCIA**

<b>Roca</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Características</b>
Muy Coherente	<b>C<sub>1</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se quiebra con dificultad a los golpes del martillo.</li><li>• El fragmento posee bordes cortantes que resisten al corte de una lámina de acero.</li><li>• Superficie difícilmente rayable por una lámina de acero.</li></ul>
Coherente	<b>C<sub>2</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se quiebra con relativa facilidad a los golpes del martillo.</li><li>• El fragmento posee bordes cortantes que pueden ser cortados por una lámina de acero.</li><li>• Superficie rayable por una lámina de acero</li></ul>
Poco Coherente	<b>C<sub>3</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se quiebra fácilmente a los golpes del martillo.</li><li>• Los bordes del fragmento pueden ser quebrados por la presión de los dedos.</li><li>• Una lámina de acero produce un surco acentuado en la superficie del fragmento.</li></ul>
Quebradiza	<b>C<sub>4</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se pulveriza al golpe del martillo.</li><li>• Se deshace con la presión de los dedos.</li></ul>

**TABLA N° 3**

**GRADO DE RESISTENCIA**

<b>Roca</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Resistencia</b> (kg/cm <sup>2</sup> )
Muy Resistente	<b>R<sub>1</sub></b>	> 1200
Resistente	<b>R<sub>2</sub></b>	1200 - 600
Poco Resistente	<b>R<sub>3</sub></b>	600 - 300
Blanda	<b>R<sub>4</sub></b>	300 - 100
Muy Blanda	<b>R<sub>5</sub></b>	< 100

Fuente: Ídem Tabla N° 1.

**TABLA N° 4**

**GRADO DE FRACTURACIÓN**

<b>Símbolo</b>	<b>Espaciamiento entre Fracturas</b>
F <sub>1</sub> (maciza)	> 3 m
F <sub>2</sub> (poco fracturada)	1 - 3 m
F <sub>3</sub> (medianamente fracturada)	0.30 - 1 m
F <sub>4</sub> (muy fracturada)	0.05 - 0.30 m
F <sub>5</sub> (fragmentada)	< 0.05

Fuente Engineering Classification of in situ Rock - Beere D.U. - 1969

**TABLA N° 5**

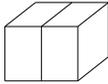
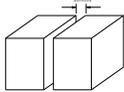
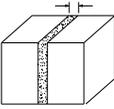
**GRADO DE PERSISTENCIA**

Símbolo	Descripción	Persistencia (Continuidad de la Discontinuidad)
P1	muy baja	< . 1 m.
P2	baja	1 - 3 m.
P3	mediana	3 - 10 m
P4	alta	10 - 20 m.
P5	muy alta	> 20 m.

Fuente: International Society for Rock Mechanics - Committee on Field Tests - Document N° 4, 1977.

**TABLA N° 6**

**“APERTURA” DE DISCONTINUIDADES**

A) CERRADA	
B) ABIERTA	
C) RELLENA	

Fuente: International Soc. for Rock Mechanics - Committee on Field Tests Document n°4, 1977

**TABLA N° 7**

**INDICE DE CALIDAD DE ROCAS (RQD)**

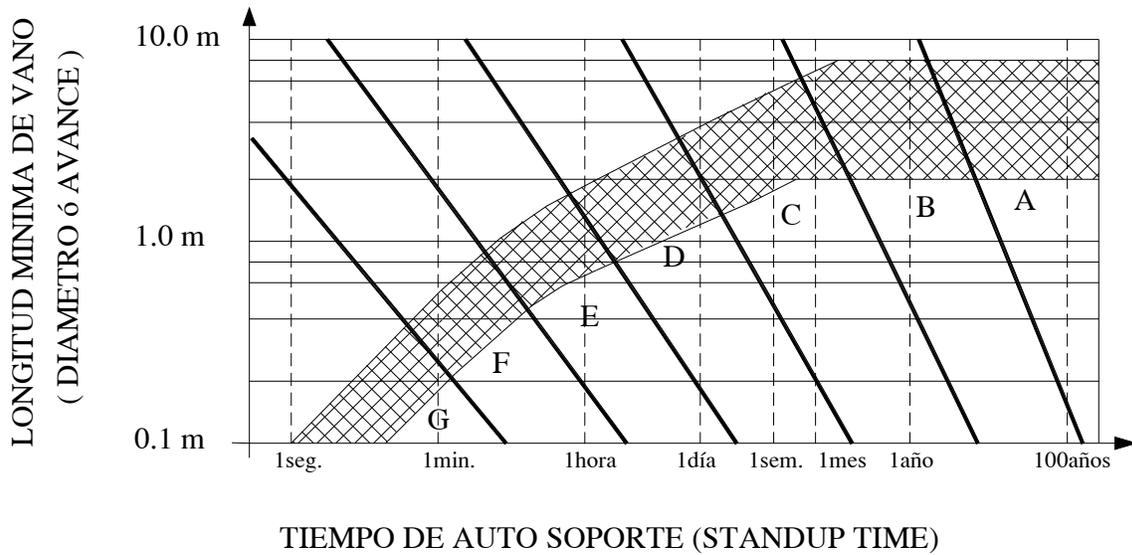
Índice de Calidad (RQD) %	Calidad del Macizo Rocoso
0 – 25	Muy malo
25 – 50	Malo
50 – 75	Regular
75 – 90	Bueno
90 - 100	Excelente

Fuente Ídem Tabla N° 4

**TABLA N° 8**

**CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS**

**PARA TÚNELES (SEGÚN LAUFFER)**



Tipo de Roca	Calidad de Roca	Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	Índice de Calidad de Roca	Probable Tiempo de Auto Soporte	Soporte Provisionales Requeridos
A	Compacta, alta resistencia, discontinuidades muy espaciadas	1,120 - 2.240	> 90 %	Decenas de años	Ninguno
B	Maciza, resistencia mediana	560 - 1,120	> 75 %	Meses a años	Ninguno a Muy ligero
C	Foliada o estratificada alta resistencia, moderadamente fracturada	1,120 - 2,240	> 60 %	Semanas a meses	Ligero
D	En bloques, resistencia mediana, muy fracturada	560 - 1,120	> 50 %	Días a semanas	Ligero a moderado
E	En bloques y agrietada, resistencia baja, muy estratificada y fracturada	280 - 560	> 40 %	Horas a días	Pesado
F	Muchos bloques y agrieta, baja resistencia	280 - 560	> 25 %	Minutos y horas	Pesado
G	Expansiva y compresible muy baja, resistencia, extremadamente fracturada y cizallada	< 280	< 25 %	Segundos a minutos	Muy pesado, Con blindaje

**ANEXO 2**

**Resultados de muestras de superficie**

**Resultados de muestras de mina**

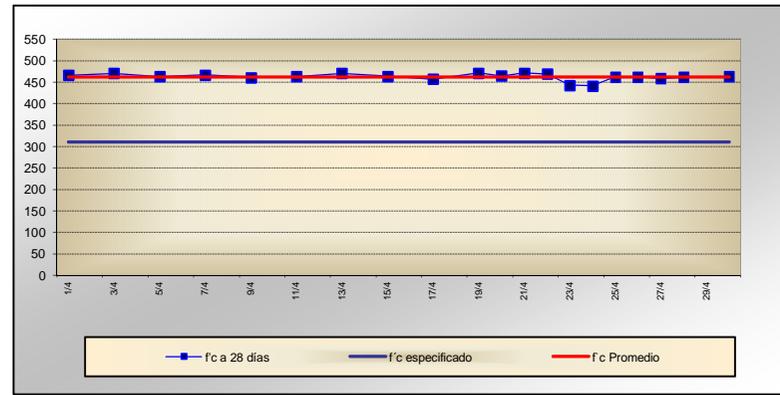
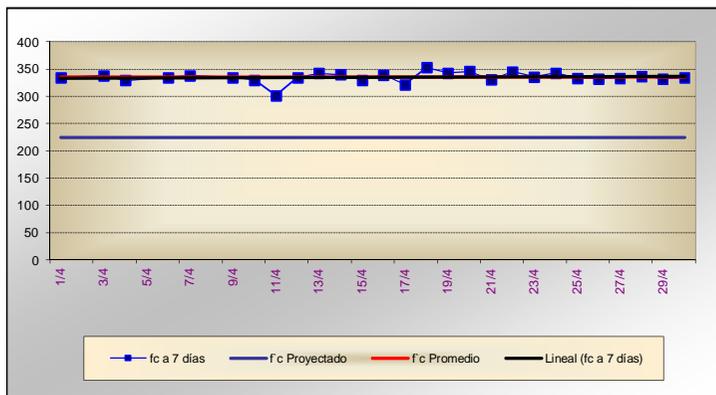
**Comparativos económicos**





## TENDENCIA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE SUPERFICIE A 7 Y 28 DIAS

PLANTA : <b>PLANTA DE CONCRETO - CHUNGAR - GEOMECANICA</b> RESISTENCIA NOMINAL : <b>310 Kg/Cm2</b> CODIGO DE DISEÑO : <b>310CL</b>							FACTOR 7D/28D : <b>0.72</b> RESISTENCIA PROYECTADA A 7 DIAS : <b>224.6 Kg/Cm2</b> CANTIDAD DE CEMENTO/M³ : <b>400 Kg</b>							
EDAD : 7 DIAS							EDAD : 28 DIAS							
RESISTENCIA PROMEDIO : <b>335.19 Kg/Cm2</b> DESVIACIÓN ESTANDAR : <b>9.27 Kg/Cm2</b> Nº DE MUESTRAS : <b>27</b> TENDENCIA: <b>A</b>							RESISTENCIA PROMEDIO : <b>462.7 Kg/Cm2</b> DESVIACIÓN ESTANDAR : <b>8.1 Kg/Cm2</b> Nº DE MUESTRAS : <b>20</b> TENDENCIA: <b>A</b>							
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/Cm2)							RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/Cm2)							
UBICACIÓN	FECHA	M - 1	M - 2	PROMEDIO	RANGO DE VARIACION MAX.	PORCENTAJE DE RESISTENCIA	UBICACIÓN	FECHA	M - 1	M - 2	PROMEDIO	PROMEDIO CONSECUTIVO	RANGO DE VARIACION MAX.	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
Nivel 310 Acc - 600	1-abr-11	333	336	334.5	0.90	107.9								
Nivel 175 Camara 4	3-abr-11	335	342	338.5	2.07	109.2								
Nivel 200 Acc. 600	4-abr-11	332	327	329.5	1.52	106.3	Nivel 200 Tajo 300 Elva	5-abr-11	465.0	461.0	463.0	466.7	0.86	149.4
Nivel 200 Bypass 200	6-abr-11	334	336	335.0	0.60	108.1								
Nivel 225 Tajo 300 Elva	7-abr-11	342	335	338.5	2.07	109.2								
Nivel 175 Tajo 200 Lorena	9-abr-11	336	334	335.0	0.60	108.1								
Nivel 200 Tajo 200	10-abr-11	334	326	330.0	2.42	106.5								
Nivel 200 Tajo 100 Principal	11-abr-11	302	301	301.5	0.33	97.3								
Nivel 200 Tajo 200 Principal	12-abr-11	334	336	335.0	0.60	108.1								
Nivel 200 Tajo 600 P	13-abr-11	344	341	342.5	0.88	110.5								
Nivel 225 Acc. 500	14-abr-11	341	339	340.0	0.59	109.7								
Nivel 150 Tajo 200 Lorena	15-abr-11	328	332	330.0	1.21	106.5								
Nivel 225 S/N 600	16-abr-11	337	341	339.0	1.18	109.4								
Nivel 200 Camara 600	17-abr-11	322	321	321.5	0.31	103.7								
Nivel 225 Tajo 400 Elva	18-abr-11	347	359	353.0	3.40	113.9								
Nivel 225 Tajo 600 Carmen	19-abr-11	346	340	343.0	1.75	110.6	Nivel 200 Acc. 600	25-abr-11	460.0	465.0	462.5	449.0	1.08	149.2
Nivel 150 Tajo 500	20-abr-11	345	347	346.0	0.58	111.6								
Nivel 150 Camara 23	21-abr-11	327	334	330.5	2.12	106.6	Nivel 200 Bypass 200	27-abr-11	450.0	468.0	459.0	461.3	3.92	148.1
Nivel 225 Tajo 400 Elva	22-abr-11	342	349	345.5	2.03	111.5	Nivel 225 Tajo 300 Elva	28-abr-11	456.0	467.0	461.5	461.0	2.38	148.9
Nivel 225 Tajo 400 Carmen	23-abr-11	340	332	336.0	2.38	108.4	Nivel 175 Tajo 200 Lorena	30-abr-11	470.0	457.0	463.5	461.3	2.80	149.5
Nivel 225 Tajo 400 Elva	24-abr-11	346	340	343.0	1.75	110.6								0.0
Nivel 150 Acc.300	25-abr-11	329	338	333.5	2.70	107.6								0.0
Nivel 200 Tajo 100 V.P	26-abr-11	329	336	332.5	2.11	107.3								0.0
Nivel 150 Acc 100	27-abr-11	327	340	333.5	3.90	107.6								0.0
Nivel 150 Bypass 175	28-abr-11	338	336	337	0.59	108.7								0.0
Nivel 150 Bypass 175 Principal	29-abr-11	328	336	332	2.41	107.1								0.0
Nivel 200 Tajo 00	30-abr-11	335	333	334	0.60	107.7								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0
						0.0								0.0



**COSTOS Prueba # 1****Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 3330 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 3330 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 3330 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1610	0.0109	17.55	17.55
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	2.675	4.24	9.75	11.34
Hiperplastificante Visc 1110 (Kg)	-	-	2.77	-	-
Controlador de hidratacion (Kg)	-	2	2.86	-	5.72
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.0137	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>138.26</b>

7.31

**COSTOS Prueba # 2****Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 1110 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1610	0.01	17.55	17.55
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	-	4.24	9.75	-
Hiperplastificante Visc 1110 (Kg)	-	2.5	2.77	-	6.93
Controlador de hidratacion (Kg)	-	1.98	2.86	-	5.66
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.01	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>133.78</b>

2.84

09/03/2011

**COSTOS Prueba # 3****Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 1110 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1610	0.0109	17.55	17.55
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	-	4.24	9.75	-
Hiperplastificante Visc 1110 (Kg)	-	2.675	2.77	-	7.41
Controlador de hidratacion (Kg)	-	1.98	2.86	-	5.66
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.0137	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>134.27</b>

3.32

10/03/2011

**COSTOS Prueba # 4****Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 1110 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1610	0.01	17.55	17.55
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	-	4.24	9.75	-
Hiperplastificante Visc 1110 (Kg)	-	2.5	2.77	-	6.93
Controlador de hidratacion (Kg)	-	1.98	2.86	-	5.66
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.01	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>133.78</b>

2.84

**COSTOS Prueba # 5**
**Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 1110 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1610	0.0109	17.55	17.55
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	-	4.24	9.75	-
Hiperplastificante Visc 1110 (Kg)	-	2.7	2.77	-	7.48
Controlador de hidratacion (Kg)	-	0.7	2.86	-	2.00
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.0137	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>130.68</b>

2050.3      2051.4

-0.27

**COSTOS Prueba # 6**
**Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 1110 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 1110 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1595	0.01	17.55	17.39
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	-	4.24	9.75	-
Hiperplastificante Visc 1110 (Kg)	-	2.7	2.77	-	7.48
Controlador de hidratacion (Kg)	-	0.7	2.86	-	2.00
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.01	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>130.51</b>

2050.3      2036.4

-0.43

**COSTOS Prueba # 6**
**Patrón Vs. Aditivo Viscocrete 3330 + Sikatard**

	Vía Húmeda Visc 3330	Vía Húmeda Visc 3330 + Sikatard	Precio	Total Vía Húmeda Visc 3330	Total Vía Húmeda Visc 3330 + Sikatard
ITEM	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	US\$/Kg	US\$/m <sup>3</sup>	US\$/m <sup>3</sup>
Cemento (Kg)	400	400	0.13	52.00	52.00
Arido (Kg) (1.06m3)	1610	1595	0.01	17.55	17.39
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	2.3	-	4.24	9.75	-
Hiperplastificante Visc 3330 (Kg)	-	1.665	4.24	-	7.06
Controlador de hidratacion (Kg)	-	1	2.86	-	2.86
Acelerante alcalino (Kg)	18	18	1.01	18.25	18.25
Fibra de acero 65/35 (Kg)	20	20	1.67	33.40	33.40
<b>Diferencia en costos</b>				<b>130.95</b>	<b>130.95</b>

2050.3      2035.665

0.00

### **ANEXO 3**

**Ensayos para determinar la calidad del Concreto y Shotcrete**

**Resumen grafico de ensayo de fibras**

## **ENSAYOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LA FIBRA EN EL SHOTCRETE**

- 1- Determinación de la tenacidad por flexión del concreto reforzado con fibras usando vigas prismáticas pequeñas cortadas y cargadas en el tercio central, norma ASTM C 1018-04. Se realiza en vigas.
- 2- Determinación de la tenacidad: Energía absorbida: a la flexión de concreto reforzado con fibra usando panel cuadrado cargado centralmente – Norma EFNARC (Europea). Panel con dimensiones de 60 cm. de largo X 60 cm. de ancho X 10 cm., de espesor.
- 3- Determinación de la tenacidad: Energía absorbida por flexión del concreto reforzado con fibra aplicando una carga central en paneles redondos. Norma ASTM C – 1550-08. Este ensayo consiste en cargar un espécimen circular de 800 mm. de diámetro y 75 mm. de espesor el cual es apoyado sobre 3 apoyos de cuña ubicados simétricamente.

## **ENSAYOS PARA SHOTCRETE – NORMAS ACI – INSTITUTO DEL CONCRETO AMERICANO**

1. ACI 506.3R-91: Guía para la certificación o aprobación del shotcrete – Aspectos generales.
2. ACI 506.4R-94: Guía para la evaluación del shotcrete – Ensayos.
3. ACI 544.1R-96: Estudio del concreto reforzado con fibras.
4. ACI 201.2R-01: Guía para la durabilidad del Concreto.
5. ACI 506R-90: Guía del shotcrete.
6. ACI 506.1R-98: El shotcrete reforzado con fibras.
7. ACI 506.2-95: Especificaciones para el shotcrete.

## **ENSAYOS PARA SHOTCRETE – NORMA EFNARC – EUROPEA**

1. Especificaciones europeas para el concreto proyectado.
2. Documentación para especificaciones y contratos.
3. Ejecución del lanzado o proyectado.
4. Lineamientos para el concreto proyectado.

## **ENSAYOS DE CALIDAD EN AGREGADOS – NORMAS ASTM**

1. ASTM C136: Análisis granulométrico por tamizado.
2. ASTM C128: Peso específico y absorción.
3. ASTM C29: Peso unitario seco y compactado.
4. ASTM C566: Contenido de humedad.
5. ASTM C117: Material pasante la malla 200 (74  $\mu$ m).
6. ASTM C702: Cuarteo de agregados.
7. ASTM D75: Muestreo de agregados.

## **ENSAYOS DE CALIDAD EN EL CONCRETO – NORMAS ASTM**

1. ACI 211: Diseño de mezcla.
2. ASTM C138: Peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire.
3. ASTM C231: Contenido de aire de la mezcla de concreto (método Washington).
4. ASTM C192: Elaboración y curado del concreto en laboratorio.
5. ASTM C39/42: Compresión o rotura de probetas y testigos diamantinos.
6. ASTM C1064: Temperatura del concreto fresco.
7. ASTM C143: Asentamiento del concreto fresco (Slump).
8. ASTM C172: Toma de muestras del concreto fresco.
9. ASTM C42: Extracción, tallado y ensayo de testigos diamantinos.

## **ENSAYOS DE CALIDAD AL AGUA – ENSAYOS QUIMICOS – NORMAS ASTM**

1. ASTM D516: Contenido de sulfatos.
2. ASTM D512: Contenido de cloruros.

ENERGIA ABSORVIDA LOSAS CIRCULARES  
RESULTADOS ENSAYOS DE TENACIDAD

Deflexion (mm)	ENERGIA ABSORVIDA (JOULE)													
	A1	A2	Promedio	B1	B2	Promedio	C1	C2	Promedio	D1	D2	Promedio	E1	Promedio
	DRAMIX 45/35 LHO			SIKAFIBER 65/35 CHO			SIKAFIBER 45/35 LHO			SIKAFIBER MS POLIPROPILENO			MASTERFIBER PS 50 POLIPROPILENO	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	76	96	86	106	116	111	142	109	125	88	71	80	67	67
20	119	156	137	167	187	177	229	173	201	128	101	114	117	117
30	147	199	173	206	229	218	280	211	245	148	115	132	155	155
40	165	223	194	231	284	258	307	234	271	159	121	140	185	185
50	176	230	203	248	270	259	323	247	285	165	185	175	206	206

LEYENDA:

A1 y A2 FIBRA DRAMIX 45/35 LHO  
 B1 y B2 FIBRA SIKAFIBER 65/35 CHO  
 C1 y C2 FIBRA SIKAFIBER 45/35 LHO  
 D1 y D2 FIBRA POLIPROPILENO SIKAFIBER MS  
 E1 FIBRA POLIPROPILENO MASTERFIBER PS 50

OBSERVACION: LA DEFLEXION QUE SE TOMA PARA OBTENER LA ENERGIA DE ABSORCION EN JOULES ES 40 MM

