

## CAPITULO VI

### 6.- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

Ensayos estándares para la determinación de las propiedades Físico-Mecánicas de las rocas.

#### 6.1.- LABORATORIO

##### 6.1.1.- PROPIEDADES FÍSICAS

La determinación de las Propiedades Físicas se basa, en el establecimiento de los Pesos Natural, Seco y Saturado, y el volumen de probetas rocosas y/o minerales.

El **Peso Natural** de acuerdo al ISRM (Society International For Rock Mechanic's), de la muestra debe tener como mínimo 50 grs., El **Peso Seco** se determina, mediante el secado de las probetas dentro de un horno ventilado a una temperatura promedio entre 105° - 110°C, El **Peso Saturado**, se obtiene sumergiendo a la probeta en agua destilada.

Para determinar dichos pesos se lleva un registro periódico de los pesos, el lapso de secado y saturado de las muestras rocosas se obtiene aproximadamente en 48 horas, determinado cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas no exceda de 0.01 grs.

El Volumen de la probeta rocosa y/o mineral a ser ensayada se determina mediante probetas simétricas y/o probetas irregulares, mediante el principio de Arquímedes, en el caso particular de probetas irregulares.

Las relaciones matemáticas que definen las propiedades físicas son:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \quad (\text{gr/cm}^2)$$

$$\text{Peso específico Aparente (P.E.a.)} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \times 9.81 \quad (\text{KN/m}^3)$$

$$\text{Porosidad Aparente (P.a.)} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{w \times \text{Volumen}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{Absorción (en peso)} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100 \quad (\%)$$

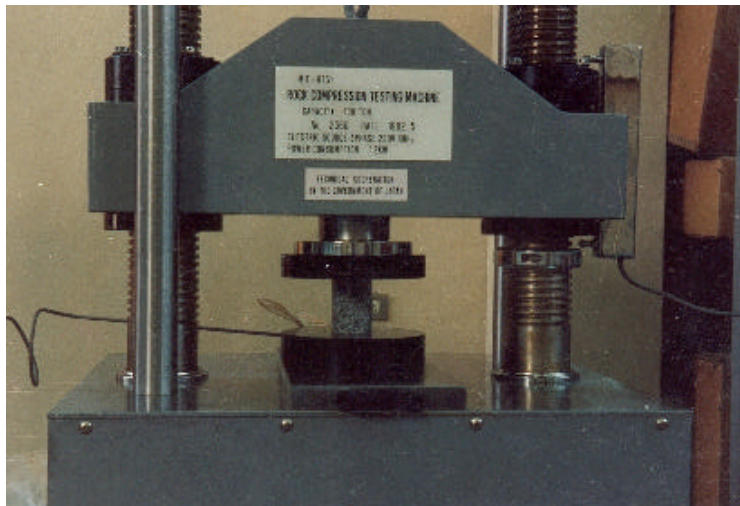
Donde:

$\rho_w$  = Densidad del agua (gr/cm<sup>3</sup>).

## 6.1.2.- PROPIEDADES MECANICAS

### 6.1.2.1.- ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Denominado también ensayo de **Compresión Uniaxial**, este ensayo consiste en aplicar cargas compresivas axiales cada vez mayores, a probetas rocosas y/o minerales cilíndricas, hasta producir su rotura, como se aprecia en la **Foto N° 19**.



**Foto N° 19**

#### 6.1.2.1.1.- RELACIÓN DE ESBELTEZ:

La probeta rocosa y/o mineral a ser ensayada debe tener la siguiente relación:

$$L/D = 2$$

Donde:

L = Longitud de la probeta (cms).

D = Diámetro de la probeta (cms).

#### 6.1.2.1.2.- FACTOR DE CORRECCIÓN DE PROTODYAKONOV:

Cuando la relación de esbeltez es  $L/D \geq 2$ , se puede aplicar el factor de Corrección de Protodyakonov, cuya relación matemática es la siguiente:

$$s_c = \frac{8s_c}{7+2D/L}$$

Donde:

do = Resistencia Compresiva uniaxial con L/D = 2.

dc = Resistencia Compresiva uniaxial con L/D ? 2.

L = Longitud de la Probeta.

D = Diámetro de la Probeta.

### 6.1.2.1.3.- FACTOR DE CORRECCION DE OVERT DUVALL

Cuando la relación de esbeltez es L/D ? 2, se puede aplicar el factor de corrección dado por Overt Duvall – 1981 (Rock Mechanics and the desing of Structures in Rock):

$$s_c = \frac{s_0}{0.778+0.222D/L}$$

Donde:

do = Resistencia Compresiva uniaxial con L/D = 1.

dc = Resistencia Compresiva uniaxial con 2 >L/D >1/3.

L = Longitud de la Probeta.

D = Diámetro de la Probeta.

### 6.1.2.1.4.- FÓRMULA MATEMÁTICA:

$$dc = P/A$$

Donde:

dc= Resistencia Compresiva de la roca y/o mineral en (Kg/cm²).

P = Carga última de rotura de la probeta (Kg).

A = Area de la probeta (cm²).

En algunos casos se aplica el [procedimiento de Protodyakonov](#), para la determinación de la Resistencia Compresiva de probetas irregulares, basado en la teoría estadística del “t” de Student, cuyas muestras rocosas y de minerales se preparan teniendo en cuenta la relación de esbeltez (L/D = 1”), a mayor cantidad de muestras ensayas mayor será el grado de confiabilidad.

Estos ensayos por su fácil determinación se pueden ejecutar en máquinas de compresión de rocas de laboratorios de resistencia materiales y/o mecánica de suelos.



**P** = Carga última de rotura de la probeta (Kg).  
**D** = Diámetro de la probeta (cm).  
**L** = Longitud de la probeta (cm).  
**p** = Constante.

### 6.1.2.3.- ENSAYO PARA DETERMINAR CONSTANTES ELASTICAS

Es igual al ensayo de compresión uniaxial y/o simple, con la adición de que durante la aplicación de la carga axial compresiva se miden las deformaciones unitarias axiales “**e<sub>A</sub>**” (acortamiento longitudinal) y diametrales “**e<sub>D</sub>**” (expansión lateral).

Las constantes elásticas “**E**” (Modulo de Deformación) y “**?**” (Relación de Poisson) están definidas por las siguientes formulas matemáticas:

$$E = \frac{S_1}{e_A}$$

$$n = \frac{e_D}{e_A}$$

Donde:

**E** = Modulo de Deformación y/o de Elasticidad.  
**?** = Relación de Poisson.  
**d<sub>1</sub>** = 50% de la Resistencia Compresiva.  
**e<sub>D</sub>** = Deformación Unitaria Diametral.  
**e<sub>A</sub>** = Deformación Unitaria Axial.

Estos valores corresponden al 50% de la Resistencia Compresiva o carga de rotura (**d<sub>1</sub>** = 0.5 **d<sub>c</sub>**). El modulo de deformación es el secante.

### 6.1.2.4.- ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL

#### 6.1.2.4.1.- ENSAYO DE CARGA PUNTUAL “FRANKLIN”

El ensayo de carga puntual denominado también “**Diametral**” se ejecuta sobre muestras de roca y/o mineral por lo general sobre testigos de perforaciones de raise boring, teniendo en consideración el estándar del ISRM, como se aprecia en la Foto N° 21.

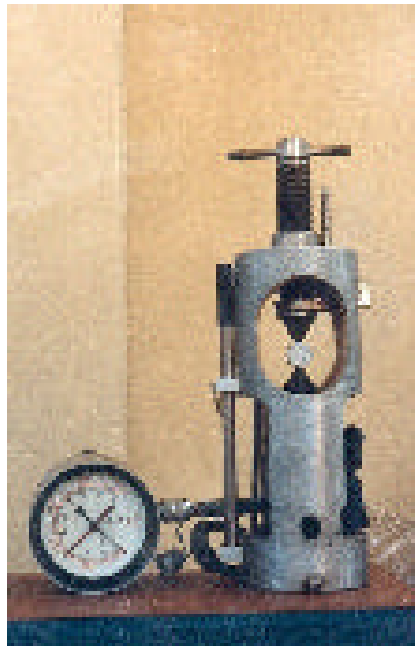


Foto N° 21

#### 6.1.2.4.1.1.- RELACIÓN DE ESBELTEZ:

La probeta a ser ensayada debe tener la siguiente relación:

$$L/D = 1.4$$

Donde:

L = Longitud de la probeta (cms).

D = Diámetro de la probeta (cms).

#### 6.1.2.4.1.2.- FÓRMULA MATEMÁTICA:

$$I_s = P/D^2$$

Donde:

$I_s$  = Índice de Carga Puntual Franklin (Kg/cm<sup>2</sup>).

P = Carga última de rotura (Kg).

D = Diámetro de la probeta (cms).

Estimación de la "dc", en relación a la Carga Puntual.

#### 6.1.2.4.1.3.- FÓRMULA MATEMÁTICA:

$$dc = ( 14 + 0.175 D ) I_s$$

Donde:

$d_c$  = Resistencia Compresiva de la roca en (Kg/cm<sup>2</sup>).

$D$  = Diámetro de la probeta en mm.

#### 6.1.2.4.2.- ENSAYO DE CARGA PUNTUAL “LOUIS”

El ensayo de carga puntual denominado también “Axial” se ejecuta sobre muestras de roca y/o mineral por lo general sobre testigos de perforaciones de raise boring, teniendo en consideración el estándar del ISRM, como se aprecia en la Foto N° 22.

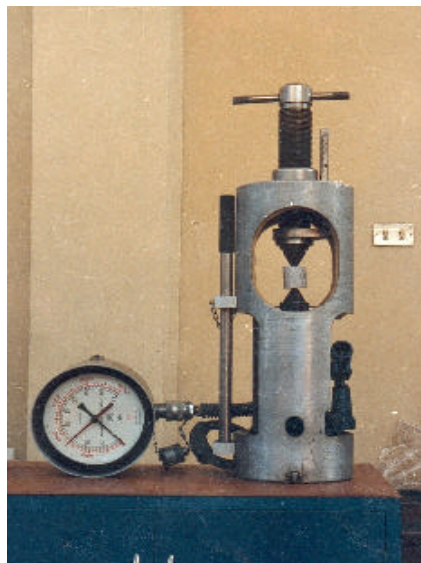


Foto N° 22

##### 6.1.2.4.2.1.- RELACIÓN DE ESBELTEZ:

La probeta a ser ensayada debe tener la siguiente relación:

$$L/D = 1$$

Donde:

$L$  = Longitud de la probeta (cms).

$D$  = Diámetro de la probeta (cms).

##### 6.1.2.4.2.2.- FÓRMULA MATEMÁTICA:

$$I_L = P/S$$

Donde:

$I_L$  = Índice de Carga Puntual Louis (Kg/cm<sup>2</sup>).

P = Carga última de rotura (Kg).

D = Area de rotura (cms<sup>2</sup>).

### 6.1.2.5.- ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Colocando probetas cilíndricas con relaciones  $L/D = 2$ , dentro de una celda triaxial y aplicando una presión de confinamiento lateral  $d_3$  constante (Esfuerzo Principal Menor), dentro de un rango establecido, se somete a estas a un cargado axial hasta producir su rotura, en esfuerzos que corresponden a  $d_1$  (Esfuerzo principal mayor). Con los datos de  $d_1$  y  $d_3$  registrados, se construye la **Envolvente de Mohr**, obteniéndose de la misma los parámetros de **Resistencia al Corte**: Cohesión  $S_o$  y el Angulo de Fricción Interna  $\phi_i$  de la roca y/o mineral, como se aprecia en la **Foto N° 23**.



Foto N° 23

### 6.1.2.6.- ENSAYO DE CORTE DIRECTO SOBRE DISCONTINUIDADES

Los ensayos se llevan a cabo a través de superficies de discontinuidad contenidas en testigos rocosos y/o minerales de 5 cm. (50 mm.) de diámetro, de acuerdo al estándar del ISRM, los cuales fueron colocados en moldes de concreto, para luego ser transferidos a la maquina de corte, como se aprecia en la **Foto N° 24**.

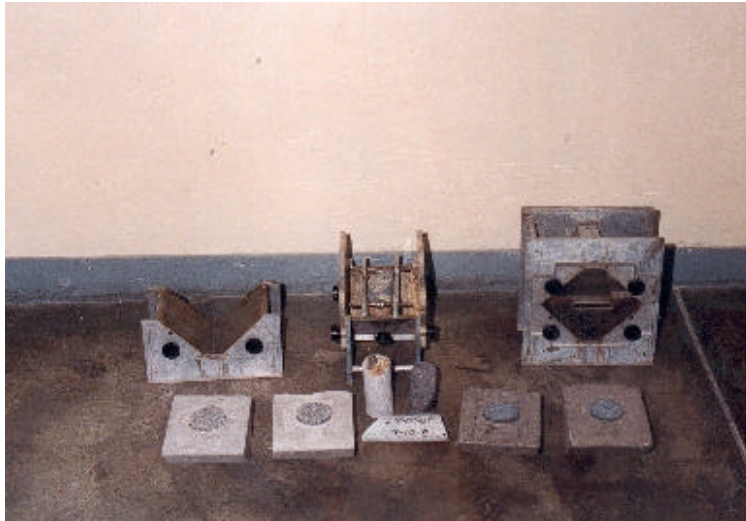


Foto N° 24

El ensayo consiste en cizallar la probeta a través de la superficie de discontinuidad, sometiéndola a un **Esfuerzo Normal** constante “ $d_n$ ”.

El **Esfuerzo de Corte** “ $t_c$ ” para iniciar y mantener el desplazamiento, es determinado para un rango de esfuerzos normales.

Durante los ensayos se miden los desplazamientos “ $\delta$ ” de la parte superior de la probeta en relación a la parte inferior, producidas como consecuencia de la aplicación de los esfuerzos.

Con la información registrada se construyen las envolventes máximo y residual, obteniéndose las ecuaciones de **Coulomb** mediante el ajuste por mínimos cuadrados, determinándose así los respectivos parámetros de **resistencia al corte: cohesión** y **ángulos de fricción básica y residual**, a través de la superficie de discontinuidad, como se aprecia en la **Foto N° 25**.



Foto N° 25

### 6.1.3.- CONDICION DE ENSAYOS

Los diferentes detalles sobre las condiciones particulares de cada ensayo a ejecutarse en el Laboratorio de mecánica de Rocas, se enmarcan dentro de los procedimientos estandarizados para este tipo de trabajo especialmente se deben tener en cuenta los métodos sugeridos por la comisión de estandarización de Ensayos de Laboratorio e In-situ de la [Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas \(ISRM\)](#).

De modo general, las velocidades de carga aplicadas durante los ensayos compresivos deben estar en el rango recomendado de 5 a 10 Kg/cm<sup>2</sup>/seg. (0.5 MPa – 1.0 MPa/seg.), éstas velocidades de carga le dan el carácter de estático a las propiedades mecánicas determinadas.

De acuerdo a las características del agua subterránea de los lugares donde se han de extraer las muestras rocosas y minerales, estas serán ensayadas ya sea en condiciones seca, de humedad natural o saturada, lo que se señala oportunamente en cada ensayo o de lo contrario hay que guiarse del programa de ensayos a ejecutarse.

A fin de racionalizar la cantidad de ensayos, las resistencias compresivas reportadas pueden ser obtenidas de los ensayos de constantes elásticas (Deformabilidad en Compresión Uniaxial), Así mismo en el ensayo triaxial se pueden utilizar datos de la resistencia compresiva uniaxial, resistencia a la tracción para el calculo de la [Envoltente de Morh](#).

En cuanto a la representatividad de las muestras y de los resultados de los ensayos, se debe señalar con respecto al primero, que durante la campaña de muestreo o acopio de muestras rocosas y/o minerales se debe tatar en lo posible de extraer muestras representativas de su entorno físico, con respecto al segundo punto, el dimensionamiento y/o el programa de los ensayos deben ser ejecutados de acuerdo a los objetivos del estudio de Mecánica de Rocas, de modo tal que los parámetros obtenidos sean utilizados en los diferentes modelos de análisis. En este sentido, los resultados obtenidos son el promedio de ensayos ha ejecutarse sobre probetas que en número que varían de 4 a 5 por muestra, para una mejor interpretación de los resultados, teniendo en consideración aún la opción de promediar parámetros en concordancia con los otros aspectos que comprende el proyecto integral, en especial con los resultados de algunos ensayos in-situ y del análisis litológico-estructural.

## 6.2.- IN-SITU

### 6.2.1.- ENSAYO DE REBOTE “R”

El objeto de conocer la dureza de una roca, mediante el Martillo Schmidt,

es poder estimar su **Resistencia Compresiva**, para ser tomada en cuenta en el diseño de las Fases y/u operaciones Mineras Subterráneas y Superficiales.

Precisamente para este fin, el Dr. E. Schmidt, ideó el ensayo respectivo, de rebote, que mediante un proceso no destructivo de la roca, se puede estimar su Resistencia Compresiva.

### 6.2.1.1.-TIPOS DE MARTILLOS

Como todo instrumento de medición; existen diferentes tipos de Martillo, según los fines y objetivos que se planifica.

El martillo tipo “L” es el que se adecua a la aplicación de la Mecánica de Rocas, para los efectos de los trabajos se dispone de una fórmula que lo relaciona con el Martillo tipo “N”; en cuanto se refiere al número de rebote “R”:

$$RL = -3.4 + ( 0.83 RN ) + ( 0.00295 RN^2 )$$

Donde:

RL = Número de rebote en el martillo tipo “L”

RN = Número de rebote en el martillo tipo “N”

### 6.2.1.2.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Con el Martillo Schmidt de Dureza, se determina la cantidad de rebotes necesarios para un mejor análisis, considerando que a mayor cantidad de ensayos mayor será el grado de confiabilidad en los resultados “t” Student, en diferentes posiciones, en un mismo tipo de roca, tomando en cuenta la longitud ensayada o el área; procediéndose además a recolectar una muestra de la roca ensayada.

A continuación se presenta una tabla para la corrección por la posición del martillo Schmidt de Dureza, al momento de realizarse el ensayo, considerando que para los calculos en ganibete se debe corregir sobre cada uno de los rebotes ejecutados :

REBOTE “R”	HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL
	a = - 90°	a = - 45°	a = + 90°	a = + 45°	a = 0°
10	0	- 0.8	-	-	- 3.2
20	0	- 0.9	- 8.8	- 6.9	- 3.4
30	0	- 0.8	- 7.8	- 6.2	- 3.1
40	0	- 0.7	- 6.6	- 5.3	- 2.7
50	0	- 0.6	- 5.3	- 4.3	- 2.2
60	0	- 0.4	- 4.0	- 3.3	- 1.7

### 6.2.1.3.- TRABAJO DE GABINETE

Para el cálculo de la estimación de la resistencia compresiva se debe tomar en cuenta los estándares del **ISRM (Society International For Rock Mechanic's)**, considerando el Número de rebote, definido como: “ La media aritmética de los 5 valores o índices más altos de todos los ensayos ejecutados con el Martillo Schmidt de Dureza” y aplicando la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Log } d_c = 0.00088R + 1.01$$

Donde:

$d_c$  = Resistencia Compresiva de la roca en MPa.

$R$  = Densidad de la roca en KN/m<sup>3</sup>.

$R$  = Rebote del Martillo tipo “L”.

### 6.2.2.- MEDICIONES DURANTE LA VOLADURA

Durante el proceso de la voladura se producen vibraciones a través del macizo rocoso, estas vibraciones son detectadas mediante el registro de las ondas:

- Longitudinal.
- Vertical.
- Transversal.

El registro de estas ondas nos permite predecir el efecto que producirán al efectuarse la voladura.

#### 6.2.2.1.- CRITERIOS PARA EL CONTROL DE LA VOLADURA

La tecnología moderna en el ámbito de la voladura considera aspectos como: la energía con la relación a la potencia, el macizo rocoso con relación a la geometría y el tiempo con relación a los tres estados de la materia (líquido-sólido-gaseoso).

La voladura como operación minera unitaria de un plan de minado para la explotación de un yacimiento y/o depósito minero tiene una incidencia importante en la secuencia del ciclo de minado: Perforación, limpieza, carguío, transporte.

Los factores que influyen en la voladura son:

**El explosivo**, considerando sus: relaciones químicas, el balance químico, las leyes de la termodinámica para el cálculo; de la masa y energía; el efecto de las presiones sobre la roca y las propiedades físicas y químicas del explosivo.

**El macizo rocoso**, considerando. Las propiedades geomecánicas del macizo rocoso; cuantificando además el esfuerzo compresivo dinámico y el esfuerzo tensivo dinámico, que permiten relacionar la resistencia a los

cambios de forma que el macizo rocoso pueda tolerar antes y después del fracturamiento; la velocidad, amplitud y frecuencia de onda, estos parámetros están referidos al efecto de inercia, cuantificando el movimiento del macizo rocoso, en sus tres direcciones (vertical, longitudinal y transversal), afectada por la detonación.

**Geometría de la voladura**, la base de la tecnología moderna de voladura de rocas es la “Interacción explosivo/roca”, mediante el cual se puede: planificar, diseñar, predecir y analizar los resultados, de tal forma que se puede medir y expresar con valores reales los efectos, tendencias y cambios que podrían realizarse para optimizar la voladura de rocas en cualquier plan de minado.

### 6.2.2.2.- EQUIPO PARA EL CONTROL DE LA VOLADURA

Como se puede apreciar en la [Foto N° 26](#), el control de la voladura (medición de las ondas después de la detonación), se está efectuando con un sismógrafo en el Tajo Raúl Rojas de la U.P. de Centromin Perú, hoy en día existen una variedad de equipos para este tipo de control.



Foto N° 26

### 6.2.2.3.- VARIABLES A CONSIDERARSE

#### 6.2.2.3.1.- VELOCIDAD MÁXIMA DE ONDA

La velocidad de la onda (longitudinal, vertical y transversal) es calculada a través de los registros del sismógrafo utilizando la siguiente relación:

$$V = \frac{pA}{tMAG}$$

Donde :

A = Amplitud de onda.

p = Constante.

MAG = Constante de amplificación del sismógrafo usado.

t = Intervalo de tiempo de arribo de la onda.

### 6.2.2.3.2.- DESPLAZAMIENTO DE ONDAS

El desplazamiento de la onda como consecuencia de las vibraciones se calcula con la siguiente relación:

$$D = \frac{(1/2)A}{MAG}$$

Donde:

D = Desplazamiento de la onda resultante.

(1/2)A = Distancia del punto medio de la onda a la cúspide en el instante de su mayor desplazamiento aparente.

MAG = Magnificación estática del sismógrafo.

### 6.2.3.- DISEÑO E INSTALACIÓN DE PIEZOMETROS Y POZOS DE MONITOREO

#### 6.2.3.1.- METODOS DE PERFORACIÓN

El equipo de perforación necesario para obtener un barreno abierto, estable para la instalación de un piezómetro dependerá de la geología, hidrológica del emplazamiento y de la profundidad requerida de la instalación. Cuando sea posible, se utilizará métodos de perforación que no requieran la introducción de agua o fluidos de perforación. Además, se aplicara métodos que retiran eficazmente los detritus de perforación.

Normalmente en minería los piezómetros construidos hasta la fecha y previstos a futuro, puede considerarse como instalaciones “profundas” ( es decir, mayores de 50 metros). Como resultado, se ha utilizado la circulación invertida, la perforación de roto-percusión para pozo de sondeo y es el método recomendado.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la instalación de piezómetros requiere más que un agujero en el suelo. El barreno debe ser estable, recto y perpendicular, es decir, sin una desviación excesiva de la línea vertical.

La causa principal de que un agujero no esté recto o perpendicular es la presión de tracción excesiva en la broca. Por lo tanto, el perforador debe recordar que “más lento es más recto”.

### 6.2.3.2.- CONTROL DE CALIDAD – GARANTIA DE CALIDAD

Un plan para el **control de calidad/garantía de calidad (QC/QA)** es una parte integral de cualquier programa exitoso de instalación de piezómetros. Este garantiza que los datos reunidos estén completos, sean precisos, exactos y puedan utilizarse para sus propósitos sin reserva. Generalmente la **garantía de calidad (QA)** se refiere a aquellas áreas de la obra que no se relacionan directamente con el control del investigador y el **control de calidad (QC)** se refiere a aquellas áreas que se relacionan directamente con el control de la persona responsable de la recopilación de la información.

De manera ideal, un plan QA/QC está integrado al programa de perforación y se aplica como una parte importante de cada etapa del plan, como la preparación, procedimientos de campo y registro. La información contenida en el Sistema Operativo de Perforación (SOP) se relaciona con QA/QC. Rubros tales como registro del equipo utilizado, registro de situaciones disconformes, limpieza y desinfección adecuadas del equipo y mantenimiento de registros.

La **garantía de calidad** empieza con el registro de todas las actividades que se realizan en el emplazamiento, desde el inicio hasta el término del proyecto. Se debe llevar un registro diario de todas las actividades. Este registro debe incluir:

- Inicio y detención de la obra.
- Nivel del agua en reposo antes de empezar el trabajo y al final de cada turno
- Condiciones de la perforación.
- Formaciones geológicas y zonas de fallas.
- Zonas productoras de agua.

El **control de calidad** empieza con un registro de lo siguiente:

- Materiales utilizados.
- Descripción completa de las herramientas utilizadas en el agujero.
- Cualquier falla mecánica.
- Accidentes o lesiones.

La descripción de las herramientas debe incluir:

- Longitud de cada junta de la tubería de perforación y entubado.
- Diámetro del interior y exterior.
- Un bosquejo del montaje del barreno tendido como trépanos, martillo y brocas trepano de paso.

Un aspecto crítico del **control de calidad** incluye conocer siempre la profundidad del barreno. Para facilitar esto, se debe hacer un conteo continuo de todas las herramientas utilizadas en el barreno. Cuando el agujero alcanza la profundidad final, se debe medir cuidadosamente la profundidad total.

Se debe realizar un conteo similar cuando se instala la criba y el entubado. Una diferencia entre el conteo de tubería y el conteo de entubado puede indicar el derrumbe del agujero y requerir una limpieza adicional del barreno antes de instalar la criba y el entubado.

El agua utilizada para perforar el barreno, limpiar el equipo, mezclar la lechada y limpiar (desarrollar) el piezómetro debe obtenerse de una fuente de química conocida que no contenga contaminantes que puedan afectar los materiales utilizados en la instalación o de muestras de calidad de agua que van a tomarse.

Las muestras de agua para la perforación y desarrollo (limpieza), paquete de filtro, cierre anular y lechada de relleno anular mezclada introducidas en el barreno deben ser retenidas como muestras de QA/QC hasta el término de la primera ronda de muestreo y análisis de aguas subterráneas.

#### **6.2.4. SISTEMA DE CONTROL INSTRUMENTAL SUBTERRANEO**

El programa de control de estabilidad en el interior de la mina, se basa en el control instrumental de las deformaciones de sus diferentes componentes estructurales, principalmente en las Labores de Desarrollo, Preparación y Explotación.

Actualmente el método más adecuado y útil para el control de las deformaciones son las mediciones de “Convergencia”, las cuales consisten en medir los cambios del contorno de la excavación a través de mediciones periódicas de las distancias de un punto de referencia respecto a otros y viceversa. Así se cuantificará la evolución del proceso de relajación o concentración de esfuerzos alrededor de la excavación, lo cual permitirá conocer el grado de su estabilidad.

El relativo desplazamiento o cambio en la distancia entre puntos de referencia situados sobre los bordes de la excavación en un periodo de tiempo dado, controlará la deformación y/o movimiento de un determinado componente estructural de la mina, Uno de los procedimientos para medir distancias entre dos puntos con precisión, velocidad y repetitivamente, es el uso de [extensómetros mecánicos](#).

El sistema de control subterráneo se establece en base a:

- Las especificaciones del diseño inicial.
- Las observaciones visuales detalladas durante los trabajos de campo, conjuntamente con los profesionales a cargo de la operación de la mina.
- La experiencia de la especialidad en este tipo de trabajos.
- Los métodos sugeridos por el [ISRM \(Society International For Rock mechanic's\)](#).

Según estas consideraciones se ubicarán los sensores en zonas críticas y accesibles para la periodicidad de las mediciones.

#### **6.2.4.1.- INSTALACION DEL EXTENSOMETRO DE VARILLAS DE 6 POSICIONES MODELO 518119**

El extensometro de varillas de 6 posiciones está compuesto por ocho componentes principales. Estos son:

- 1.- Anclajes hidráulicos
- 2.- Varillas de medición de acero inoxidable de ½ "de diámetro.
- 3.- 80 tubos protectores rígidos de PVC de ¼ ".
- 4.- Un tubo galvanizado para collar de referencia de 3 " de diámetro.
- 5.- Ensamblaje de la cabeza de referencia.
- 6.- Placa de referencia de acero inoxidable.
- 7.- Tapa protectora de tubería.
- 8.- Mecanismo mecánico de lectura, removible.

El extensometro es capaz de operar verticalmente, inclinado u horizontalmente. La varillas de acero inoxidable son encajados dentro de los tubos PVC y el taladro es rellenado con lechada de cemento después de su instalación. La cabeza de referencia esta diseñada para permitir un fácil acceso a la placa de referencia, posible mantenimiento y protección del daño.

##### **6.2.4.1.1.- DETALLES DE LA PERFORACIÓN**

El sistema esta diseñado para una medida de taladro mínimo NX (3" de diámetro). El taladro debe ser estable y libre de obstrucciones antes de la instalación del instrumento. Antes y durante la instalación, el taladro puede ser enfundado con un entubado de juntas lisas de 3 pulgadas de diámetro interno. Los tres o cuatro pies del tope del taladro debe ser lo suficientemente grande para acomodar el tubo galvanizado interior del collar de referencia la cual soporta el ensamblaje de la cabeza.

##### **6.2.4.1.2.- PROTECCIÓN DE LA CABEZA DEL INSTRUMENTO**

La cabeza de referencia con su tapa protectora deberá ser protegida de los daños debido a la actividad de construcción. Una adecuada cubierta o recinto hecho de acero, concreto o ladrillo deberá ser lo suficientemente grande para acomodar la cabeza del instrumento y al mismo tiempo permitir el acceso para la toma de lecturas y para el mantenimiento.

##### **6.2.4.1.3.- SECUENCIA DE INSTALACIÓN DEL ANCLAJE MÚLTIPLE**

Los anclajes hidráulicos están equipados con tubería de nylon de ¼", de alta

presión, rellenos de aceite y con suficiente longitud, para ser ubicados a una profundidad adecuada dentro del sondaje o taladro. El alargamiento de la tubería hidráulica puede ser completada en el campo con conectores mecánicos de tubo. Si se dispone de una suficiente área de andamiaje, el ensamblaje de los anclajes hidráulicos, las varillas de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$  " y los tubos de PVC de  $\frac{1}{4}$  " pueden ser instalados afuera, en el terreno, antes de insertarlos dentro del taladro.

### Se puede usar el siguiente procedimiento:

1.- En una ubicación conveniente cercano al taladro, se dispone sobre el terreno la ubicación del anclaje y de la cabeza de referencia, Abastecerse de una suficiente longitud de varillas, incluyendo tubos de unión y cabeza de referencia.

2.- Utilizando llaves, alicates de agarre y cemento PVC ensamble las varillas de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y tubos PVC de  $\frac{1}{4}$  " de pulgada a sus longitudes aproximadas. dejar alguna longitud extra la cual podría estar pedida a una longitud exacta o posteriormente ser recortada. Esto se efectúa colocando las varillas de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$ " en el interior de los tubos PVC de  $\frac{1}{4}$  " conforme el ensamblaje vaya progresando.

3.- El tubo PVC de  $\frac{1}{4}$  " acoplado a ras tiene un acoplamiento hembra / macho excepto la sección del fondo la cual esta roscado para su adhesión al anclaje. La sección corta del fondo entre la tubería PVC y el anclaje esta roscado en un extremo y hembrado en el otro. Cuando todas las varillas se encuentran encajadas dentro de los tubos PVC, los tubos pueden ser cementados juntos. durante la operación de ensamblaje y encolado, todas las partes y superficies de conexión que están siendo introducidas dentro del tubo PVC de  $\frac{1}{4}$  " deberán ser guardados limpios de barro, tierra, cola, etc. El cemento PVC utilizado deberá ser firme, del tipo cuerpo mediano y de color gris.

4.- Roscar la varilla de acero inoxidable a los anclajes y el acoplamiento especial PVC del fondo al anclaje y colóquelos a sus marcas correctas sobre el terreno.

5.- Usando una lima, marque los extremos de los tubos del 1 al 6 en un orden adecuado para su identificación. También, marque la tubería hidráulica en conformidad a cada anclaje.

6.- Cuando se utiliza la inyección, disponga el tubo de lechada de cemento a lo largo del tubo PVC fijado al anclaje de fondo. Forrar ligeramente con una cinta el tubo de lechada de cemento al anclaje de fondo. Use cinta negra de vinilo, el

extremo del fondo del tubo de lechada de cemento deberá ser cortado con un cuchillo de bolsillo de forma tal que su longitud quede rematada en punta.

7.- Si el ensamblaje completo es pre-ensamblado sobre el terreno, atar las varillas montantes con un cinta, comenzando en el extremo superior, asegurando que el tubo de lechada de cemento este en el medio, que los tubos PVC estén paralelos y que los tubos hidráulicos estén encerrados dentro del atado. Disponga las varillas y anclajes del extensometro en una secuencia que corresponda al sentido de las agujas del reloj (mirando hacia los anclajes) y que a su vez corresponden con la placa de referencia. Chequee que los anclaje estén bien encintados al atado a fin de prevenir el desvastamiento de los nudos sobresalientes al introducirlos dentro del taladro. En general el atado podría ser encintado aproximadamente cada 5 a 6 pies.

#### **6.2.4.1.4.- EQUIPO DE LECTURA O INDICADOR**

El indicador es un micrómetro mecánico de profundidad con una traba para detener la lectura hasta que ésta sea soltada. El micrómetro es preciso hasta 0.001 pulgadas. Los micrómetros son suministrados con varillas de extensión para extender el rango de cero (0) hasta 6 pulgadas.

Los bloques estándares de referencia son opcionales. El uso del micrómetro es muy simple y recto hacia delante. Inserte la varilla del micrómetro por el hueco apropiado de la superficie de medición e invierta el trinquete hasta que este suene con un golpe, asegurándose que la base del micrómetro esté asentado firmemente y bien encuadrado sobre la superficie de medición. Trabar la lectura, retirar el micrómetro y registrar la lectura.

En la [página N° 67](#) se puede apreciar el esquema del extensometro de varillas con cada uno de sus componentes.

#### **6.2.4.2.- COMPONENTES DEL SISTEMA PARA MEDICIONES DE CONVERGENCIA**

##### **6.2.4.2.1.- ELEMENTOS SENSORES O DETECTORES**

###### **Extensometro de Cinta:**

Dos armellas son usadas para enganchar el extensometro a los puntos de anclajes especiales (punto de referencia), de tal manera que las mediciones no sean afectadas por el ángulo de la conexión. Una armella es fijada al extremo del instrumento mecánico y la otra al extremo de la cinta.

###### **Barra Telescópica Extensometrica**

Dos bolillas de acero son usadas para hacer contacto con la barra extensometrica en los puntos de anclaje (puntos de referencia), por lo que las mediciones no son afectadas por el ángulo de la conexión; la barra

extensometrica posee en cada extremo un acople cóncavo.

#### **6.2.4.2.2.- ELEMENTOS DE TRASMISIÓN DE DATOS**

##### **Extensometro de Cinta**

Esta compuesta por una cinta de ingeniero estándar de acero plano y unido al instrumento mecánico por un sistema de pestillo y pin de trabadura sobre unos de los extremos, este pin entra a huecos de precisión punzados en la cinta a ciertos intervalos regulares de distancia.

La cinta es montada sobre el instrumento como un carrete y manivela.

##### **Barra Telescópica Extensometrica**

El transmisor de datos esta constituido por una barra maestra de aluminio tubular telescópica, que alcanza un bajo coeficiente de dilatación térmica; la barra se extiende hacia los dos puntos anclados en la superficie de la roca, considerando que una parte de barra es fija y la otra parte es movable.

#### **6.2.4.2.3.- EQUIPOS O UNIDADES DE LECTURA Y/O REGISTRO**

##### **Extensometro de Cinta**

El instrumento mecánico del extensometro de cinta es portátil y esta previsto de un mecanismo que dá compresión a un resorte para una carga repetible y un calibrador de dial sensible que indica el viaje del tornillo requerido para aplicar tensión conveniente sobre la cinta. La lectura del dial es el incremento de distancia a ser adicionado a la lectura de la distancia.

Especificaciones técnicas de un extensometro de cinta conocida:

Marca : SINCO (Slope Indicator Company).

Modelo : 518115

Tensión sobre la cinta: 23 libras (10.45 Kg).

Precisión del calibrador del dial: 0.0025.

Precisión promedio: 0.0125 mm.

Longitud estándar de la cinta: 20 m. (extra fuerte).

Distancia mínima que puede medir: 74 cm. Intervalo de los huecos pre-punzados: 5 cm.

##### **Barra Telescópica Extensometrica**

El equipo constituido por dos barras una fija colocada en un punto de referencia y el otro movable colocado en el otro punto de referencia; son ajustados

mediante un pin de oreja, indicando en un dispositivo la lectura del desplazamiento entre ambos puntos.

El equipo utilizado por lo general es de la marca Grecian-Whittam Bolton England, modelo 1936, mide deformaciones verticales (piso / techo) y también deformaciones horizontales (paredes). Tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Indicador del dial rango de 2" con incremento de 0.001" montado sobre base tubular.
- Ajuste grueso conexión cubierta por un pin.
- Resorte ensamblado sostiene el extensómetro en posición sobre puntos de referencia.
- Tubo de extensión telescopio letrado y numerado, de acero de 1/16" de espesor de la pared del tubo.
- Punto de referencia sockets cónicos, fijan los enchufes hemisféricos.
- Modelos utilizados para las mediciones 6 a 11 pies de longitud.
- Accesorios utilizados barra de calibración para conversión métrica en aluminio fundido.

#### **6.2.4.2.4.- INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS SENSORES:**

En las estaciones determinadas donde se realizarán las mediciones, se perforan taladros de 3 pies de longitud y 39 mm. de F, en el (techo / piso) para realizar las mediciones de convergencia. Luego de perforar los taladros se procede a la instalación de las varillas de fierro corrugado de 1" F con roscado hembra y pernos de ojillo. Con excepción de los que llevan bolilla esférica, para ser utilizadas con la barra telescópica Extensométrica. Las varillas deben ser ancladas en los taladros con resina Epo rock en caso contrario con mortero (cemento / arena).

#### **6.2.4.2.5.- METODOLOGÍA DEL MONITOREO SUBTERRÁNEO**

##### **A.- PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN**

##### **Extensómetro de cinta**

El primer paso para realizar una medición es conectar el sistema extensiométrico fijando el gancho de mosquetón del extremo de la cinta a unos de los puntos de anclaje de referencia; luego se desenrolla la cinta, mientras se traslada el instrumento hacia otro punto de anclaje de referencia, en donde se fija el perno de ojillo del instrumento. Realizada la conexión, se comienza a tensar la cinta hasta que las líneas de marca del instrumento queden alineados. En esta posición se registra las lecturas en el calibrador del dial. Repitiendo el alineamiento de las líneas de marca se pueden registrar nuevas lecturas del calibrador de dial.

## Barra Telescópica Extensométrica

El primer paso para realizar una medición es conectar la varilla fija de la Barra telescópica extensométrica al punto de anclaje (piso); luego la varilla móvil se desplaza hacia el punto de anclaje de referencia (techo), en donde el equipo queda fijado haciendo contacto hemisférico con las dos bolillas de los puntos de referencia.

Realizado el contacto correcto en ambos extremos, se ajusta con el pin de oreja las varillas fija y móvil, registrando luego la lectura en el calibrador de dial.

Repetiendo este mismo proceso se realiza las posteriores mediciones.

## B- REGISTRO DE DATOS

Una vez realizado la instalación de los puntos de referencia en las estaciones de control, el sistema queda apto para realizar mediciones. Los resultados de estas mediciones son registradas en formatos especialmente preparados para este fin, y elaborándose un programa para crear un banco de datos de los registros acumulados.

## C.- PROCESAMIENTO DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En relación al procesamiento de datos se implementa un programa de predicción de convergencias, considerando las estaciones de monitoreo, con sus respectivos puntos de referencia, además se dispone un programa para la presentación gráfica de los registros acumulados.

En la [página N° 71](#) se muestra: El Esquema sobre los detalles del Monitoreo Subterráneo en la Mina Juanita, esquematizando las mediciones con el Extensómetro de Cinta y con la Barra telescópica Extensométrica con sus respectivos detalles.

En la [página N° 72](#) se muestra: La Información gráfica de mediciones de Convergencia en la Estación de Control N° 3, de la Mina Juanita, en los 7 puntos de medición, con el Extensómetro de Cinta y la barra telescópica Extensométrica.

En la [página N° 73](#) se muestra: la representación gráfica de las mediciones de Convergencia, del cambio o desplazamiento en relación a los días de medición, en la estación de Control N° 3, de la Mina Juanita de Perubar S.A., hoy en día a cargo de CETEMIN..

