

## Determinación de la resistencia a tracción indirecta de rocas por el procedimiento «brasileño»

### 1 OBJETO

1.1 Este procedimiento recoge los aparatos de ensayo, la preparación de la probeta y el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la fisuración en tensión de las rocas mediante la compresión diametral de una probeta cilíndrica (Nota 1).

**Nota 1.** La resistencia de las rocas a tensión, determinada mediante ensayos distintos de la tracción directa, se denomina resistencia a la tensión «indirecta» y, más concretamente, el valor que se obtiene por el cálculo expuesto en el apartado 8 de este ensayo se denomina resistencia a la «fisuración» en tensión.

1.2 En los ensayos de esta norma intervienen materiales, operaciones y equipos peligrosos. La norma no pretende ocuparse de todos los problemas de seguridad que se deriven de su aplicación. Corresponde al operador tomar las medidas de seguridad y protección que sean apropiadas.

### 2 SIGNIFICADO Y CAMPO DE APLICACION

2.1 Por definición, la resistencia a tracción se halla mediante el ensayo de tensión directo uniaxial. Pero este ensayo es difícil y costoso para realizarlo rutinariamente. El ensayo de fisuración en tensión parece ofrecer una alternativa apropiada porque es mucho más simple y económico. Además, los ingenieros que se dedican a la mecánica de rocas suelen trabajar con campos de esfuerzos muy complejos, incluso varias combinaciones de campos de esfuerzos de tensión y compresión. En esas condiciones debe hallarse la resistencia tensional en presencia de esfuerzos de compresión para que el resultado represente las condiciones reales sobre el terreno. El ensayo de fisuración en tensión es uno de los más simples entre los que se presentan tales campos de esfuerzos. Puesto que se utiliza ampliamente en la práctica, se hace necesario disponer de un procedimiento uniforme, de modo que los datos sean comparables. También se necesita este procedimiento de ensayo para asegurar que las probetas se rompen diametralmente a causa de la tracción ejercida a lo largo del diámetro sobre el que actúa la carga.

### 3 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

3.1 **Dispositivo de carga**, para aplicar y medir la carga axial que se aplica a la probeta, con la sufi-

ciente capacidad para aplicarla a la velocidad que se prescribe en el apartado correspondiente.

#### 3.2 Superficies portantes

La máquina para el ensayo debe estar equipada con dos bloques de acero portantes cuyo índice de dureza no sea inferior a 58 HRC (Nota 2). Uno de los bloques ha de estar asentado esféricamente y el otro será un bloque rígido plano. Las superficies portantes no deben desviarse de la planeidad más de 0,0127 mm cuando los bloques sean nuevos y la variación permisible es de 0,025 mm, dentro de la que se deben mantener. La parte móvil del bloque portante debe estar firmemente unido a la rótula esférica, pero la construcción ha de ser tal que la cara portante pueda girar e inclinarse en pequeños ángulos en cualquier sentido.

**Nota 2.** Pueden utilizarse pletinas falsas con caras portantes planas que cumplan con las condiciones de esta norma. Consistirán en discos de aproximadamente 12,7 a 199,05 mm de espesor, templados al aceite a una dureza de 58 HRC (alta capacidad de rotura) con la superficie rectificada. Cuando se ensayan rocas abrasivas, estas superficies tienden a ponerse ásperas después de varios ensayos y por tanto deben volver a rectificarse cada cierto tiempo.

3.2.1 El ensayo puede realizarse con probeta puesta en contacto directo con los bloques portantes de la máquina (o las bases falsas, en su caso) (Figura 1), o también se pueden situar placas portantes curvas suplementarias o bandas de apoyo entre la probeta y las planchas portantes de la máquina para reducir la gran concentración de esfuerzos.

3.2.2 Pueden utilizarse planchas portantes curvas con las mismas especificaciones que se estipulan en 3.2 para reducir los esfuerzos de contacto. El radio de curvatura curva de los suplementos se calculará de tal modo que el arco que hace contacto con la probeta no exceda en ningún caso de 15° o que la anchura del contacto sea inferior a  $D/6$ , siendo D el diámetro de la probeta (Nota 3).

**Nota 3.** Puesto que la ecuación del apartado 7.1 para calcular la resistencia a la fisuración en tensión se obtiene considerando una carga lineal, la carga que se aplique debe confinarse a una franja muy estrecha para que el ensayo de resistencia a la fisuración en tensión sea válido. Sin embargo, la carga lineal crea altos esfuerzos de contacto que pueden ocasionar el agrietamiento prematuro. El problema se reduce apreciablemente con una franja de contacto más amplia. Las investigaciones demuestran que con un arco de contacto inferior a 15° se puede cometer un error inferior al 2 por 100 en los esfuerzos de tensión principales y al mismo tiempo reduce la posibilidad del agrietamiento prematuro.

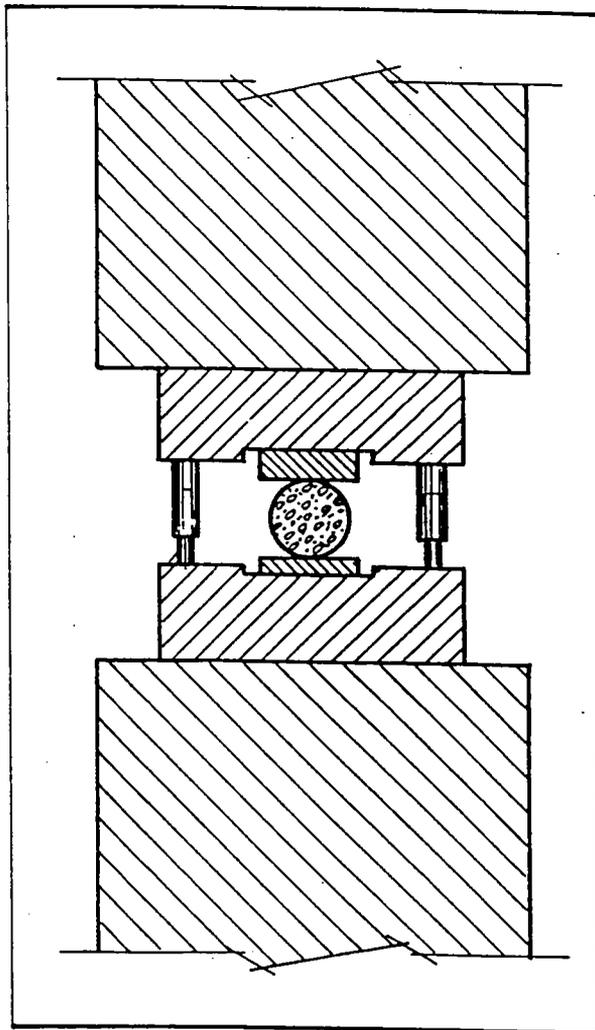


FIGURA 1. Dispositivo propuesto para el ensayo de resistencia a tracción indirecta «Método Brasileño».

### 3.3 Bandas de apoyo

Se recomienda poner un amortiguador de cartón de  $0,01D$  de espesor, siendo  $D$  el diámetro de la probeta, o de tablero contrachapado de 6 mm de espesor, entre las superficies portantes de la máquina (o los suplementos portantes en su caso) y la probeta para reducir la concentración de esfuerzos (Nota 4).

**Nota 4.** Las experiencias indican que los resultados de los ensayos realizados con suplementos portantes curvos, como se especifica en los apartados 3.2.2 y 3.3 no producen dispersiones significativas, pero pueden arrojar diferencias siempre constantes respecto a los resultados de los ensayos realizados con la probeta haciendo contacto directo con la platina de la máquina.

## 4 OBTENCION DE LA MUESTRA

4.1 La probeta debe ser representativa del tipo de roca que se estudia. Esto puede lograrse mediante

observación visual de los componentes minerales, la granulometría y forma de los gránulos, la porosidad y fisuración.

## 5 PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

5.1 Las muestras deben ser cilindros rectos con una altura de dos a tres veces el diámetro y que éste no sea menor de 50 mm. Además, el diámetro de la probeta deberá ser mayor que diez veces el tamaño máximo de grano de la roca.

5.2 Las bases de la probeta deberán ser paralelas y perpendiculares a su eje.

5.3 Las bases deberán ser planas con una aproximación mayor de 0,02 mm.

5.4 La perpendicularidad de las bases al eje de la probeta no se debe desviar más de 0,05 mm en 50 mm.

5.5 La cara lateral de la probeta deberá ser lisa, libre de irregularidades y recta con una desviación menor de 0,3 mm sobre la longitud de la probeta.

5.6 No se permite añadir ningún material de ajuste.

5.7 El diámetro de la muestra deberá ser medido con una precisión próxima a 0,1 mm como promedio de tres pares de diámetros perpendiculares tomados en diferentes alturas, en la parte alta, en el medio y en la parte baja. Este diámetro medio debe utilizarse para calcular la sección transversal. La altura de la muestra debe tomarse con precisión de 1 mm.

5.8 El contenido de agua de la probeta en el momento del ensayo puede tener un efecto apreciable sobre el resultado. Las condiciones de humedad del terreno deben mantenerse en la probeta hasta que se efectúe el ensayo. Por otra parte, se pueden ensayar probetas con otros contenidos de humedad, incluso nulo. En cualquier caso, puede modificarse el contenido de humedad de la probeta al problema en cuestión y consignarlo en el informe de acuerdo con lo expuesto en el apartado 8.1.6.

## 6 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

### 6.1 Marcas

Debe indicarse la orientación de la probeta a que se desee realizar el ensayo, trazando una línea diametral en sus caras exteriores. Estas líneas servirán para centrar la probeta en la máquina de ensayo y asegurar la debida orientación colocándolas vertica-

les, así como para punto de referencia de las mediciones de espesor y diámetro (Nota 5).

**Nota 5.** Si la probeta es anisotrópica, debe tenerse cuidado de que las marcas de cada probeta estén orientadas del mismo modo.

## 6.2 Colocación

Sitúe la probeta de modo que el plano diametral de las dos líneas marcadas en sus dos caras estén alineadas con el centro del empuje de la superficie portante con rótula esférica con una tolerancia de 0,013 mm (Nota 6).

**Nota 6.** A veces se consigue mejor la linealidad de la carga girando la probeta sobre sus ejes hasta que no se vea la luz entre la misma y las platinas portantes. Es más fácil hacerlo poniéndose a contraluz.

## 6.3 Carga

Aplique una carga de compresión en continuo aumento que produzca una velocidad aproximadamente constante de carga o deformación de modo que la rotura ocurra entre uno y diez minutos de estar en carga, lo que debe corresponder con una velocidad de carga de entre 35,1 y 210,6 kg/cm<sup>2</sup>/min, según el tipo de roca (Nota 7).

**Nota 7.** Los resultados de los ensayos realizados por varios investigadores indican que con esta velocidad de aumento de la carga se evitan en lo posible los efectos de la aplicación demasiado rápida de la carga.

## 7 OBTENCION DE LOS RESULTADOS

7.1 La resistencia a la fisuración en tensión de la probeta se calcula como sigue:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

Y el resultado debe expresarse por el número de dígitos que sea apropiado (generalmente 3), siendo:

- $\sigma_t$  = resistencia a la fisuración en tensión, en Pa;
- P = carga máxima aplicada que indique la máquina de ensayo, en N;
- L = longitud de la probeta, en mm, y
- D = diámetro de la probeta, en mm.

## 8 EXPRESION DE LOS RESULTADOS

8.1 El informe debe incluir en lo posible los siguientes datos:

8.1.1 Procedencia de la probeta, incluyendo el nombre del proyecto y la situación y, si se sabe, el ambiente en que se ha conservado. La situación se expresa frecuentemente por el número del sondeo y la profundidad a que se ha tomado desde la boca de la perforación.

8.1.2 Descripción física de la probeta, incluyendo la clase de roca, situación y orientación de los planos de fisuración aparentes, los planos de estratificación y la esquistosidad, así como las grandes inclusiones heterogéneas, en su caso.

8.1.3 Fecha de la toma de muestras y del ensayo.

8.1.4 Diámetro y longitud de la probeta, cumplimiento con los requisitos dimensionales, dirección de la carga si existe anisotropía. Tipo de contacto entre la probeta y las bases de carga.

8.1.5 Velocidad de aplicación de la carga y velocidad de deformación.

8.1.6 Indicación general de la humedad de la probeta en el momento del ensayo, diciendo si se encontraba tal como fue recibida, saturada, secada en el laboratorio al aire o en estufa. Se recomienda que se determine lo más exactamente posible el grado de humedad y se consigne en forma de humedad o de grado de saturación.

8.1.7 La resistencia a la fisuración en tensión que se haya calculado para cada probeta y la desviación típica o el coeficiente de variación del conjunto.

8.1.8 Tipo y situación de la rotura. Se recomienda un croquis de la probeta fracturada.

## 9 PRECISION Y DESVIACION

9.1 La variabilidad de las rocas y la consiguiente imposibilidad de determinar un valor de referencia fiable impiden establecer una expresión significativa de la desviación.