

ICS 73.020; 93.020

Noviembre 1996

### TÍTULO

**Propiedades mecánicas de las rocas**

**Ensayos para la determinación de la resistencia**

**Parte 5: Resistencia a carga puntual**

*Mechanical properties of rocks. Strength determination tests. Part 5: Point load test.*

*Propriétés mécaniques des roches. Essais pour la détermination de la résistance. Partie 5: Résistance à charge ponctuelle.*

### CORRESPONDENCIA

### OBSERVACIONES

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 22 *Minería y Explosivos* cuya Secretaría desempeña AITEMIN.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 40059:1996

©AENOR 1996  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

Fernández de la Hoz, 52  
28010 MADRID-España

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Teléfono (91) 432 60 00  
Telefax (91) 310 36 95

13 Páginas

**Grupo 7**



## ÍNDICE

	Página
<b>1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3 MÉTODO DE ENSAYO . . . . .</b>	<b>4</b>
3.1 Máquina de ensayo . . . . .	4
3.2 Calibración . . . . .	5
3.3 Selección y preparación de muestras . . . . .	6
3.4 Procedimiento operatorio . . . . .	6
<b>4 CÁLCULOS . . . . .</b>	<b>10</b>
4.1 Resistencia con carga puntual no corregida ( $I_s$ ) . . . . .	10
4.2 Corrección por tamaño . . . . .	11
4.3 Cálculo del valor medio . . . . .	12
4.4 Índice de anisotropía de la resistencia a carga puntual . . . . .	12
<b>5 INFORME DE RESULTADOS . . . . .</b>	<b>13</b>

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma especifica el método para estimar el valor del índice  $I_{s(50)}$  ( $I_{a(50)}$  para rocas anisotrópicas). Las muestras, bien testigos, bien fragmentos irregulares, son rotas por la aplicación de una carga concentrada usando un par de punzones cónicos truncados de forma esférica.

Se pueden realizar los siguientes ensayos:

- a) ensayo diametral;
- b) ensayo axial;
- c) ensayo de bloque;
- d) ensayo de fragmentos irregulares;
- e) ensayo de anisotropía.

El método es fiable para valores de la compresión uniaxial comprendidos entre 30 y 100 MPa.

El ensayo puede realizarse *in situ* con un equipo portátil o empleando una máquina de ensayo de laboratorio.

## 2 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

- D es la distancia entre los puntos de aplicación de la carga (mm);
- D' es la distancia entre los puntos de aplicación de la carga en el momento del fallo (mm);
- $D_e$  es el diámetro equivalente (se determina según se indica en el capítulo 4) (mm);
- F es el factor de corrección para realizar la corrección por tamaño (véase el apartado 4.2);
- $I_a$  es el índice de anisotropía de la resistencia a carga puntual;
- $I_s$  es la resistencia a carga puntual;
- $I_{s(50)}$  es la resistencia a carga puntual para  $D_e = 50$ ;
- L es la distancia desde el punto de aplicación de la carga al borde libre más próximo (mm);
- P es la carga (kN);
- W es el ancho de los bloques regulares (mm);
- $W_1$  es el ancho mínimo de los bloques irregulares (mm);
- $W_2$  es el ancho máximo de los bloques irregulares (mm).

## 3 MÉTODO DE ENSAYO

### 3.1 Máquina de ensayo

La máquina de ensayo consta de un sistema de carga (bastidor, bomba hidráulica, cilindro hidráulico y punzones), de un sistema de medida de la carga P necesaria para romper la muestra de roca y un sistema para medir la distancia entre los extremos de los punzones.

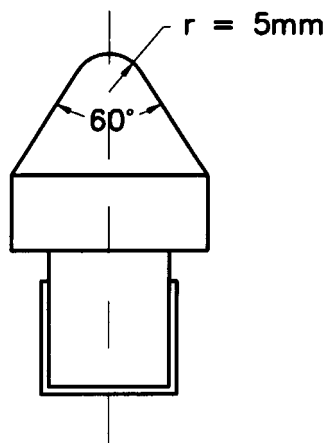
Las especificaciones para cada sistema son:

- a) El sistema de carga debe ser ajustable para poder ensayar muestras de roca de tamaño comprendido entre 15 mm y 100 mm. El rozamiento de las partes móviles del sistema de carga debe ser lo más bajo posible para no disminuir la precisión de la medida.

- b) La capacidad de carga será la suficiente para romper las muestras más grandes y resistentes que vayan a ser ensayadas (normalmente 50 kN). La máquina de ensayo se diseñará y construirá de manera que no se deforme permanentemente durante las repetidas aplicaciones de carga máxima de ensayo y que los ejes de los punzones permanezcan alineados en  $\pm 0,2$  mm durante toda la prueba. No deben emplearse asientos esféricos u otros componentes no rígidos en el sistema de carga.

La rigidez del sistema de carga es esencial para evitar problemas de desplazamiento cuando se sometan a ensayo muestras de geometría irregular.

- c) Para transmitir la carga a la muestra, deben utilizarse unos punzones cónicos con la punta truncada por una esfera (véase figura 1). La superficie cónica de  $60^\circ$  y la superficie esférica de 5 mm de radio deben ser tangentes. Las superficies serán de un material duro, como el carburo de wolframio o el acero endurecido, a fin de que no sufran daños durante la prueba.



**Fig. 1 – Punzón cónico**

- d) El sistema de medida de carga, por ejemplo una célula de carga, un manómetro hidráulico o un transductor conectados al cilindro, permitirá determinar la carga de rotura, P, necesaria para romper la muestra, con una precisión mínima de  $\pm 5\%$  P. Debe incorporar un sistema indicador de la carga máxima, de tal forma que pueda leerse y registrarse la carga de rotura después del fallo de la muestra. El sistema de medida de carga debe resistir al ariete hidráulico y a las vibraciones para conservar la precisión de las lecturas durante el ensayo.
- e) El sistema de medida de distancias, por ejemplo una escala de lectura directa o un transductor de desplazamiento, tendrá una precisión mínima de  $\pm 2\%$ , independientemente del tamaño de la muestra ensayada. Deberá resistir al ariete hidráulico y a las vibraciones para que la precisión de las medidas no se vea afectada negativamente por la repetición de ensayos y debe permitir hacer un ensayo de la posición equivalente al cero.

### 3.2 Calibración

El equipo de ensayo será calibrado periódicamente empleando una célula de presión garantizada para comprobar las lecturas de P en toda la gama de cargas del ensayo.

Se verificará asimismo el sistema de lecturas de D en toda la gama de desplazamientos del ensayo.

También se verificará la alineación y conicidad de los punzones.

### 3.3 Selección y preparación de muestras

Se define una muestra como una serie de fragmentos de roca de características semejantes.

La muestra para los ensayos de testigos o de bloques contendrá el número suficiente de fragmentos de roca, de acuerdo con los requisitos de tamaño y forma para las pruebas diametral, axial, de bloque o de trozos irregulares, según se especifica en el apartado 3.4.

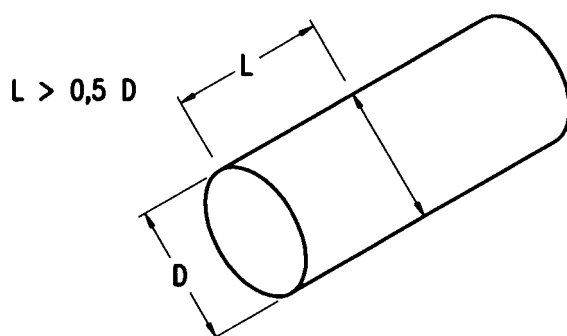
La resistencia a carga puntual varía con el contenido de agua de los fragmentos. Las variaciones son especialmente pronunciadas con contenidos de agua inferiores al 25%. Los fragmentos secados en horno, por ejemplo, suelen ser mucho más resistentes que los que están húmedos. En fragmentos con contenidos de agua superiores al 50%, la resistencia está menos influenciada por variaciones pequeñas de la humedad, por lo que se recomienda hacer el ensayo en esta gama de contenidos de agua, a menos que se exija de forma específica que los ensayos se lleven a cabo con rocas secas.

Todos los fragmentos de una muestra se ensayarán con un contenido de agua similar y bien definido, contenido que resulte apropiado al proyecto para el que se precisen los datos del ensayo. Las muestras cortadas con cincel, no afectadas por fluidos de perforación, permiten realizar el ensayo con el contenido de agua existente *in situ*. A ser posible, deberán proporcionarse valores numéricos tanto para el contenido de agua como para el grado de saturación presentes en el momento del ensayo. Tanto si puede medirse el contenido de agua como si no, se recomienda informar sobre las condiciones de almacenamiento y el retraso entre la toma de muestras y la realización del ensayo.

Para las pruebas de rutina y clasificación, los fragmentos serán ensayados completamente saturados o con su contenido natural de agua.

### 3.4 Procedimiento operatorio

- a) Ensayo diametral (véase figura 2): Para este ensayo se utilizarán preferentemente fragmentos de testigo con una relación longitud/diámetro superior a 1,0.

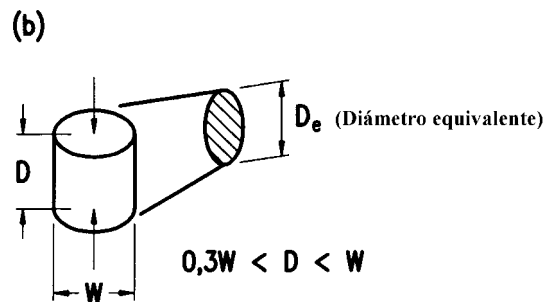


**Fig. 2 – Requisitos de forma de los fragmentos de roca para el ensayo diametral**

El fragmento se introduce en la máquina de ensayos y los punzones se cierran para establecer contacto a lo largo de un diámetro del testigo. La distancia  $L$  existente entre los puntos de contacto y el extremo libre más cercano debe ser al menos  $0,5 D$ . La distancia  $D$  se medirá con una precisión  $\pm 2\%$ .

La carga se incrementa de forma constante, de tal manera que se produzca la rotura entre 10 s y 60 s, quedando registrada la carga  $P$ .

- b) Ensayo axial (véase figura 3): Para este ensayo se utilizarán fragmentos de testigo con una relación longitud/diámetro 0,3 a 1,0. Pueden provenir de ensayos diametrales que no hayan sido dañados por los mismos u obtenerse mediante cortes con sierra o escisión con cincel.



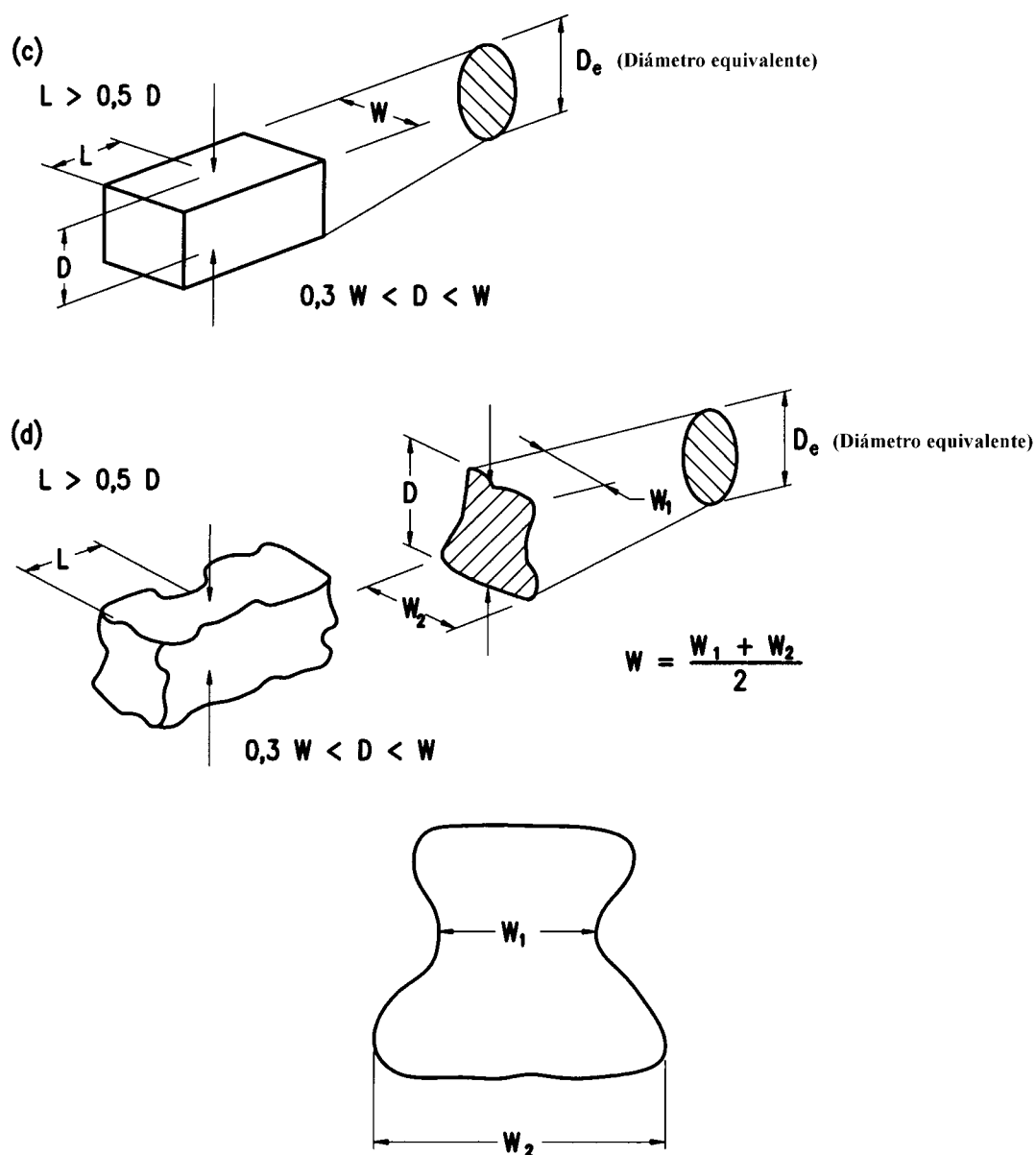
**Fig. 3 – Requisitos de forma de los fragmentos de roca para el ensayo axial**

El fragmento se introduce en la máquina de ensayo y los punzones se cierran para establecer contacto a lo largo de una línea aproximadamente perpendicular a las superficies terminales del testigo.

La distancia  $D$  entre los puntos de contacto de los punzones se medirá con una precisión  $\pm 2\%$ .

La carga se incrementa de forma constante de tal manera que se produzca la rotura entre 10 y 60 s, quedando registrada la carga  $P$ .

- c) Ensayo de bloque y fragmentos irregulares (véase figura 4): Los bloques de roca o los fragmentos irregulares de  $50 \text{ mm} \pm 35 \text{ mm}$  de la forma que se aprecia en la figura 4 son los recomendados para el ensayo de bloque y de trozos irregulares. La relación  $D/W$  estará comprendida entre 0,3 y 1,0, aproximándose preferiblemente a 1,0.



**Fig. 4 – Requisitos de forma de los fragmentos de roca para el ensayo de bloque y fragmentos irregulares**

La distancia  $L$  será como mínimo  $0,5 D$ . Pueden seleccionarse fragmentos de este tamaño y forma si se dispone de ellos, o pueden prepararse utilizando piezas más grandes cortadas con sierra o cincel.

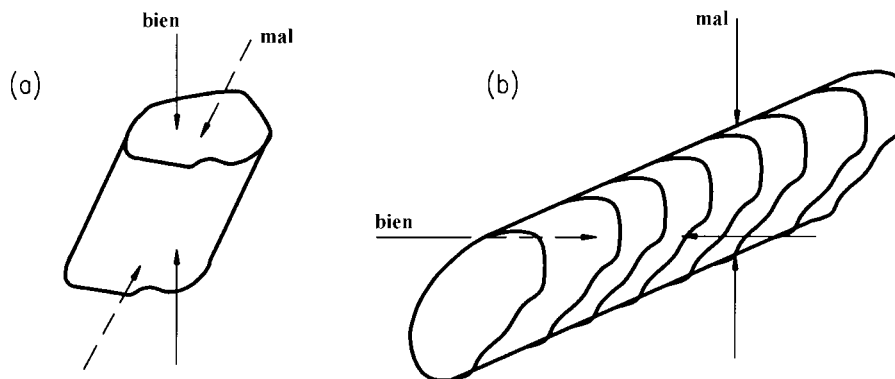
Se introduce el fragmento de roca en la máquina de ensayos y los punzones se cierran para establecer contacto con la dimensión más pequeña del trozo irregular o del bloque, lejos de bordes y esquinas.

La distancia  $D$  entre los puntos de contacto de los punzones debe quedar registrada con una precisión de  $\pm 2\%$ . El menor valor de la anchura  $W$  del fragmento se mide con una precisión de  $\pm 5\%$ .  $W$  se calculará como  $(W_1 + W_2)/2$  según se indica en la figura 4. Esta dimensión mínima  $W$  se utiliza independientemente de la forma real de la rotura (véase figura 6).

La carga se incrementa de forma constante de tal manera que se produzca la rotura entre 10 s y 60 s, quedando registrada la carga  $P$ .



- d) Roca anisotrópica (véase figura 5): Cuando una roca sea estratificada o esquistosa o visiblemente anisotrópica de algún otro modo, se ensayará en aquellas direcciones que proporcionen los valores de resistencia máxima y mínima, que en general son perpendiculares y paralelas, respectivamente, a los planos de anisotropía.



**Fig. 5 – Direcciones de carga para los ensayos de rocas anisotrópicas**

Si la muestra es un testigo perforado perpendicularmente a los planos de debilidad, puede llevarse a cabo una primera serie de ensayos diametrales espaciados a intervalos, los cuales proporcionarán unos fragmentos que pueden ser ensayados de forma axial.

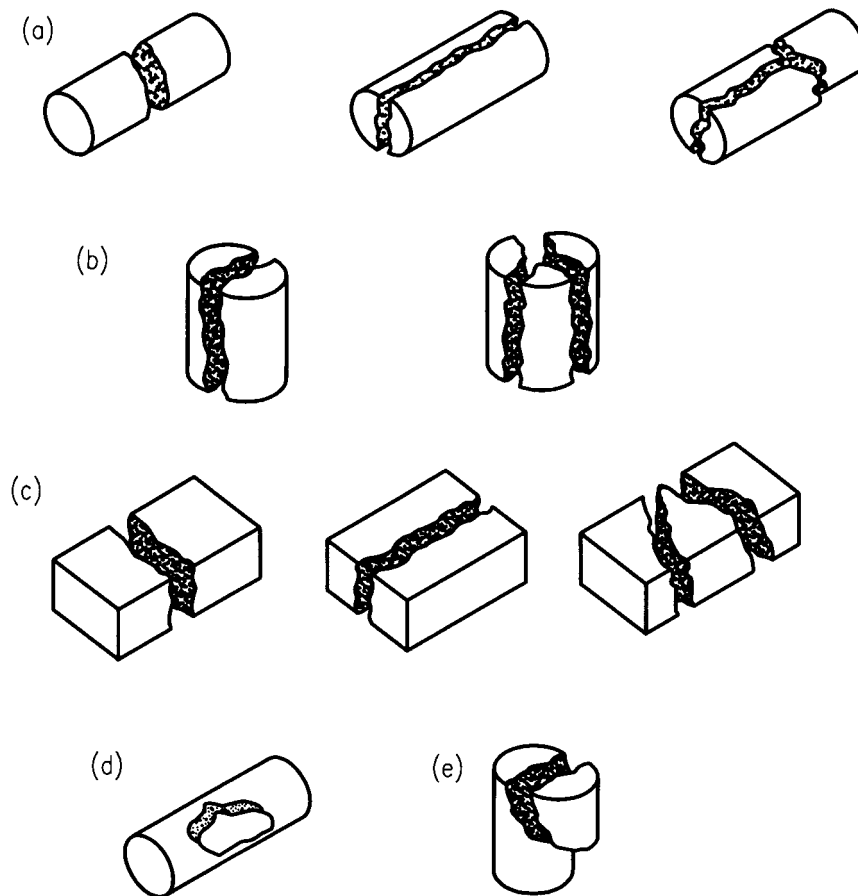
Los mejores resultados se obtienen cuando el eje del testigo es perpendicular a los planos de debilidad, de manera que, cuando sea posible, el testigo será perforado en esta dirección. El ángulo existente entre el eje del testigo y la línea perpendicular a los planos de debilidad no deberá superar, preferiblemente, los 30°.

En las mediciones del valor de  $I_s$  en las direcciones de mínima resistencia, será preciso asegurarse que la carga se aplica a lo largo de un plano de debilidad. De forma similar, cuando se ensaya el valor  $I_s$  en la dirección de máxima resistencia hay que asegurarse que la carga se aplica perpendicularmente a los planos de debilidad (véase figura 5).

Si la muestra está constituida por bloques o trozos irregulares, se ensayará como dos submuestras, aplicando primero la carga de forma perpendicular a los planos de debilidad visibles y después a lo largo de los mismos. Una vez más el valor de resistencia mínima necesario se obtiene cuando los punzones entran en contacto a lo largo de un único plano de debilidad.

- e) Especificaciones comunes a todos los ensayos: Para todas las muestras a utilizar en cada ensayo (diametral, axial, etc.) se harán al menos 10 roturas si la roca es homogénea y más si la roca es heterogénea o anisotrópica.

La rotura se considera nula cuando la superficie de fractura no contiene los dos puntos de aplicación de la carga (véase figura 6). El procedimiento operatorio descrito en los diferentes ensayos se repite para todos los fragmentos que constituyen la muestra.



- (a) ensayos diametrales válidos
- (b) ensayos axiales válidos
- (c) ensayo de bloque válido
- (d) ensayo diametral nulo
- (e) ensayo axial nulo

**Fig. 6 – Formas de rotura típicas para ensayos válidos y nulos**

Si se produce una penetración significativa de los punzones, la dimensión  $D$  que ha de ser empleada para el cálculo de la resistencia a carga puntual será el valor  $D'$  medido en el instante de la rotura.

## 4 CÁLCULOS

### 4.1 Resistencia a carga puntual no corregida ( $I_s$ )

La resistencia a carga puntual no corregida,  $I_s$ , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_s = P/D_e^2$$

donde

$D_e$       diámetro equivalente viene dado por:

$D_e^2 = D^2$  para los ensayos diametrales (o  $D_e^2 = D \cdot D'$ );

$D_e^2 = 4A/\pi$  para los ensayos axial, de bloque y de fragmentos irregulares;

$A = WD$  área mínima de la sección transversal que contiene los dos puntos de aplicación de la carga (o  $A = W \cdot D'$ ).

## 4.2 Corrección por tamaño

$I_s$  varía en función de  $D$  en el ensayo diametral y de  $D_e$  en los ensayos axial, de bloque y de fragmentos irregulares, por lo que ha de aplicarse una corrección por tamaño a fin de obtener un valor único de la resistencia a carga puntual para la muestra de roca, que pueda ser utilizado a efectos de clasificación de las rocas, según su resistencia.

El índice de resistencia a carga puntual  $I_{s(50)}$ , de una muestra o fragmento de roca se define como el valor de  $I_s$  que se obtendría con el ensayo diametral de una muestra con fragmentos de tamaño  $D = 50$  mm

El método más fiable para obtener  $I_{s(50)}$ , que es el preferido cuando se necesita una clasificación precisa de las rocas, consiste en realizar ensayos diametrales con muestras en el entorno de tamaño de 50 mm. La corrección por tamaño es entonces innecesaria ( $D = 50$  mm), o introduce un error mínimo. La mayoría de los ensayos de resistencia a carga puntual se realizan empleando otros tamaños y en tales casos ha de aplicarse la corrección de tamaño que se indica a continuación.

Para realizar la corrección por tamaño de manera precisa, se ensaya una muestra con variedad de tamaños y se traza la gráfica que muestra la relación entre  $P$  y  $D_e^2$ , que, empleando coordenadas logarítmicas, es generalmente una línea recta (véase figura 7). Los puntos que se desvían sustancialmente de la línea recta se ignoran (aunque no deben ser suprimidos). El valor de  $P_{50}$  correspondiente a  $D_e^2 = 2\,500$  mm<sup>2</sup> se obtiene por interpolación, y en caso necesario por extrapolación, y se calcula el índice de resistencia a carga puntual y tamaño corregido como  $P_{50}/50^2$ .

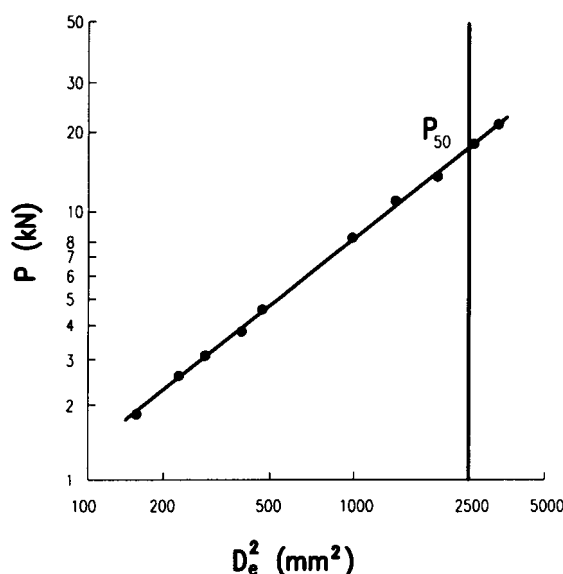


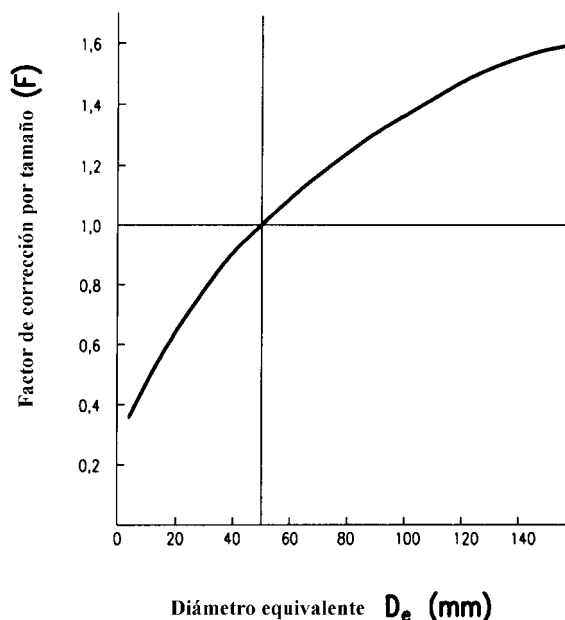
Fig. 7 – Procedimiento para la determinación gráfica de  $I_{s(50)}$

Cuando los procedimientos descritos hasta ahora no resultan aplicables, por ejemplo al ensayar un testigo de un solo diámetro distinto de 50 mm o si sólo se dispone de pequeños fragmentos, la corrección por tamaño puede realizarse aplicando la siguiente fórmula:

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s$$

El factor de corrección por tamaño se obtiene de la fig. 8 ó de la expresión:

$$F = (D_e/50)^{0,45}$$



**Fig. 8 – Gráfico del factor F de corrección por tamaño**

Los procedimientos de corrección por tamaño hasta ahora descritos, son aplicables independientemente del índice de anisotropía  $I_a$  y de la dirección de la carga respecto a los planos de debilidad.

#### 4.3 Cálculo del valor medio

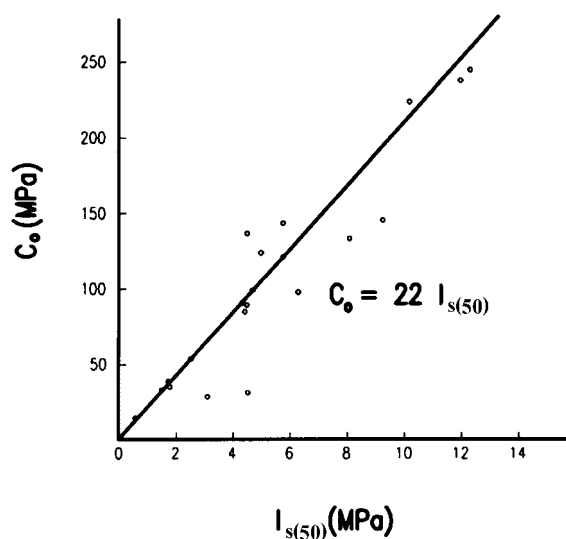
El valor medio de  $I_{s(50)}$ , que se utiliza para la clasificación de las rocas, se calcula suprimiendo los dos valores más altos y más bajos obtenidos en 10 roturas válidas, y calculando la media de los valores restantes. Si el número de roturas es significativamente menor que 10, se eliminan únicamente los valores más alto y más bajo, calculándose la media a partir de los restantes.

#### 4.4 Índice de anisotropía de la resistencia a carga puntual

El índice de anisotropía de la resistencia a carga puntual  $I_{a(50)}$ , se define como la relación entre los valores medios de  $I_{s(50)}$  máximo y mínimo.

NOTA – Cuando se introdujo el ensayo de resistencia a carga puntual, se utilizaba principalmente para predecir la resistencia a compresión uniaxial. Entonces ésta era la prueba establecida para la clasificación de las rocas según su resistencia. En la actualidad, la resistencia a carga puntual sustituye con frecuencia a la resistencia a la compresión uniaxial en este papel, ya que, cuando se realiza adecuadamente, suele tener suficiente fiabilidad y es mucho más rápida de determinar.

El  $I_{s(50)}$  deberá emplearse directamente para la clasificación de rocas, pues las correlaciones con la resistencia a la compresión uniaxial son sólo aproximadas. Por término medio, la resistencia a la compresión uniaxial es 20-25 veces mayor que la resistencia a carga puntual, como se ve en la figura 9. Sin embargo, en los ensayos realizados con muchos tipos de roca diferentes la relación puede variar entre 15 y 50, especialmente en lo que se refiere a las rocas anisotrópicas, de manera que pueden producirse errores al emplear un valor de relación arbitrario para predecir la resistencia a carga puntual.



**Fig. 9 – Ejemplo de correlación entre la resistencia a carga puntual y la resistencia a la compresión uniaxial**

## 5 INFORME DE RESULTADOS

Los resultados de los ensayos diametrales, de bloque y de fragmentos irregulares y las pruebas perpendicular y paralela a los planos de debilidad deberán ser tabulados de forma separada. El informe debe incluir la siguiente información:

- Origen de la muestra<sup>1)</sup>, incluyendo:
  - localización geográfica;
  - profundidad;
  - fecha y métodos de muestreo;
  - historia de almacenamiento y entorno.
- Descripción litológica de la roca<sup>1)</sup>.
- Información de la humedad de la muestra en el momento de realización del ensayo<sup>2)</sup> (de acuerdo con el apartado 3.3).
- Fecha de ensayo y máquina utilizada<sup>2)</sup>.
- Número del fragmento y de la muestra<sup>2)</sup>.
- Valores de D (W,  $D_e^2$  y  $D^2$  en caso necesario)<sup>2)</sup>.
- Valores de la carga de rotura  $P^2$ .
- Valores de  $I_s$ ,  $I_{s(50)}$  (F si fuese necesario)<sup>2)</sup>.
- Para todas las muestras de rocas isotrópicas, una tabulación resumida de los valores medios de  $I_{s(50)}^{2)}$ .
- Para todas las muestras de rocas anisotrópicas, una tabulación resumida de los valores medios  $I_{s(50)}$  obtenidos de los fragmentos ensayados de forma perpendicular y paralela a los planos de debilidad, y el índice de anisotropía  $I_{a(50)}^{2)}$ .
- Orientación de la dirección de la aplicación de los punzones respecto a los planos de debilidad [apartado 3.4, punto d)]<sup>2)</sup>.
- Observaciones: estado de alteración y nivel de humedad de las juntas<sup>2)</sup>.

1) Opcional.

2) Obligatorio.

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección Fernández de la Hoz, 52  
28010 Madrid-España

Teléfono (91) 432 60 00

Telefax (91) 310 36 95

Telegrama AENOR

**AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID**