

NORMA ESPAÑOLA	Propiedades mecánicas de las rocas ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA Parte 3: Determinación del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson	UNE 22-950-90 Parte 3
<p>1 OBJETO</p> <p>Esta norma tiene por objeto establecer un método para la determinación de las curvas tensión-deformación, del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson en compresión uniaxial de una probeta de roca con forma cilíndrica regular.</p> <p>2 CAMPO DE APLICACIÓN</p> <p>Esta norma no contempla la obtención de las curvas tensión-deformación más allá de la resistencia máxima.</p> <p>NOTA – Con objeto de obtener información sobre la anisotropía de la muestra, se recomienda la realización de una prueba sónica.</p> <p>Principalmente, esta norma está dirigida a la clasificación y caracterización de rocas homogéneas e isotrópicas, en las que se cumple la relación entre las tres constantes elásticas:</p> $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$ <p>donde</p> <p>G es el módulo de rigidez;</p> <p>E es el módulo de Young;</p> <p>ν es el coeficiente de Poisson.</p> <p>3 NORMAS PARA CONSULTA</p> <p>UNE 7-281 – <i>Verificación de la escala de cargas de las máquinas de ensayo a tracción.</i></p> <p>UNE 7-333 – <i>Identificación de la orientación de las probetas para ensayos mecánicos.</i></p> <p>4 DEFINICIÓN</p> <p>4.1 compresión uniaxial</p> <p>Es la compresión producida por la aplicación de una tensión normal en una sola dirección.</p> <p style="text-align: right;"><i>Continúa en páginas 2 a 9</i></p>		
Secretaría del CTN AITEMIN	Las observaciones relativas a la presente norma deben ser dirigidas a AENOR - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid	

UNE 22-950-90/3

© AENOR 1990

Depósito legal: M 46 998-90

Mechanical properties of rocks. Strength determination tests. Parte 3:
 Modules of elasticity (Young) and Poisson's ratio determination.
 Propriétés mécaniques des roches. Essais pour la détermination de la
 résistance. Partie 3: Détermination du module d'élasticité (Young) et du
 coefficient de Poisson.

Grupo 5

5 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

A_0	es el área de la sección transversal de la probeta, en mm ²
C_0	es la longitud inicial de la circunferencia de la probeta
D	es el diámetro de la probeta, en mm
D_0	es el diámetro inicial de la probeta
E	es el módulo de elasticidad (Young)
G	es el módulo de rigidez
l_0	es la longitud axial inicial de la probeta
m_a	es la pendiente de la curva tensión axial-deformación axial
m_d	es la pendiente de la curva tensión axial-deformación diametral
P	es la carga de compresión sobre la probeta, en N
ΔD	es la variación de diámetro de la probeta
ΔC	es la variación de circunferencia de la probeta
Δl	es la variación de la longitud axial de la probeta
ε_a	es la deformación unitaria axial de la probeta
ε_c	es la deformación unitaria circular de la probeta
ε_d	es la deformación unitaria diametral de la probeta
ε_v	es la deformación unitaria volumétrica
ν	es el coeficiente de Poisson
σ_c	es la tensión de compresión en la probeta, en MPa

6 MÉTODO DE ENSAYO

6.1 Aparatos

6.1.1 Dispositivo de carga. Se utilizará una máquina adecuada para aplicar y medir la carga axial sobre la muestra. Deberá ser de suficiente capacidad y podrá aplicar la carga a la velocidad que se especifica en el apartado 6.3.1. Esto se verificará a intervalos de tiempo adecuados y debe cumplir con la norma UNE 7-281.

6.1.2 Elementos de contacto. Los elementos de contacto serán dos placas de acero de 58 Rockell C de dureza, por lo menos, y con forma de disco. Su diámetro estará comprendido entre D , y $1,1D$, donde D es el diámetro de la probeta expresado en milímetros. El espesor de las placas debe ser como mínimo $D/3$. Las superficies de las placas deben estar rectificadas y su error de planitud debe ser inferior a 0,005 mm. A intervalos de tiempo adecuados se verificará esta planitud.

6.1.3 Asiento esférico. Los platos de la máquina o las placas en contacto con las superficies de la muestra deben incorporar al menos un asiento esférico. El asiento esférico de la placa debe estar lubricado con aceite mineral. El centro de curvatura del asiento esférico debe coincidir con el centro de la cara de la probeta.

La probeta, las placas y el asiento esférico deben estar correctamente centrados unos con respecto a otros y a la máquina de carga.

6.1.4 Dispositivos de medida de las deformaciones de la probeta

Las deformaciones podrán medirse mediante bandas extensométricas, transformadores, diferenciales lineales, comprensómeros, dispositivos ópticos u otros medios de medición adecuados.

El dispositivo de medida será capaz de obtener al menos dos medidas de la media de la deformación axial y otras dos de la media de la deformación diametral para cada incremento de carga.

Las posiciones de medida estarán igualmente espaciadas a lo largo de la circunferencia de la probeta lo más equidistante posible de las placas de carga y a distancia mayor de $D/2$ de los bordes de la probeta.

Si se utilizaran bandas extensométricas de resistencia eléctrica, su longitud será, como mínimo, de 10 veces el diámetro de grano.

Las deformaciones deberán determinarse con una exactitud del 2% de la lectura para lecturas mayores de $250 \mu\text{m/m}$ y menor de $5 \mu\text{m/m}$ para lecturas inferiores a $250 \mu\text{m/m}$. La precisión será del 0,2 % de fondo de escala.

Caso de utilizarse micrómetros de dial o transformadores diferenciales lineales, deben graduarse para leer en pasos de 0,002 mm, debiendo determinarse la lectura con una exactitud de 0,002 mm para medidas de hasta 0,02 mm y de 0,005 mm para medidas hasta 0,25 mm.

6.2 Preparación y conservación de las muestras para ensayo y de las probetas

6.2.1 Dimensiones de la probeta. Las probetas deberán ser cilíndricas, con una relación altura/diámetro de 2,5 a 3,0. El diámetro deberá ser 10 veces superior al tamaño del grano mayor de la roca, y no inferior a 50,0 mm.

Se medirán dos diámetros en ángulo recto en la parte superior, en la parte media y en la parte inferior de la probeta, y se calculará el diámetro medio con una aproximación de 0,1 mm. El diámetro medio se utiliza para calcular la superficie de la sección transversal. La altura de la muestra se determinará con 1,0 de aproximación.

6.2.2 Tratamiento y acabado de las probetas. Para alcanzar las formas citadas en el apartado 6.2.1 hay que elaborar las probetas mediante perforación, corte, torneado y pulido o cualquier otro método apropiado. Hay que procurar que el medio de refrigeración y circulación afecte lo menos posible a las propiedades del material.

La superficie lateral de la probeta debe ser lisa y estar libre de irregularidades. Las bases deben ser planas y formar un ángulo recto con el eje de la probeta de ensayo.

Se refleja en la tabla 1 la tolerancia en la elaboración de probetas de roca para el ensayo de determinación del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson.

Se debe evitar el empleo de materiales de recubrimiento como igualadores para conseguir el paralelismo requerido de las superficies de las bases de la probeta ensayo. Si fuera necesario desviarse de esta regla debido a las características propias del material a ensayar, habrá que indicarlo en el protocolo del ensayo.

6.2.3 Humedad. Siempre que sea posible, las condiciones de humedad "in situ" deben preservarse hasta el momento del ensayo, ya que la humedad tiene un efecto significativo sobre la deformabilidad de la probeta.

Tabla 1

Tolerancia de la elaboración de probetas de rocas para el ensayo de determinación del módulo de elasticidad (Young) y del coeficiente de Poisson

	Rocas de poca deformabilidad ej. cuarcita, granito, etc.	Rocas de deformabilidad media ej. arenisca, caliza, etc.	Rocas de deformabilidad alta ej. lutita, margas, etc.
Desviación de la generatriz respecto a la dirección axial	± 0,3 mm	± 0,4 mm	± 0,5 mm
Tolerancia de planitud de la base	± 0,02 mm	± 0,05 mm	± 0,1 mm
Desviación respecto a la perpendicular del ángulo entre la base y el eje de la probeta del ángulo recto	± 10'	± 20'	± 30'

6.3 Procedimiento operatorio

6.3.1 Carga sobre la probeta. La carga se aplicará continuamente de forma tal que la rotura se produzca entre los 5 min y 10 min desde el comienzo de aplicación de la carga. Alternativamente, la velocidad de carga debe estar comprendida dentro de los límites de 0,5 y 1,0 MPa/s.

6.3.2 Carga y deformaciones diametral y axial. La carga aplicada y las deformaciones axial y diametral se registrarán durante el ensayo a intervalos de carga de igual espaciamiento, en caso de que no sean registradas continuamente. Se tomarán al menos veinte lecturas en el intervalo de carga para definir las curvas de tensión-deformación.

6.3.3 Número de probetas ensayadas. Se determinarán según consideraciones prácticas, pero es conveniente que sean cinco probetas como mínimo.

6.4 Obtención y expresión de los resultados

6.4.1 Deformación axial y diametral. Las deformaciones axial y diametral se pueden registrar directamente con los dispositivos indicadores de deformación, o bien, se pueden calcular a partir de las lecturas de deformación, según sea el tipo de instrumentación, tal como se ha indicado en el apartado 6.1.4.

a) Si la medida es indirecta, la deformación axial se calculará a partir de la expresión siguiente:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta l}{l_0}$$

donde

ε_a es la deformación unitaria axial;

l_0 es la longitud axial inicial de la probeta;

Δl es la variación de la longitud axial, que se debe tomar positivo para una disminución de longitud;

b) La deformación diametral se calculará por medida de la variación de diámetro de la probeta, o bien, por medida de la deformación de la circunferencia.

6.4.1.1 En caso de medir los cambios de diámetro, la deformación diametral debe calcularse a partir de la expresión siguiente:

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta D}{D_0}$$

donde

ε_d es la deformación diametral;

D_0 es el diámetro inicial no deformado de la probeta;

ΔD es la variación de diámetro, que se debe tomar negativa para un aumento de diámetro.

6.4.1.2 En caso de medir los cambios de circunferencia, la deformación circular debe calcularse a partir de la expresión siguiente:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta C}{C_0}$$

donde

ε_c es la deformación unitaria circular;

C_0 es la longitud inicial de la circunferencia de la probeta;

ΔC es el cambio de la longitud de la circunferencia.

6.4.1.3 La deformación circular está relacionada con la deformación diametral por medio de la relación:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta D}{D_0} = \varepsilon_d$$

donde

$$\varepsilon_c = \varepsilon_d$$

6.4.1.4 La tensión de compresión en la probeta se calculará dividiendo la carga de compresión sobre la probeta entre el área de la sección transversal.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

donde

σ es la tensión de compresión en la probeta, en MPa;

P es la carga de compresión sobre la probeta, en N;

A_0 es el área de la sección transversal, en mm².

Se tomarán positivas las tensiones y deformaciones de compresión.

6.4.2 Formato de las curvas tensión-deformación diametral y axial. En la figura 1 se indica cómo debe ser el formato para la representación gráfica de las curvas tensión axial - deformación diametral y tensión axial - deformación axial. Estas curvas muestran el comportamiento típico de los materiales rocosos desde tensión cero hasta tensión final, σ_c .

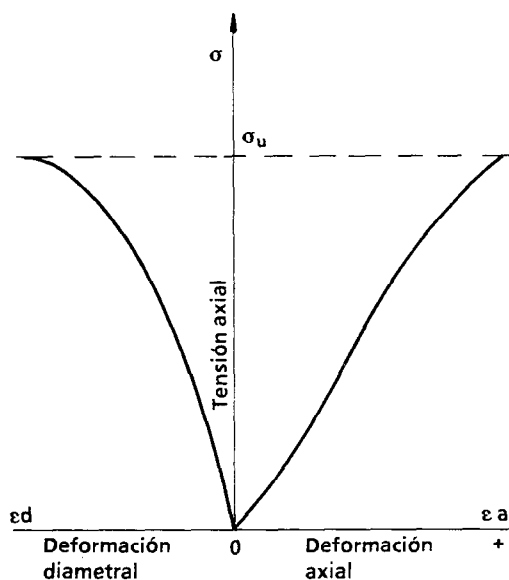


Fig. 1. – Diagrama tensión-deformación

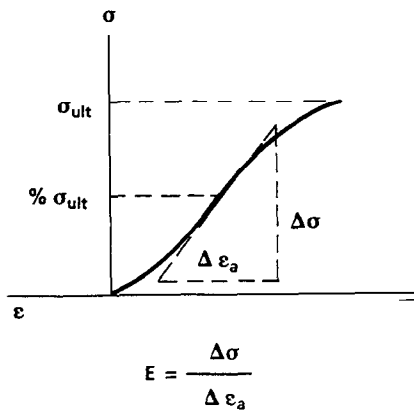
6.4.3 Módulo de elasticidad (Young). Se define como el cociente entre la variación de la tensión axial y la deformación. Debe expresarse en unidades de tensión, tal como P_a , pero es conveniente que se exprese en GP_a . El módulo de elasticidad (Young) debe calcularse según uno de estos tres procedimientos, indicados en la figura 2:

- módulo tangente de Young (véase figura 2a);
- módulo medio de Young (véase figura 2b);
- módulo secante de Young (véase figura 2c).

6.4.3.1 El módulo tangente de Young se medirá a un determinado nivel de tensión, que es un porcentaje fijado de la resistencia final. Es conveniente que se tome a un nivel de tensión igual al 50% de la resistencia a compresión uniaxial final.

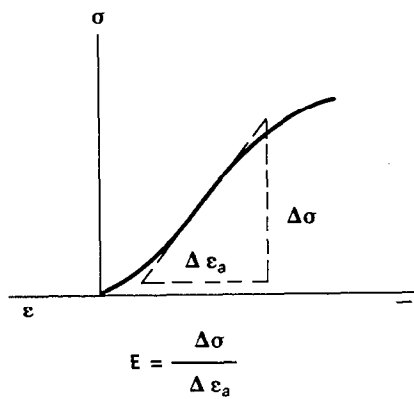
6.4.3.2 El módulo medio de Young se determinará a partir de la pendiente media de la porción aproximadamente recta de la curva tensión axial-deformación axial.

6.4.3.3 El módulo secante de Young se medirá desde una tensión cero hasta un porcentaje prefijado de la resistencia final, el cual es conveniente que sea el 50%.



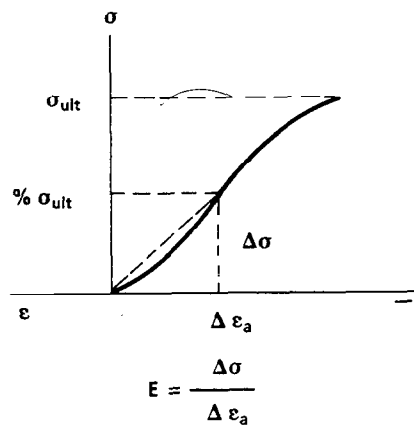
Módulo tangente medido como un porcentaje fijo de la resistencia final.

Figura 2a



Módulo medio de la zona lineal de la curva tensión axial - deformación.

Figura 2b



Módulo secante, medido sobre un porcentaje fijo de la resistencia final.

Figura 2c

Fig. 2. – Cálculo del módulo de Young a partir de la curva tensión axial-deformación

6.4.4 Coeficiente de Poisson. Se calculará mediante la expresión siguiente:

$$\nu = \frac{-m_a}{m_d} = \frac{-E}{m_d}$$

donde

ν es el coeficiente de Poisson;

m_a es la pendiente de la curva tensión axial-deformación axial;

m_d es la pendiente de la curva tensión axial-deformación diametral;

E es el Módulo de Young.

La pendiente de la curva tensión axial-deformación diametral debe calcularse de la misma manera que en cualquiera de los tres métodos que se indican en el apartado 6.4.6.

6.4.5 Deformación volumétrica. Para un nivel de tensión dado, debe calcularse a partir de la relación:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2 \varepsilon_d$$

donde

ε_v es la deformación unitaria volumétrica;

ε_a es la deformación unitaria axial;

ε_d es la deformación unitaria diametral.

6.5 Informe de resultados

Debe anotarse la siguiente información:

- a) 1) Descripción litológica de la roca.
- b) 2) Orientación del eje de carga con respecto a la anisotropía de la probeta (por ejemplo, planos de estratificación, foliación, etc.) según norma UNE 7-333.
- c) 1) Origen de la muestra, incluyendo:
 - localización geográfica;
 - profundidad y orientaciones;
 - fechas y método de muestreo;
 - historia de almacenamiento y entorno.
- d) 2) Número de probetas ensayadas.
- e) 2) Diámetro y altura de la probeta, en mm.
- f) 1) Contenido de agua y grado de saturación en el momento de recepción de la muestra y de realización del ensayo.
- g) 1) Fecha de ensayo y descripción del equipo de ensayo.
- h) 2) Forma de rotura (por ejemplo, cizallamiento, fracturación axial, etc.) (Foto o croquis).

1) Opcional

2) Obligatorio

- i) 1) Cualquier otra observación o dato físico disponible, tales como peso específico, porosidad y permeabilidad, citando el método de determinación de cada una.
- j) 2) Valores de la carga aplicada, tensión y deformación, como resultados tabulados o registrados sobre un gráfico.
- k) 2) Módulo de elasticidad (Young) y coeficiente de Poisson para cada probeta de la muestra, expresado con tres decimales, junto con el resultado medio para la muestra.
- l) 2) Método de determinación del módulo de elasticidad (Young) y coeficiente de Poisson, y nivel o niveles de esfuerzo axial a que fue determinado.
- m) 2) Carga de rotura de la probeta en MP_a expresada con un decimal.
- n) 2) Si las probetas ensayadas no cumplen con algunas de las especificaciones contenidas en esta norma, se indicará en el informe del ensayo.

1) Opcional

2) Obligatorio

