

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

GEOTECNIA. DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD (MODULO DE YOUNG) Y COEFICIENTE DE POISSON EN ROCAS Y SEMIRROCAS

Geotechnics. Elastic Modulus of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression

Descriptores: Suelo; terreno; determinación; módulo de elasticidad; roca.

1. Edición

1998

ICS: 93.020

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Teléf.: 30-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: ncnorma@ceniai.inf.cu

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

- La presente norma ha tomado como base para su elaboración la norma ASTM D 3418:93
- Ha sido elaborada por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) del Ministerio de la Construcción en consenso con el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 20 de Geotecnia.
- Sustituye a la NC 54-280:84. Las principales modificaciones, incluidas las del procedimiento, están relacionadas con lo establecido en la norma ASTM antes mencionadas
- Consta de los Anexos A, B, C y D, informativos.

© NC, 1998

Todos los derechos reservados, a menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:

Oficina Nacional de Normalización (NC).

Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.

Impreso en Cuba

Indice

1. Objeto	1
2. Referencias normativas	1
3. Generalidades	1
4. Aparatos, utensilios y medios de medición.....	2
5. Preparación de las muestras.	2
6. Procedimiento	3
7. Expresión de los resultados	5
8. Reporte	10
Anexos	12
A. Bibliografía	12
B. Modelo de datos iniciales de la muestra.....	13
C. Modelo de registros de las deformaciones de la muestra.....	14
D. Modelo de gráfico de esfuerzo vs deformación	14

GEOTECNIA. DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD (MODULO DE YOUNG) Y COEFICIENTE DE POISSON EN ROCAS Y SEMIRROCAS

1 Objeto

Esta Norma Cubana especifica un método para la determinación del módulo de elasticidad (módulo de Young) y el coeficiente de Poisson (ν) de especímenes de rocas cilíndricas inalteradas en compresión axial.

2 Referencias normativas

La siguiente norma contiene disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones de esta Norma Cubana. La edición indicada está en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente. La Oficina Nacional de Normalización posee la información de las Normas Cubanas en vigencia en todo momento.

NC 54 - 236 : 83 Rocas. Ensayos para la determinación de la humedad.

3 Generalidades

- La medida de las propiedades de la resistencia y deformación en el laboratorio a especímenes de roca, no refleja exactamente a gran escala las propiedades in situ, porque éstas son influenciadas por juntas, fallas, heterogeneidades, planos de debilitamiento y otros factores.
- Esta norma establece utilizar el "Procedimiento para determinar el valor del módulo de Young" o el "Procedimiento para determinar el valor del módulo de Young y el coeficiente de Poisson (ν)".
- Para determinar la anisotropía, se realiza un ensayo en el sentido de la carga paralelo al plano de foliación y el otro en el sentido de la carga a 90° con respecto al plano de foliación del espécimen.
- Las deformaciones axiales y esfuerzos se medirán por cualquier sistema de medición: indicadores de carátula, instrumentos eléctricos y recursos de óptica; siempre que se cumpla con los requerimientos de precisión y posibilidades de medición, según se especifica en esta norma.
- Se utilizarán instrumentos de medición de forma tal, que al menos el promedio de dos deformaciones axiales y dos deformaciones laterales puedan ser registradas para cada incremento de la carga.
- La condición de humedad del espécimen en el momento del ensayo puede tener un efecto significativo sobre la resistencia de la roca, en algunos casos existen determinados tipos de rocas en que es posible realizar el ensayo con la humedad natural in situ del espécimen, aunque pueden ensayarse especímenes con otros contenidos de humedad.

4 Aparatos, utensilios y medios de medición

- Prensa axial, de suficiente capacidad que pueda aplicar la carga a la velocidad especificada en esta norma, equipada con dos platos de carga, los cuales deben tener una dureza Rockwell de no menos que 58 HRC, uno de los platos debe tener un asiento esférico y el otro debe tener una superficie plana y completamente horizontal y ser rígido, la rugosidad de la superficie de la carga de estos platos debe estar en un rango de 15 μm hasta 25 μm . El diámetro del asiento esférico del plato movable debe ser al menos el mismo diámetro del espécimen de ensayo, pero no debe exceder dos veces el diámetro del mismo. La parte movable del plato de carga debe estar ajustada al asiento esférico y tiene que coincidir aproximadamente con el centro de la superficie de carga del espécimen.

En algunos casos se utilizan discos entre la superficie de los platos de cargas y la superficie de carga de la muestra, de acuerdo a los requerimientos mencionados para los platos de carga, consistiendo en discos de aproximadamente 15 mm a 20 mm de espesor con tratamiento térmico y con una dureza Rockwell de no menos de 58 HRC, con las superficies perfectamente pulidas y la misma medida de rugosidad que para los platos de carga.

- Estufa con control de la temperatura de hasta de 110 °C \pm 5 °C.
- Balanza con límite superior de pesada hasta 5 kg y valor por división de 0,1 g.
- Balanza con límite superior de pesada igual a 311 g y valor por división de 0,01 g.
- Pie de rey de 300 mm con valor por división de 0,01 mm.
- Recipiente de aluminio cuya masa (tara) sea conocida.
- Tanque de inmersión de 50 cm x 50 cm x 30 cm.
- Desecadora.
- Equipos de medición, indicadores de carátula, instrumentos eléctricos, ópticos u otros, de valor por división no mayor de 0,01 mm.

5 Preparación de las muestras.

5.1 Las muestras de roca tendrán una esbeltez de $2 \leq h/d \leq 2,5$.

donde:

h es la altura promedio del espécimen, en centímetros;

d es el diámetro promedio del espécimen, en centímetros.

5.2 Se preparan las muestras de ensayo según los procedimientos establecidos.

5.3 Se determina el volumen de cada espécimen por el promedio de tres lecturas del diámetro superior, medio e inferior y la altura con una precisión de 0,1 mm, anotándose en el Anexo B.

5.4 Se determina la masa con el contenido de humedad que se requiere realizar el ensayo; saturada, secada al aire, secada en estufa o con la humedad natural, con una precisión de 0,1 g, y se anota en el Anexo B.

5.5 Para ensayar el espécimen en estado seco, se coloca en la estufa a una temperatura de aproximadamente $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durante un período mínimo de 24 h. Se extrae de la estufa, se deja enfriar en la desecadora y se le determina la masa seca. Se introduce nuevamente en la estufa y se realiza el mismo procedimiento anterior cada 3 h, hasta obtener una masa seca constante (W_s).

5.6 Para ensayar el espécimen en estado saturado se coloca en el tanque de inmersión hasta que ocupe dos tercios de su altura durante 6 h, pasado este tiempo se eleva el nivel del agua hasta 3 cm de la parte superior de la muestra por un período de al menos 24 h. Se extrae del tanque de inmersión y se seca con un papel de filtro a fin de eliminar el exceso de agua en la superficie externa y se le determina la masa saturada (W_{sat}). Se introduce nuevamente en el tanque de inmersión y se realiza el mismo procedimiento anterior hasta obtener una masa saturada (W_{sat}) constante, anotándose en el Anexo B.

5.7 Para ensayar el espécimen en estado natural se conserva su humedad natural in situ hasta el último momento de la prueba y se le determina la masa húmeda (W_h).

5.8 Para ensayar los especímenes con otros contenidos de humedad se le determina su masa húmeda (W_h), indicando que no es la humedad natural in situ.

6 Procedimiento

6.1 Determinación del módulo de elasticidad (módulo de Young)

6.1.1 Se verifica que el asiento esférico esté completamente ajustado y se comprueba que el plato gire libremente antes de cada ensayo.

6.1.2 Se limpian las superficies de carga de ambos platos (superior e inferior) y se coloca en el plato inferior el equipo de medición y el espécimen de ensayo, si es necesario se colocan los discos mencionados de acuerdo al capítulo 4.

6.1.3 Se centra cuidadosamente el eje del espécimen y el equipo de medición con el asiento esférico del plato superior.

6.1.4 Se ajusta el plato superior móvil de manera que se obtenga un asiento uniforme en el espécimen de ensayo.

6.1.5 Se colocan los instrumentos de medición de forma tal que los puntos de medición para registrar las deformaciones axiales se encuentren igualmente espaciados alrededor de la circunferencia del espécimen y en la parte superior.

6.1.6 Se aplica una pequeña carga de asiento de 0,1 kN y se colocan los indicadores de carátula en la deformación inicial.

6.1.7 Se aplican las cargas continuamente y sin impactos a una velocidad constante de tal modo que la falla ocurra entre 2 min y 15 min después de iniciada.

6.1.8 Se registran las cargas y las deformaciones axiales en iguales incrementos de cargas, registrando al menos 10 lecturas para definir la curva de esfuerzo (σ) vs deformación axial unitaria (ϵ_a) para cada incremento de la carga hasta la rotura y se anota este valor de la resistencia a compresión (σ_c) en el Anexo C.

6.1.9 Se determina la humedad del espécimen de ensayo, según NC 54-236 .

6.2 Determinación del módulo de elasticidad E (módulo de Young) y el coeficiente de Poisson (ν).

6.2.1 Se realizan los procedimientos desde 6.1.1 hasta 6.1.5 .

6.2.2 Se colocan los instrumentos de medición para determinar las deformaciones diametrales, de forma tal que los puntos de medición para registrar estas deformaciones se sitúen a la mitad de la altura del espécimen y se encuentren igualmente espaciados alrededor de la circunferencia, normales a la superficie en los puntos de medición.

6.2.3 Se realizan los procedimientos descritos en 6.1.6 y 6.1.7 .

6.2.4 Se registran las cargas, las deformaciones axiales y las deformaciones diametrales en iguales incrementos de cargas, registrando al menos 10 lecturas para definir la curva de esfuerzo (σ) vs deformación axial unitaria (ϵ_a) y esfuerzo (σ) vs deformación diametral unitaria (ϵ_d) para cada incremento de la carga hasta la rotura y se anota este valor de la resistencia a compresión (σ_c), en el Anexo C.

6.2.5 Se realiza lo indicado en 6.1.9.

7 Expresión de los resultados

7.1 Se determinan los pesos específicos en el estado en que se realizó el ensayo, mediante las expresiones siguientes:

$$\gamma_f = \frac{Wh}{V} \times 9,807 \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$\gamma_d = \frac{Ws}{V} \times 9,807 \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_{\text{sat}}}{V} \times 9,807 \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$W_s = \frac{Wh}{100 + \omega_p} \times 100 \quad (\text{g})$$

donde:

Wh es la masa húmeda, en gramos;

Ws es la masa seca, en gramos;

Wsat es la masa saturada, en gramos;

V es el volumen del espécimen, en centímetro cúbico.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h \quad (\text{cm}^3)$$

d es el diámetro promedio de la muestra, en centímetros;

h es la altura promedio de la muestra, en centímetros;

γ_f es el peso específico húmedo, en kilonewton por metro cúbico;

γ_d es el peso específico seco, en kilonewton por metro cúbico;

γ_{sat} es el peso específico saturado, en kilonewton por metro cúbico;

ω_p es la humedad promedio, en tanto por ciento.

7.2 Determinación del módulo de elasticidad E (módulo de Young).**7.2.1** El esfuerzo (σ) para cada incremento de la carga se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{P}{A} \times 10 \quad (\text{MPa})$$

donde:

P es la carga aplicada en el incremento de la carga, en kilonewton;

A es el área de la sección transversal del espécimen, en centímetros cuadrados;

 σ es el esfuerzo aplicado en el incremento de la carga, en megapascal;**7.2.2** La deformación axial unitaria (ε_a) se calcula mediante la siguiente expresión.

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta h}{h} \quad (\text{adimensional})$$

donde:

 Δh es el promedio de incremento de la deformación axial con el incremento de la carga (convencionalmente de signo negativo), en centímetros;

h es la altura inicial de la muestra, en centímetros;

 ε_a es la deformación axial unitaria, adimensional.**7.2.3** El módulo de elasticidad (E), puede ser calculado usando varios métodos, los más empleados son los que se encuentran en los dibujos de las figuras 1, 2 y 3 y son los siguientes:

- El módulo tangente en un nivel de esfuerzo, el cual está muy relacionado con la resistencia a compresión (σ_u) alrededor de un 50% de la misma (véase la figura 1).

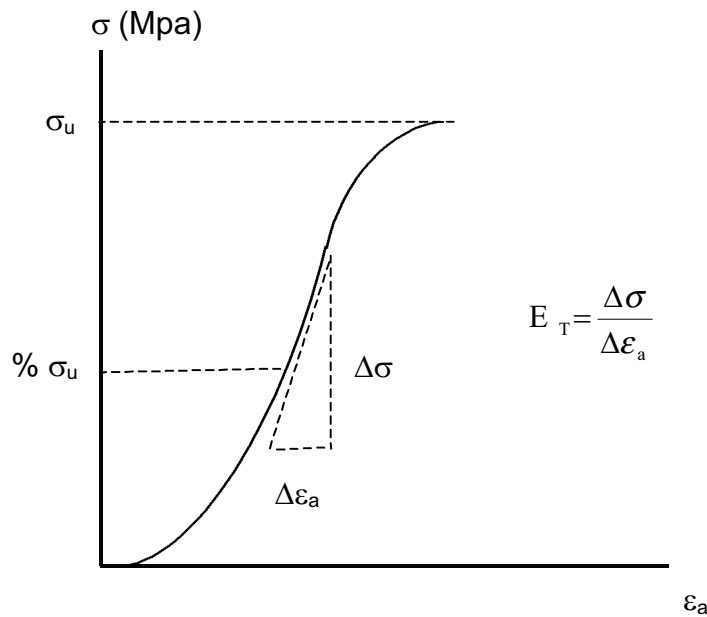


Figura 1. Módulo tangente para un porcentaje fijo de la resistencia a compresión de la curva esfuerzo (σ) vs deformación axial unitaria (ϵ_a).

- El promedio por la aproximación de la línea recta de la curva esfuerzo (σ) vs deformación axial unitaria (ϵ_a) (véase la figura 2).

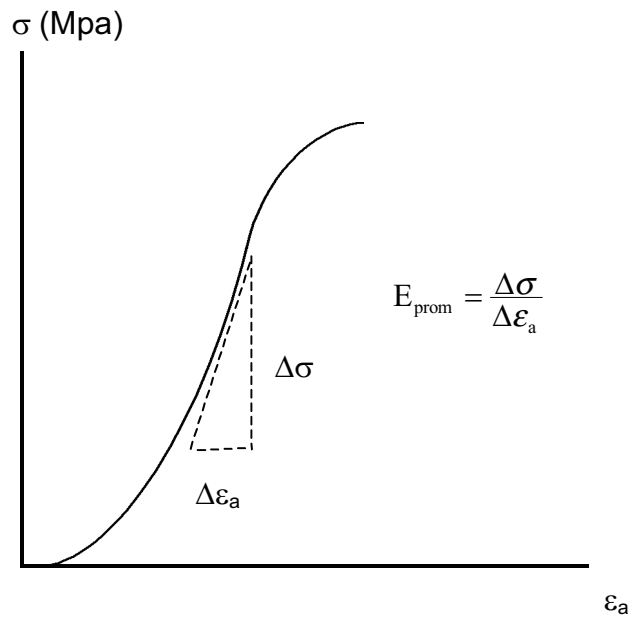


Figura 2. Módulo promedio de la porción lineal de la curva esfuerzo vs deformación axial unitaria (ϵ_a).

- El módulo secante de la curva desde un nivel de esfuerzo cero hasta un punto correspondiente con un porcentaje de la resistencia a compresión (σ_u), generalmente 50% (véase la figura 3).

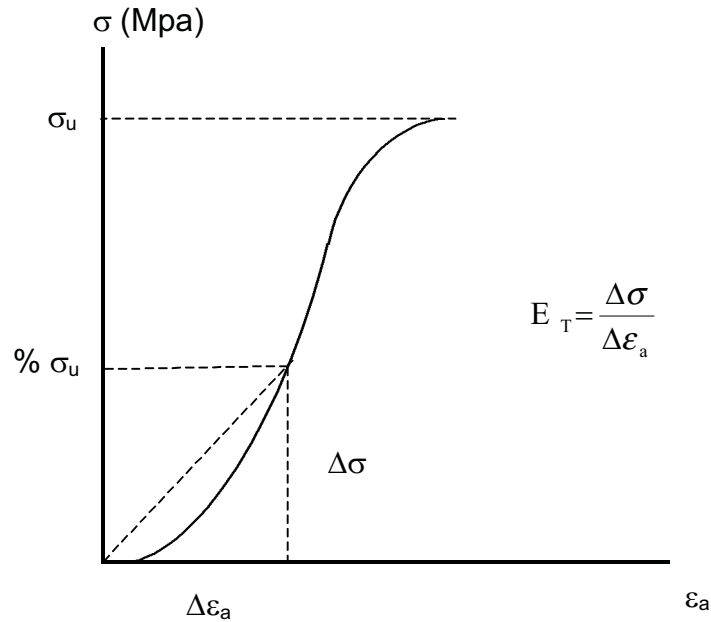


Figura 3. Módulo secante medido para un porcentaje fijo de la resistencia a compresión.

7.2.4 La expresión que se utiliza para la determinación del módulo de elasticidad E (módulo de Young) en todos los casos es la siguiente:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a} \quad (\text{MPa})$$

donde:

$\Delta\sigma$ es el intervalo de esfuerzos (convencionalmente de signo positivo), en megapascal;

$\Delta\epsilon_a$ es la deformación axial unitaria en el intervalo especificado, adimensional;

E es el módulo de elasticidad (módulo de Young), en megapascal.

7.3 Determinación del módulo de elasticidad E (módulo de Young) y coeficiente de Poisson (ν).

7.3.1 Para determinar el módulo de elasticidad, se sigue el mismo análisis según 6.2 .

7.3.2 La deformación diametral unitaria (ε_d) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d} \quad (\text{adimensional})$$

donde:

Δd es el promedio de incremento de la deformación diametral con el incremento de la carga (convencionalmente de signo positivo), en centímetros;

d es el diámetro inicial de la muestra, en centímetros;

ε_d es la deformación diametral unitaria, adimensional.

En el caso de utilizar indicadores de carátula, Δd se obtiene por:

$$\Delta d = \frac{\sum K}{N} \times 2$$

donde:

$\sum K$ es la sumatoria de lecturas de todos los indicadores de carátula, colocados para medir deformaciones diametrales, en centímetros.

N es el número de indicadores de carátula para medir las deformaciones diametrales.

7.3.3 El coeficiente de Poisson (ν) se determina por la siguiente expresión, conforme al criterio que se utilizó para determinar el módulo de Young.

$$\nu = -\frac{\Delta \varepsilon_d}{\Delta \varepsilon_a} \quad (\text{adimensional})$$

donde:

$\Delta \varepsilon_d$ es la deformación diametral unitaria en el intervalo especificado, adimensional;

$\Delta \varepsilon_a$ es la deformación axial unitaria en el intervalo especificado, adimensional;

ν es el coeficiente de Poisson, adimensional.

7.3.4 En caso de utilizar el procedimiento descrito en 6.1, se plotea la curva de esfuerzo (σ) vs deformación axial unitaria (ε_a). En caso de utilizar el procedimiento descrito en 6.2, se plotea la curva de esfuerzo (σ) vs deformación axial unitaria (ε_a) y la curva de esfuerzo (σ) vs deformación diametral unitaria (ε_d), véase la figura 4.

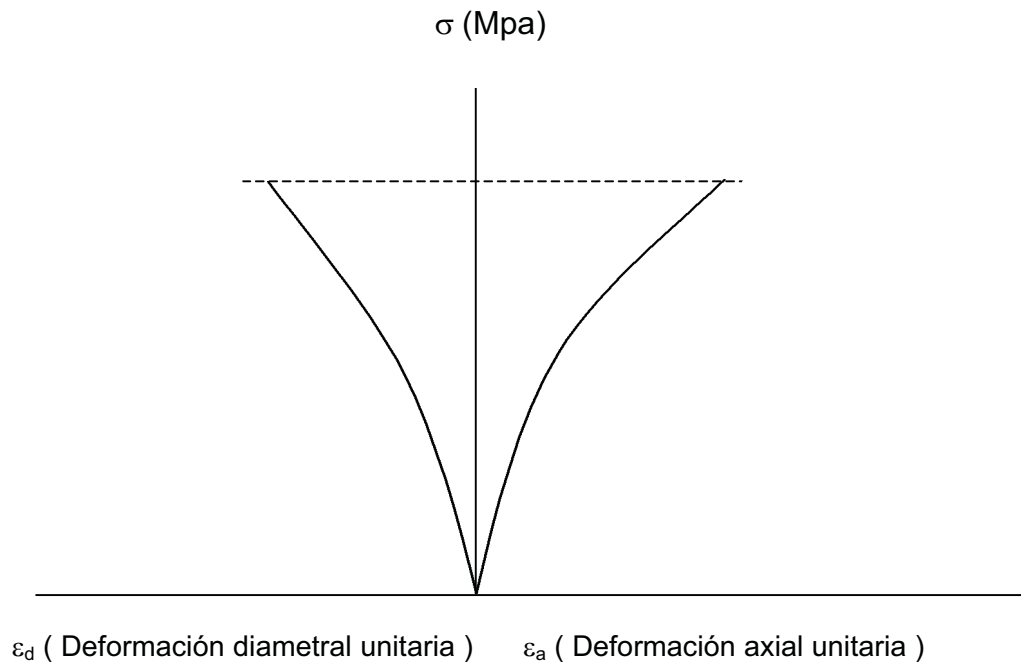


Figura 4. Representación gráfica de las curvas esfuerzos (σ) vs deformaciones axiales unitarias (ε_a) y esfuerzos (σ) vs deformaciones diametrales unitarias (ε_d).

8 Reporte

8.1 En caso de utilizar el procedimiento descrito en 6.1, el reporte deberá incluir lo siguiente:

- Cala, muestra, profundidad, incluyendo el nombre del proyecto.
- Registro de los datos del ensayo, valores de las cargas aplicadas, esfuerzos y deformaciones axiales, así como el cálculo de las deformaciones axiales unitarias en cada caso.
- Descripción física del espécimen, incluyendo tipo de roca, orientación de planos aparentes de debilitamiento, planos de estratificaciones o esquistosidad y grandes inclusiones o heterogeneidades si existen.
- Indicaciones generales de condiciones de humedad en el momento de la prueba como saturación, secado al aire o en estufa. Se recomienda que la condición de humedad de la muestra se determine con la mayor precisión posible y sea reportada como contenido de humedad.
- Gráfico de esfuerzos (σ) vs deformaciones unitarias axiales (ε_a) (véase el Anexo D).

8.2 En caso de utilizar el procedimiento descrito en 6.2, debe incluirse además de lo planteado en 8.1 lo siguiente:

- Cargas y deformaciones diametrales por causa de esas cargas
- Gráfico de esfuerzos (σ) vs deformaciones unitarias diametrales (ϵ_d) como se muestra en la figura 4 (véase el Anexo D).
- El coeficiente de Poisson (ν), la forma en que fue calculado y en el nivel de esfuerzo en que se determinó.

ANEXO A
(Informativo)
BIBLIOGRAFÍA

ASTM D-3148:93. Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression.

ASTM D-4543:85. Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances

Rock Characterization Testing & Monitoring ISRM Suggested Methods Editor E.T Brown Copy Right 1981 Pergamon Press Ltd.

**ANEXO B
(Informativo)
MODELO DE DATOS INICIALES DE LA MUESTRA**

Organismo:	Dependencia:	Determinación del módulo de elasticidad (módulo de Young) (E) y el coeficiente de Poissón (ν)		
Obra: _____		Registro : _____		
Cala: _____		Muestra: _____	Profundidad: _____	
Fecha: _____		Operador : _____	Calculista : _____	
Datos iniciales del espécimen		Humedad		
Diámetro (cm)		Promedio	Pesafiltro	
Superior			Masa húmeda (g)	
Medio			Masa seca (g)	
Inferior			Tara	
Altura			Humedad (ω) %	
Diámetro Promedio _____ cm		ω prom.		
Area : _____ cm ²		Volumen: _____ cm ³		
Masa húmeda (Wh): _____ g				
Masa seca (Ws): _____ g				
Masa saturada (Wsat.): _____ g				
Peso específico húmedo (γ_t) : _____ kN / m ³				
Peso específico seco (γ_d) : _____ kN / m ³				
Peso específico saturado (γ_{sat}) : _____ kN / m ³				
Descripción: _____				

