
	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	1/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Manual de prácticas del laboratorio de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo

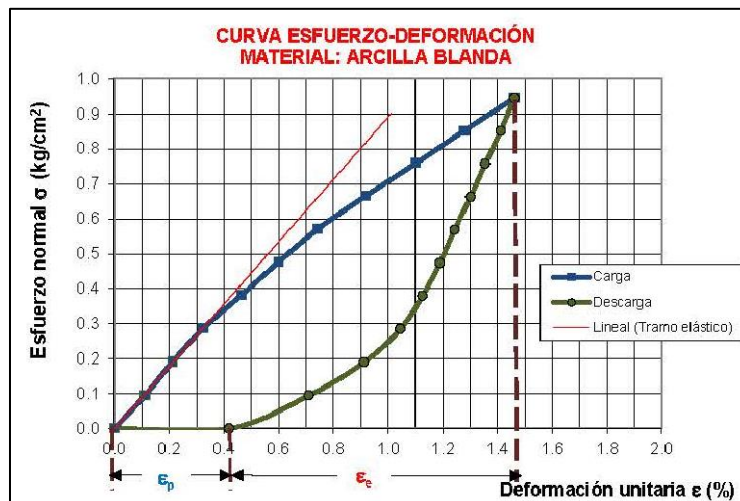
Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
M.I. Enrique Elizalde R. Ing. Héctor A. Legorreta C. M. I. Carmelino Zea C.	M.I. Juan Luis Umaña Romero	M. I. Germán López Rincón	19 de enero de 2018


	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	2/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica # 1

Curva Esfuerzo - Deformación

CICLO DE CARGA Y DESCARGA



	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	3/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Ninguno	Ninguno


2. Objetivos de aprendizaje

I.Objetivos generales:

El alumno aprenderá a diferenciar los comportamientos elástico, plástico y elasto-plástico de 3 materiales diferentes, cuando son sometidos a un ensaye de compresión simple con un ciclo de carga y descarga.

II.Objetivos específicos:

El alumno obtendrá el valor del módulo elástico tangente y las magnitudes de deformación elástica y plástica de la curva esfuerzo-deformación de los materiales de comportamiento elástico, plástico y elasto-plástico.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	4/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Introducción

3.1 Estudio de un material sometido a compresión.

En la figura 1, se tiene un cilindro de un material deformable, cuyas dimensiones iniciales son área transversal A_o y altura H_o , al cual se somete una carga perpendicular P a compresión sobre el área superior, provocando una deformación vertical δ y un ensanchamiento en su área media transversal A_m . El material experimenta un cambio de forma sin cambio de volumen.

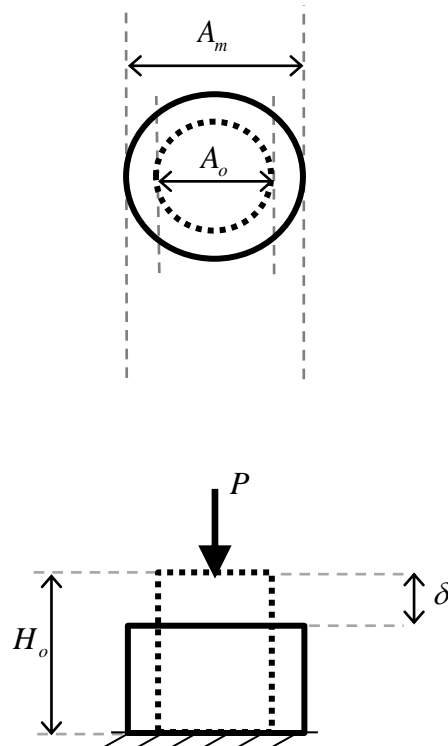



Figura 1. Espécimen cilíndrico deformado por una carga a compresión.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	5/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.2 Conceptos.

- a) **Deformación unitaria lineal (ε)** es la relación entre la deformación en dirección de la carga aplicada y la altura original del espécimen (figura 1), expresión (1).

$$\varepsilon = \frac{\delta}{H_o} \quad (1)$$

Siendo:

- ε : Deformación unitaria lineal, adimensional
 δ : Deformación vertical, en *cm* o *m*
 H_o : Altura inicial del espécimen, en *cm* o *m*

- b) **Esfuerzo normal (σ)** es el cociente de la carga resultante aplicada perpendicularmente a un área (figura 1), expresión (2).

$$\sigma = \frac{P}{A_m} \quad (2)$$

Siendo:


- σ : Esfuerzo normal, en *kg/cm²* o *kPa*
 P : Carga perpendicular al área de contacto, en *kg* o *kN*
 A_m : Área media transversal, expresión (3), en *cm²* o *m²*

$$A_m = \frac{A_o}{1 - \varepsilon} \quad (3)$$

- A_o : Área inicial transversal, expresión (4), en *cm²* o *m²*

$$A_o = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6} \quad (4)$$

- A_s : Área superior transversal, en *cm²* o *m²*
 A_c : Área central transversal, en *cm²* o *m²*
 A_i : Área inferior transversal, en *cm²* o *m²*
 ε : Deformación unitaria lineal, adimensional

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	6/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- c) **Curva esfuerzo normal-deformación lineal unitaria** es la representación gráfica del comportamiento de un material donde se relaciona la carga axial con su respuesta de deformación, figura 2.

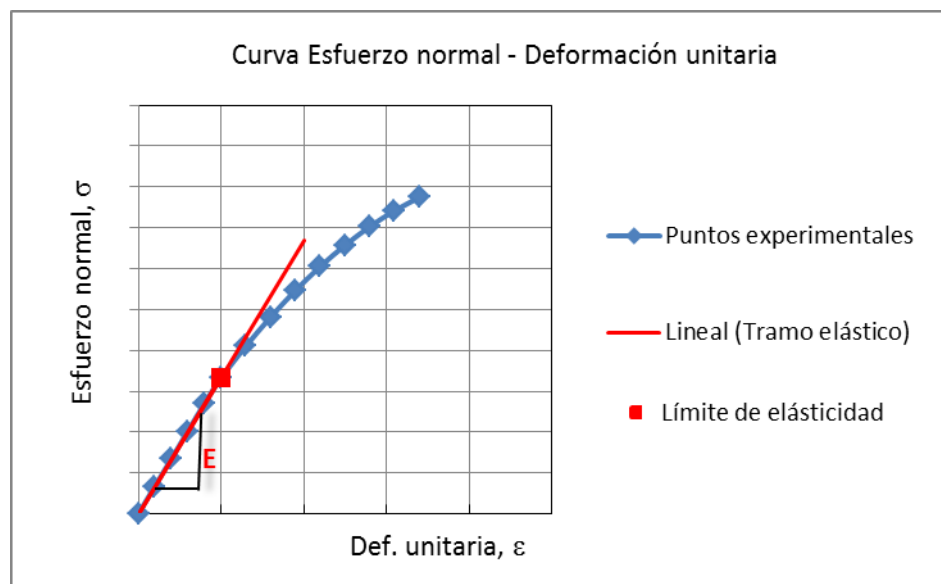



Figura 2. Curva esfuerzo-deformación, en carga ascendente.

- d) **Tramo elástico** es el trazo inicial recto de la curva esfuerzo – deformación donde la relación entre el esfuerzo normal (σ) y la deformación unitaria (ε) es linealmente proporcional, y el fenómeno es reversible, cumpliendo la ley de Hooke, expresión (5) y figura 2.

$$\sigma = E \varepsilon \quad (5)$$

Siendo:

- σ : Esfuerzo normal, en kg/cm^2 o kPa
 E : Módulo de Young (coeficiente de proporcionalidad), en kg/cm^2 o kPa
 ε : Deformación unitaria, adimensional

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	7/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- e) **Módulo de Young o módulo elástico tangente** es la pendiente del tramo elástico, donde la deformación unitaria es directamente proporcional al esfuerzo normal aplicado.
- f) **Material idealmente elástico** es aquel que cuando es sometido a carga, su respuesta de deformación es proporcional al incremento de esfuerzo aplicado, y tiene la propiedad de recuperar su forma y dimensiones iniciales, cuando es retirada toda su carga, figura 3.

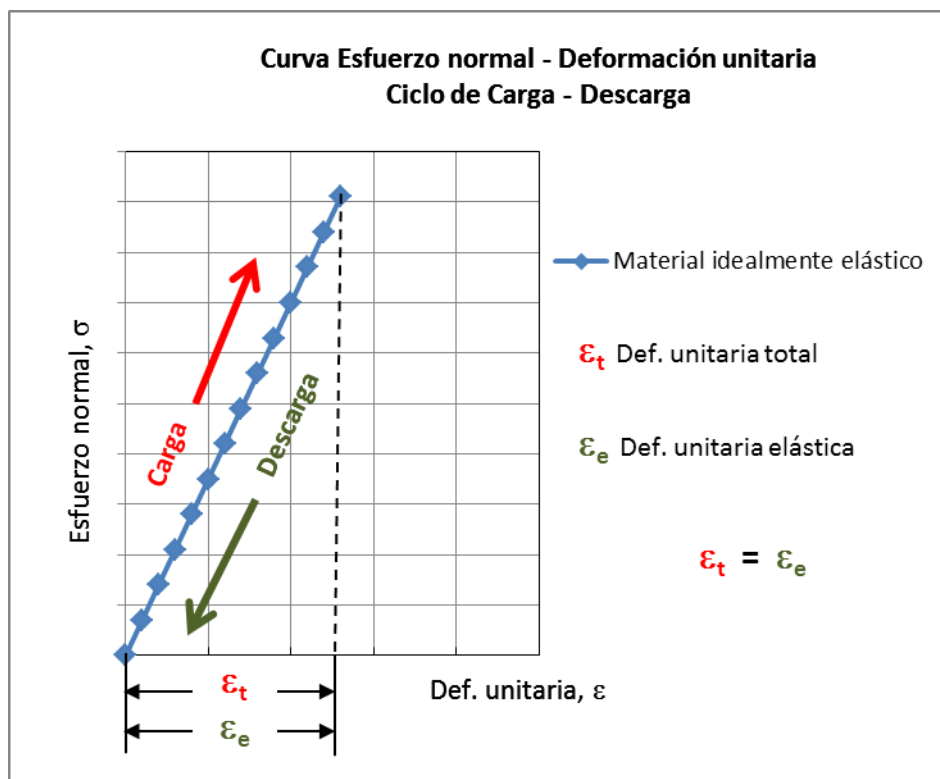



Figura 3. Curvas de ciclo y descarga en material idealmente elástico.

- g) **Límite de elasticidad** es el máximo esfuerzo que un material puede soportar antes de quedar permanentemente deformado.
- h) **Deformación elástica (ϵ_e)** es la magnitud de la deformación recuperada que presenta en un material cuando se descarga, figura 3.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	8/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- i) **Material idealmente plástico** es aquel que cuando es sometido a un esfuerzo aplicado se deforma inmediatamente, y al retirar la carga conserva la deformación total que originó la carga a la cual fue sometido, figura 4.

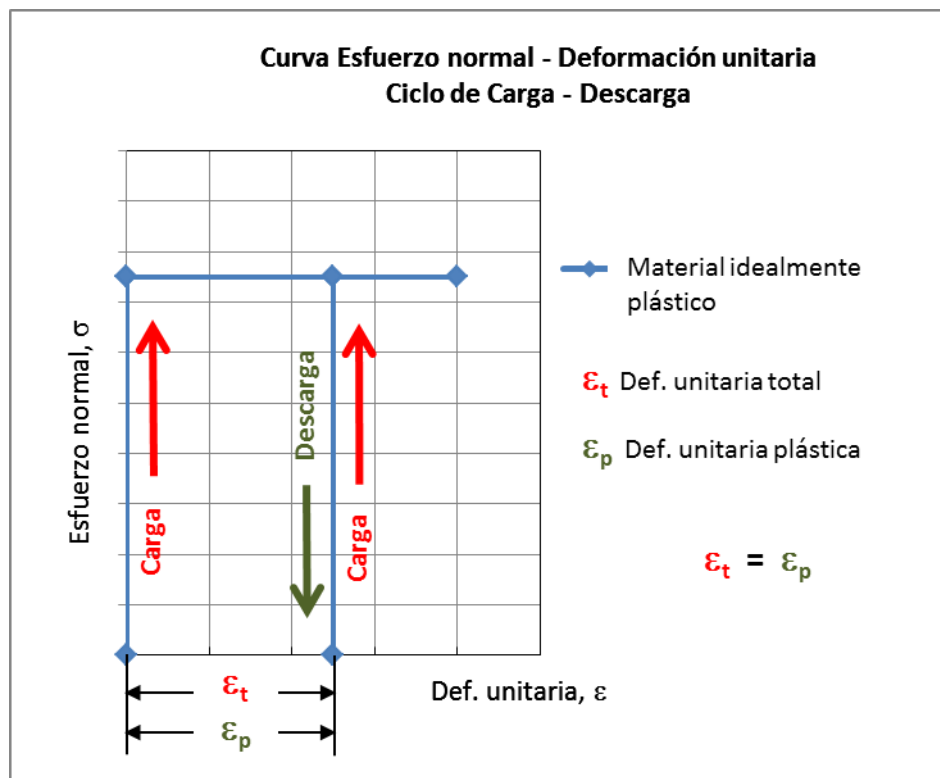



Figura 4. Curvas de ciclo y descarga en material idealmente plástico.

- j) **Deformación plástica (ϵ_p)** es la magnitud de la deformación permanente que tiene un material cuando se descarga, figura 4.
- k) **Material idealmente elasto-plástico** es aquel que presenta ambos comportamientos: elástico cuando el esfuerzo aplicado es menor al punto de límite de elasticidad, y plástico cuando al rebasar este límite las deformaciones son inmediatas. El material presenta tanto deformaciones elásticas ϵ_e (recuperable) como plásticas ϵ_p (permanente), figura 5.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	9/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

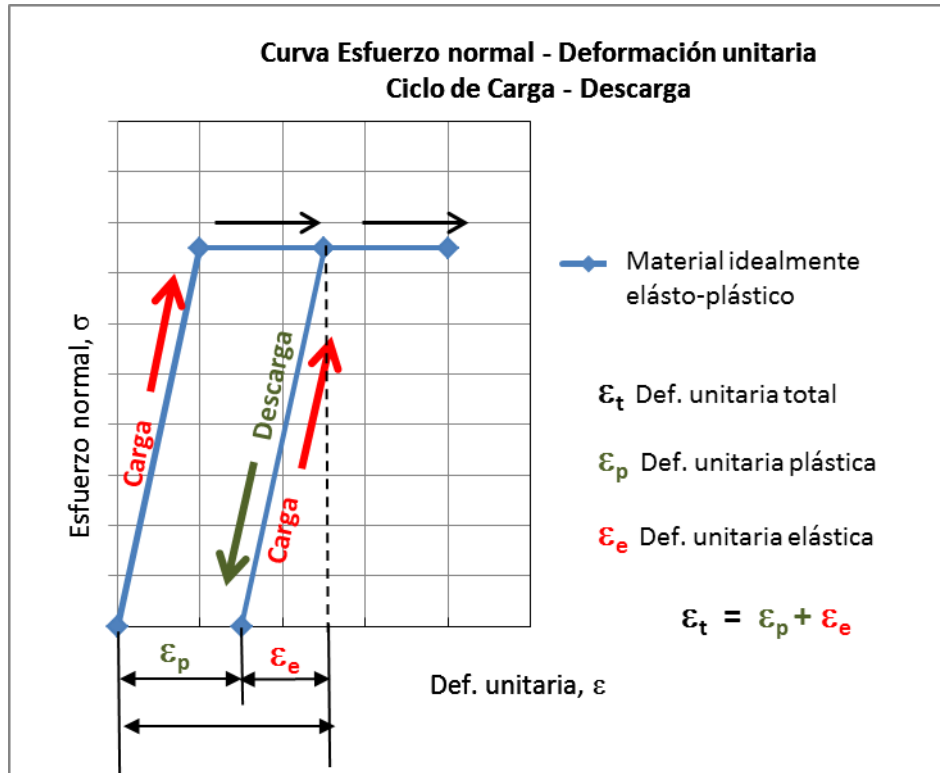



Figura 5. Curvas de ciclo y descarga en material idealmente elasto-plástico.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	10/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


4. Material y Equipo

- Marco de carga controlada.
- Deformímetro.
- Cronómetro.
- Plástilina.
- Probeta de neopreno
- Arcilla blanda
- Pesas

5. Desarrollo de la práctica.

- a) El profesor les enseñará a leer el instrumento de medición, deformímetro, a los alumnos con la ayuda de un prototipo de mayor escala.
- b) Los alumnos se organizarán en brigadas de 6 a 8 alumnos.
- c) Cada brigada verificará que en registro FMMC-01, se encuentren anotadas las dimensiones de la probeta como son: diámetros, inferior D_i , central D_c y superior D_s , así como las alturas: extrema izquierda H_1 , centro H_2 y derecha H_3 .
- d) Los integrantes de la brigada se organizará para realizar el ensaye de la siguiente manera
 - Un integrante con la ayuda de un cronómetro llevará el tiempo de duración de las cargas.
 - Otro alumno colocará las pesas en el portapesas del marco de carga.
 - Otro compañero leerá las lecturas del deformímetro.
 - Y uno más anotará en el registro las cargas aplicadas y las lecturas del deformímetros.

Todos los integrantes participarán y se turnarán para realizar todas las actividades anteriores.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	11/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- e) Para iniciar el ensaye se debe de anotar la lectura inicial del deformímetro, que será el pivote o cero deformación.
- f) Accionar el cronómetro al momento de colocar la pesa para empezar el ensaye.
- g) El compañero que lleva el cronómetro mencionará la palabra “listos” a los 50 segundos transcurridos, para que los compañeros tomen su lugar, leer el deformímetro, colocar la pesa y registrar las lecturas.
- h) A los 55 segundos, el compañero del cronómetro dirá “lectura”, para que el compañero que lee el deformímetro dicte la lectura y se registre en el formato FMCC-01, figura 6.
- i) A los 60 segundos, el compañero del cronómetro indicará con la palabra “carga”, la colocación de la pesa, figura 7.
- j) Continuar con el proceso anterior, anotando la lectura del deformímetro cada minuto transcurrido y colocando en la siguiente carga.
- k) Repetir el proceso hasta acumular 10 cargas.
- l) Colocada la décima carga, esperar el minuto para tomar su lectura.
- m) Después quitar esta última carga y esperar otro minuto, para que el material se recupere por el efecto de descarga, registrar la lectura del deformímetro.
- n) Continuar el proceso de descarga, quitar las pesas cada minuto y registrar las lecturas del deformímetro correspondientes.
- o) Registrar la última lectura del deformímetro al minuto después de que se haya quedado vacío el portapesas.



	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	12/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 6. Registro de lectura.



Figura 7. Etapa de carga.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	14/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Cálculos.

Utilice el formato FMMC-01 como ayuda.

- a) Calcular las áreas transversales de cada probeta, con las expresiones (6), (7) y (8).

$$\text{Área Superior } (A_s) \quad A_s = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (6)$$

$$\text{Área Central } (A_c) \quad A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} \quad (7)$$

$$\text{Área Inferior } (A_i) \quad A_i = \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (8)$$

- b) Obtener el área inicial (A_o) con la expresión (9).

$$A_o = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6} \quad (9)$$


- c) Calcular la altura promedio (H_o) con la expresión (10).

$$H_o = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3} \quad (10)$$

- d) Se tendrá un total de 21 tomas de lecturas, una al inicio de la prueba, la que corresponde a “cero carga” y “lectura inicial”, 10 en el proceso de carga y otras 10 en la descarga.

- e) En la etapa de carga, sumar las cargas parciales (ΔP_i) para obtener la carga acumulada (P_i) para cada evento, expresión (11).

$$P_i = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_{10} \quad (11)$$

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	15/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- f) En la etapa de descarga, restar las cargas (ΔP_i) a la carga total (P_{10}) para obtener la carga (P_i) de cada evento, expresión (12).

$$P_i = P_{10} - \Delta P_1 - \Delta P_2 - \Delta P_3 - \dots - \Delta P_{10} \quad (12)$$

- g) Obtener para cada evento la deformación (δ_i), como lo indica la expresión (13).

$$\delta_i = / \text{Lectura inicial} - \text{Lectura del deformímetro}_i / \quad (13)$$

- h) Calcular las deformaciones unitarias lineales (ε_i) de la probeta para cada evento, con la expresión (14).

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{H_o} \quad (14)$$

- i) Considerando que la prueba se está realizando a volumen constante, calcular el área media (A_{mi}) en cada evento, expresión (15).

$$A_{mi} = \frac{A_o}{1 - \varepsilon_i} \quad (15)$$

- j) Determinar el esfuerzo normal (σ_i) para cada evento, mediante la ecuación (16).


$$\sigma_i = \frac{P_i}{A_{mi}} \quad (16)$$

- k) Para graficar los resultados las deformaciones unitaria deben estar en porcentaje, por lo que se debe multiplicar por 100, expresión (17).

$$\varepsilon_i \% = \varepsilon_i \times 100 \quad (17)$$

6. Presentación de resultados.

Con base al formato de Registro. FMNC- 01, trazar las curvas esfuerzo normal contra deformación unitaria con ciclo de carga y descarga de los tres materiales, columnas (7) y (9). Como se presentan los ejemplos de las figuras 4, 5 y 6.

	Manual de prácticas de Fundamentos de Mecánica del Medio Continuo	Código:	MADO-38
		Versión:	01
		Página	16/16
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	19 de enero de 2018
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Conclusiones.

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensayo y propondrá la aplicación o la restricción del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

8. Bibliografía.

- Demeneghi, A., Sanginés, H. y Magaña, R.. *Apuntes de Mecánica del Medio Continuo*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2000.
- Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A.; *Mecánica de Suelos* Tomo I, Editorial Limusa Noriega, Segunda Edición, México1980.
- Secretaría de recursos hidráulicos; *Manual de Mecánica de Suelos*, México1990.
- Zea, C., y Rivera, R., *Notas sobre los Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2004.

9. Responsabilidades.

El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de este procedimiento.

Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.

Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de este procedimiento.

Los alumnos deben elaborar el informe correspondiente y entregarlo al profesor o a los técnicos académicos del laboratorio quienes son los responsables de su evaluación.