

## ➤ ENSAYO DE COMPACTACIÓN ESTÁNDAR

### S0402. RELACIONES DE PESO UNITARIO-HUMEDAD EN SUELOS – MÉTODO ESTÁNDAR (ASTM D698 AASHTO T99)

#### OBJETO

---

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 2,5 Kg. en caída libre desde una altura de 305 mm, con una energía específica de compactación de 0,59 J/cm<sup>3</sup> ( $\approx 6 \text{ kgf cm/cm}^3$ ). En los suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12 % de partículas menores que 0,075mm (Nº 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método para Determinar la Densidad Relativa en Suelos No Cohesivos que explicará mas adelante.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- Método A - molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (Nº 4).
- Método B - molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (Nº 4).
- Método C - molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").
- Método D - molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones, según el material por ensayar. Si no se especifica, debe regirse por las indicaciones del método A.

#### EQUIPOS Y MATERIALES

---

##### 1. Moldes Metálicos

Deben ser de forma cilíndrica que pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe contar con un collar separable de aproximadamente 60 mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Optativamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican.

##### 2. Molde de 100 mm de Diámetro Nominal

Debe tener una capacidad (V) de  $0,944 \pm 0,008 \text{ l}$ , un diámetro interno de  $101,6 \pm 0,4 \text{ mm}$  y altura de  $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$  (Ver Figura S0402\_1).

##### 3. Molde de 150 mm de Diámetro Nominal

Debe tener con una capacidad (V) de  $2,124 \pm 0,021 \text{ l}$ , un diámetro interno de  $152,4 \pm 0,7 \text{ mm}$  y altura de  $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$  (Ver Figura S0402\_2).

##### 4. Pisón Metálico

Debe tener una cara circular de  $50 \pm 0,2 \text{ mm}$  de diámetro y una masa de  $2500 \pm 10 \text{ g}$ . Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída a  $305 \pm 2 \text{ mm}$ . La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10mm ubicadas a 20mm de cada extremo, separadas en 90° entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

Nota 1: Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo, de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.

##### 5. Probetas Graduadas

Una de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, graduada a 5 cm<sup>3</sup> y otra de 250 cm<sup>3</sup> de capacidad, graduada a 2,5 cm<sup>3</sup>.

##### 6. Balanzas

Una de 10Kg. de capacidad y precisión de 5g y otra de 1Kg. de capacidad y 0,1g de precisión.

7. Homo

La temperatura debe poder regularse y contar con circulación de aire.

8. Regla de Acero

De 300mm de largo y con un canto biselado.

9. Tamices

Tamices tejidos de alambre de abertura cuadrada que cumplan con el Método S0302, de 50 mm (2"), 19 mm (3/4") y 4,75 mm (Nº 4) de abertura nominal.

10. Herramientas

Herramientas y paila para mezclar, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

## CALIBRACIÓN DEL MOLDE

11. Pese y registre la masa del molde vacío sin collar (mm), aproximando a 1 g.

12. Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:

- Coloque glicerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
- Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal.
- Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrasc con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
- Determine la masa de agua que llena el molde ( $m_w$ ), aproximando a 1 g.
- Mida la temperatura del agua y determine su densidad ( $\rho_w$ ) de acuerdo con la Tabla S0402\_1, interpolando si fuere necesario.

TABLA S0403\_1 DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN TEMPERATURA

Temperatura °C	Densidad (Kg./m <sup>3</sup> ó (g/l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

13. Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm<sup>3</sup> (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad:  $V = m_w / \rho_w$ .

## EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

### Extracción de muestras

Obtenga las muestras de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o según lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

### Preparación de las muestras

- Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C hasta que se vuelva desmenuzable; disgregue entonces los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- Pase por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) para los métodos A y B y por el tamiz de 19 mm (3/4") para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.

Nota 2: Si en el método D (molde de 150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4)) del material original, proceda como sigue:

Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 19 mm (3/4").

Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en 4,75 mm (Nº 4), tomado de la porción no utilizada del material original.

## Tamaño de la muestra de ensaye

Del material preparado según 5, obtenga un tamaño de muestra de ensaye de acuerdo con la Tabla S0402\_2.

TABLA S0402\_1 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE

Dimensión Del Molde (mm)	Método	Masa Mínima De la muestra (g)	Masa aproximada de fracción De muestra para cada determinación (g)
100	A y C	15.000	3.000
150	B y D	30.000	6.000

## Acondicionamiento de la muestra de ensaye

16. Homogeneice el material de la muestra de ensaye y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la Tabla S0402\_2.
17. Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y se distribuyan en las proximidades de la humedad óptima ( $w_o$ ).
18. Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

## PROCEDIMIENTO

19. Coloque el molde con su collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 Kg. o más).
20. Llene el molde con una capa de las fracciones de muestra como sigue:
  - a) Coloque una capa de material de aproximadamente un tercio de la altura del molde más el collar.
  - b) Compacte la capa con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (Métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (Métodos B y D).
  - c) Repita dos veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
21. Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Retape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.
22. Pese el molde con el suelo compactado. Reste la masa del molde, determinando la masa de suelo compactado que llena el molde ( $m$ ); registre aproximando a 1 g.
23. Determine la densidad húmeda del suelo compactado ( $\rho_h$ ) dividiendo la masa del suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica de él.

$$\rho_h = \frac{m}{v}$$

24. Registre aproximando a 10 Kg./m<sup>3</sup>
25. Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones de humedad de acuerdo con el Método para Determinar el Contenido de Humedad. Registre el promedio de ambas determinaciones como humedad del suelo compactado ( $w$ ).
26. Repita las operaciones 19 a 24 con cada una de las fracciones restantes hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensaye se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

## CÁLCULOS

---

### Densidad Seca

27. Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 Kg./m<sup>3</sup>.

$$\rho_d = \frac{100 \rho_h}{w + 100}$$

Donde:

$\rho_d$  : Densidad seca del suelo compactado (Kg./m<sup>3</sup>)

$\rho_h$  : Densidad húmeda del suelo compactado (Kg./m<sup>3</sup>)

$w$  : Humedad del suelo compactado (%).

### Relación Humedad/Densidad

28. Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas.

Nota 4: Se recomienda incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método para Determinar la Densidad de Partículas Sólidas.

29. Registre puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.
30. Exprese la humedad óptima ( $w_o$ ) como la correspondiente al punto máximo de la curva.
31. Exprese la densidad seca máxima ( $\rho_d$  máx.) como la correspondiente a la humedad óptima.





## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Proyecto \_\_\_\_\_ Trabajo No. \_\_\_\_\_  
Localización del proyecto \_\_\_\_\_ Perforación No. \_\_\_\_\_ Muestra No. \_\_\_\_\_  
Descripción del suelo \_\_\_\_\_  
Realizado por \_\_\_\_\_ Fecha de la practica \_\_\_\_\_  
Golpes/Capa \_\_\_\_\_ N.º. De Capas \_\_\_\_\_ Peso de martillo \_\_\_\_\_ N  
Dimensiones del molde: Diam. \_\_\_\_\_ cm Altura \_\_\_\_\_ cm Vol. \_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$

### Determinación del contenido de humedad

Muestra No.	1	2	3	4	5	6
Lata de humedad No.						
Peso de lata + suelo						
Peso de lata + suelo sueco						
Peso del agua						
Peso de la lata						
Peso del suelo seco						
Contenido de humedad, w%						

### Determinación de la densidad

Contenido de humedad deseado						
Contenido de humedad, w%						
Peso de suelo + molde						
Peso del molde						
Peso del suelo seco en molde, g						
Densidad húmeda, $\text{kN/m}^3$						
Densidad seca, $\text{kN/m}^3$						



Contenido de humedad óptimo \_\_\_\_\_ %      Densidad seca máxima = \_\_\_\_\_  $\text{kN/m}^3$