

# DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE EQUILIBRIO DE LA MASA UNITARIA (DENSIDAD) SECA Y DE LA HUMEDAD DE UN SUELO DE SUBRASANTE

INV E – 146 – 13

## 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma establece el procedimiento a seguir para determinar la masa unitaria seca (densidad seca) de equilibrio y la humedad de equilibrio de los suelos de subrasante.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-146-07.

## 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Masa unitaria seca de equilibrio o densidad seca de equilibrio ( $\rho_a$ )* – Es la masa unitaria seca que, a través del tiempo, logra un material de subrasante sometido a las condiciones normales de servicio, sea por densificación debida a las cargas del tránsito, sea por aumento de volumen debido a la succión de agua.
- 2.2** *Humedad de equilibrio ( $w_a$ )* – Es aquella que se tendrá bajo la estructura, una vez que el flujo de agua haya cesado, es decir, bajo una condición estática de flujo.
- 2.3** *Masa unitaria seca máxima o densidad máxima ( $\rho_{dm}$ )* – Es la masa unitaria seca máxima que puede alcanzar el material que se compacta con la energía del ensayo modificado de compactación (norma INV E -142).
- 2.4** *Masa unitaria seca suelta o densidad seca suelta ( $\rho_{dl}$ )* – Es la masa unitaria seca del material, cuando las partículas están en leve contacto entre sí. En suelos cohesivos, es la masa unitaria del material en el estado que corresponde al límite líquido (LL) y en los suelos granulares es la masa unitaria determinada directamente de la relación masa/volumen.
- 2.5** *Razón de compactación (RC)* – Es una relación que se establece entre la masa unitaria seca de equilibrio ( $\rho_a$ ) y los dos valores extremos de masa unitaria: la

masa unitaria seca suelta  $\rho_{dl}$  y la masa unitaria seca máxima  $\rho_{dm}$ . Se calcula de la siguiente forma:

$$RC = \frac{\rho_a - \rho_{dl}}{\rho_{dm} - \rho_{dl}} \quad [146.1]$$

**2.5.1** RC es igual a cero (0), cuando  $\rho_a = \rho_{dl}$ ; y es igual a uno (1), cuando  $\rho_a = \rho_{dm}$ .

*Nota 1: Si en lugar de masas unitarias secas en  $g/cm^3$ , se desea expresar los diferentes valores en términos de los pesos unitarios secos, en  $kN/m^3$ , las primeras de deberán multiplicar por 9.8066.*

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

**3.1** La masa unitaria seca (densidad seca) de equilibrio y la humedad de equilibrio brindan una indicación de las condiciones probables de trabajo de los suelos de subrasante bajo pavimentos asfálticos en servicio y pueden servir como base para establecer la resistencia o la respuesta dinámica de dichos suelos con fines de diseño estructural.

### 4 EQUIPO

---

**4.1** El equipo utilizado es el correspondiente a otros ensayos, a saber:

- 4.1.1** Equipo para determinar el límite líquido (norma INV E-125).
- 4.1.2** Elementos para determinar la gravedad específica de gravas, arenas y finos (normas INV E-223, INV E-222 e INV E-128).
- 4.1.3** Elementos para determinar la masa unitaria seca suelta (norma INV E-217).
- 4.1.4** Tamices para granulometría, de 4.75 mm (No. 4) y 425  $\mu m$  (No. 40).
- 4.1.5** Equipo para el ensayo modificado de compactación (norma INV E-142).

## 5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se determina el límite líquido de la fracción fina del suelo.
- 5.2** Se determinan los porcentajes de material que pasan los tamices de 4.75 mm (No. 4) y de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).
- 5.3** Se determinan la densidad seca máxima ( $\rho_{dm}$ ) y la humedad óptima ( $w_o$ ) del suelo, a partir de la información obtenida mediante el ensayo modificado de compactación.
- 5.4** Se determinan las gravedades específicas de las diferentes fracciones del suelo, así:

GRAVEDAD ESPECÍFICA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	NORMA DE ENSAYO
$G_{bg}$	-	4.75 mm (No. 4)	INV E-223
$G_{bi}$	4.75 mm (No. 4)	425 $\mu\text{m}$ (No. 40)	INV E-222
$G_{bf}$	425 $\mu\text{m}$ (No. 40)	-	INV E-128

- 5.5** Se calcula la gravedad específica promedio del suelo ( $G_{bm}$ ), con la expresión:

$$G_{bm} = \frac{100}{\frac{a}{G_{bg}} + \frac{b}{G_{bi}} + \frac{c}{G_{bf}}} \quad [146.2]$$

- Donde: a: Porcentaje retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4);
- b: Porcentaje que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40);
- c: Porcentaje que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40).

- 5.6** Cálculo de la masa unitaria seca suelta ( $\rho_{dl}$ ) – Se consideran tres casos:

- 5.6.1** Si el IP es igual o mayor de 10, se deduce en función del límite líquido, de la granulometría y de la gravedad específica promedio ( $G_{bm}$ ) en la siguiente forma:

**5.6.1.1** Se corrige el valor del límite líquido (LL) en función del porcentaje que pasa por el tamiz de 425 µm (No. 40), así:

$$LL \text{ corregido} = \frac{LL \times \% \text{ pasa tamiz de } 425 \mu\text{m}}{100} \quad [146.3]$$

**5.6.1.2** El valor de la masa unitaria seca suelta ( $\rho_{dl}$ ) se calcula con la fórmula:

$$\rho_{dl} = \frac{100}{\frac{100}{G_s} + LL \text{ corregido}} \quad [146.4]$$

**5.6.2** Si el IP es menor de 5, la masa unitaria seca suelta se determina de acuerdo con la norma INV E-217.

**5.6.3** Si el IP está comprendido entre 5 y 10, se determina la masa unitaria seca suelta aplicando los dos procedimientos anteriores, adoptando el valor de  $\rho_{dl}$  que arroje el menor valor para la masa unitaria (densidad) seca de equilibrio,  $\rho_a$ , calculada como se indica más adelante.

## 6 CÁLCULOS

**6.1** Se calcula la Razón de Compactación (RC), mediante la fórmula:

$$RC = 1 - \frac{\log(LL \text{ corregido}) - 0.64}{1.1} \quad [146.5]$$

**6.2** Se calcula la densidad de equilibrio ( $\rho_a$ ), despejándola de la fórmula del numeral 2.5:

$$\rho_a = RC \times \rho_{dm} - \rho_{dl} + \rho_{dl} \quad [146.6]$$

**6.3** Se calcula la humedad de equilibrio ( $w_a$ ) mediante la expresión:

$$w_a = \frac{100}{\rho_a} - \frac{100}{\rho_{dm}} + w_o \quad [146.7]$$

## 7 INFORME

---

**7.1** Se deberá presentar la siguiente información:

- 7.1.1** Granulometría del suelo.
- 7.1.2** Límite líquido (LL).
- 7.1.3** Gravedades específicas de las diferentes fracciones ( $G_{bg}$ ,  $G_{bi}$  y  $G_{bf}$ ) y gravedad específica promedio ( $G_{bm}$ ).
- 7.1.4** Masa unitaria (densidad) seca máxima ( $\rho_{dm}$ ) y humedad óptima ( $w_o$ ), obtenidas en el ensayo modificado de compactación.
- 7.1.5** Masa unitaria (densidad) seca suelta ( $\rho_{dl}$ ).
- 7.1.6** Masa unitaria (densidad) seca de equilibrio ( $\rho_a$ ).
- 7.1.7** Humedad de equilibrio ( $w_a$ ).

## 8 NORMAS DE REFERENCIA

---

VN E-24-68 SEOP, Dirección Nacional de Vialidad, República Argentina