

# RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO DE MEZCLAS DE SUELO CON ESTABILIZANTES QUÍMICOS NO TRADICIONALES

INV E – 631 - 22

## 1 OBJETO

---

- 1.1 Este método refiere a la determinación de la relación entre la humedad y el peso unitario seco para mezclas de suelo estabilizadas con productos químicos no tradicionales, cuando se compactan del modo que se describe en la presente norma de ensayo.
- 1.2 Para la compactación se emplean un molde de  $197 \text{ cm}^3$  ( $0.007 \text{ pie}^3$ ) y un martillo de  $1.52 \text{ kg}$  ( $3.35 \text{ lb}$ ) que cae desde una altura de  $291 \text{ mm}$  ( $11.5''$ ) utilizando únicamente muestras de suelo que pasan el 100% por el tamiz de  $2.0 \text{ mm}$  (No. 10). Cuando la estabilización con productos químicos no tradicionales se realice en materiales con tamaños superiores al tamiz de  $2.0 \text{ mm}$  (No. 10), se deberá hacer uso del procedimiento descrito en la norma INV E-141 u otra norma apropiada.

## 2 IMPORTANCIA Y USO

---

- 2.1 Mediante este ensayo se determina la humedad óptima y el peso unitario seco máximo que se deben emplear para moldear especímenes de suelo estabilizado con productos químicos no tradicionales para ensayar a compresión confinada según el procedimiento descrito en la norma INV E – 632.

## 3 EQUIPO

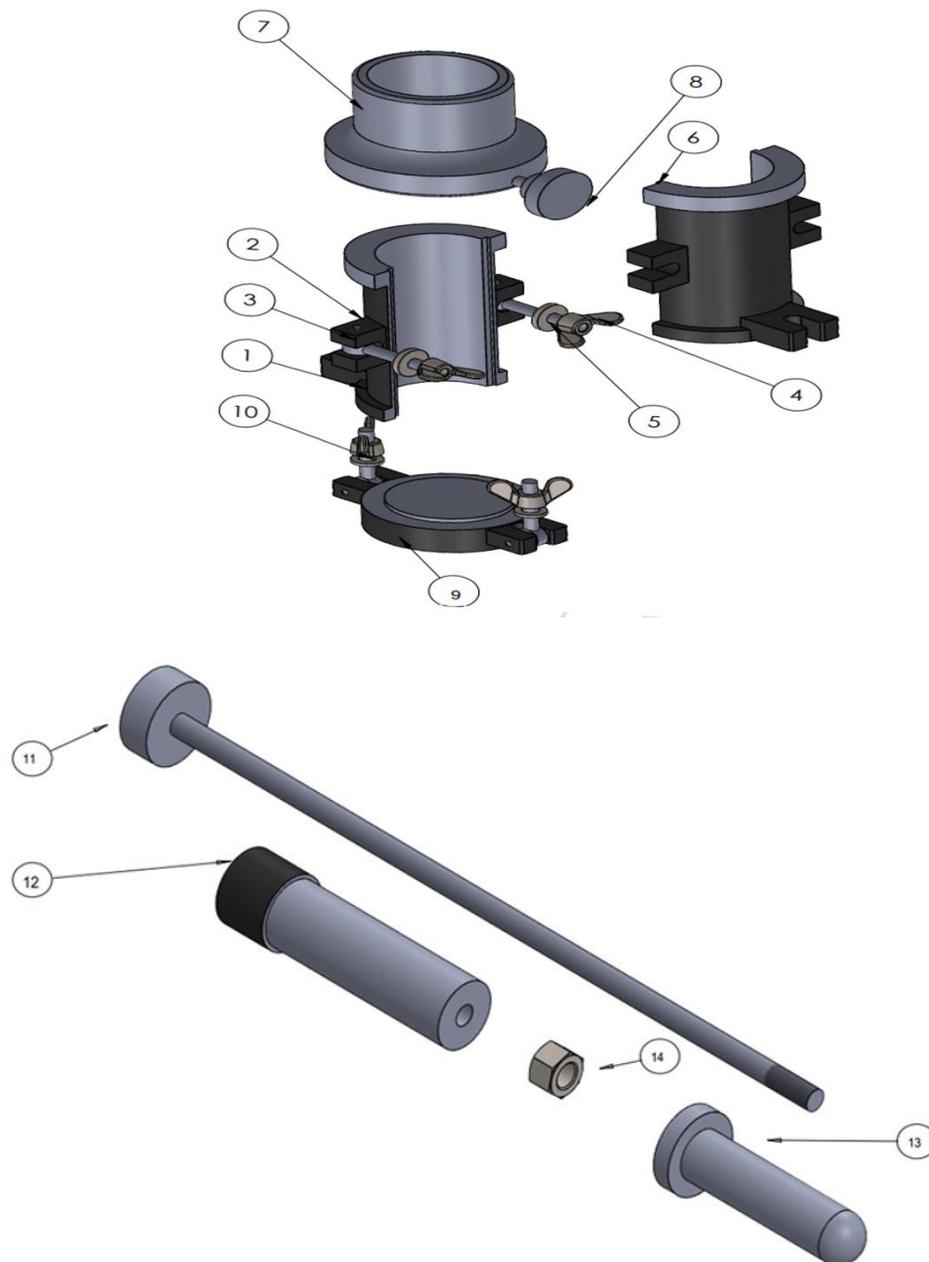
---

- 3.1 *Molde* - Deberá ser cilíndrico de paredes sólidas, fabricado con metal y con las dimensiones y capacidad mostradas en la Figura 631 -1. Deberá tener un collar ajustable de aproximadamente  $60 \text{ mm}$  ( $2.36''$ ) de altura, que permita la preparación de especímenes compactados de suelo con estabilizante químico no tradicional de la altura y volúmenes deseados. El conjunto del molde y del collar deberá estar construido de manera que se pueda ajustar firmemente a una placa desmontable hecha del mismo material. El molde deberá tener una capacidad de  $197 \text{ cm}^3$  ( $0.007 \text{ pie}^3$ ) con un diámetro interno de  $50.00 \pm 0.41 \text{ mm}$  ( $1.97 \pm 0.02''$ ) y una altura  $100 \pm 0.15 \text{ mm}$  ( $3.94 \pm 0.006''$ ). El molde puede ser, también, de tipo dividido, consistente en dos secciones semicirculares que se puedan ajustar con seguridad para formar un cilindro con las dimensiones recién descritas.

**3.2** Martillo - Puede ser de operación manual o mecánica. Debe tener una caída libre de  $291 \pm 1$  mm ( $11.5 \pm 0.05$ " ) por encima de la elevación del suelo. Su masa debe ser  $1.52 \pm 0.01$  kg ( $3.35 \pm 0.02$  lb) y la cara que golpea el suelo debe ser plana y circular con un diámetro de  $45.0 \pm 0.13$  mm ( $1.77 \pm 0.005$ " ) cuando el martillo es nuevo. El martillo deberá ser reemplazado si la cara de impacto se desgasta o se amplía al punto de que el diámetro excede de  $45.0 \pm 0.2$  mm ( $1.77 \pm 0.008$ " ). *El peso de la masa que golpea el suelo deberá ser de 14.7 N (3.3 lbf).*

**3.2.1** *Martillo de operación manual* – El martillo deberá estar equipado con una guía con luz suficiente para que en la caída libre el eje y la cabeza del martillo no se vea restringida.

**3.2.2** *Martillo con cara circular de operación mecánica* – Debe operar de manera que proporcione a la muestra un cubrimiento uniforme y completo. Deberá quedar una luz libre de  $2.5 \pm 0.8$  mm ( $0.10 \pm 0.03$ " ) entre el martillo y la superficie interior del molde. El martillo deberá disponer de algún medio mecánico que lo soporte mientras no está en operación.



(1) Molde de compactación miniatura – Cara A

(2) Barra de suspensión

(3) Sistema de Ajuste

(4) Tuerca mariposa

(5) Arandela de acople

(6) Molde de compactación miniatura – Cara B

(7) Collar

(8) Tornillo de sujeción del collar

(9) Placa Base

(10) Sistema de ajuste de la placa base

(11) Guía vertical y Buje de Caída

(12) Martillo de compactación

(13) Mango de sujeción

(14) Tuerca de ensamblaje

Figura 631-1. Esquema general - molde de compactación miniatura

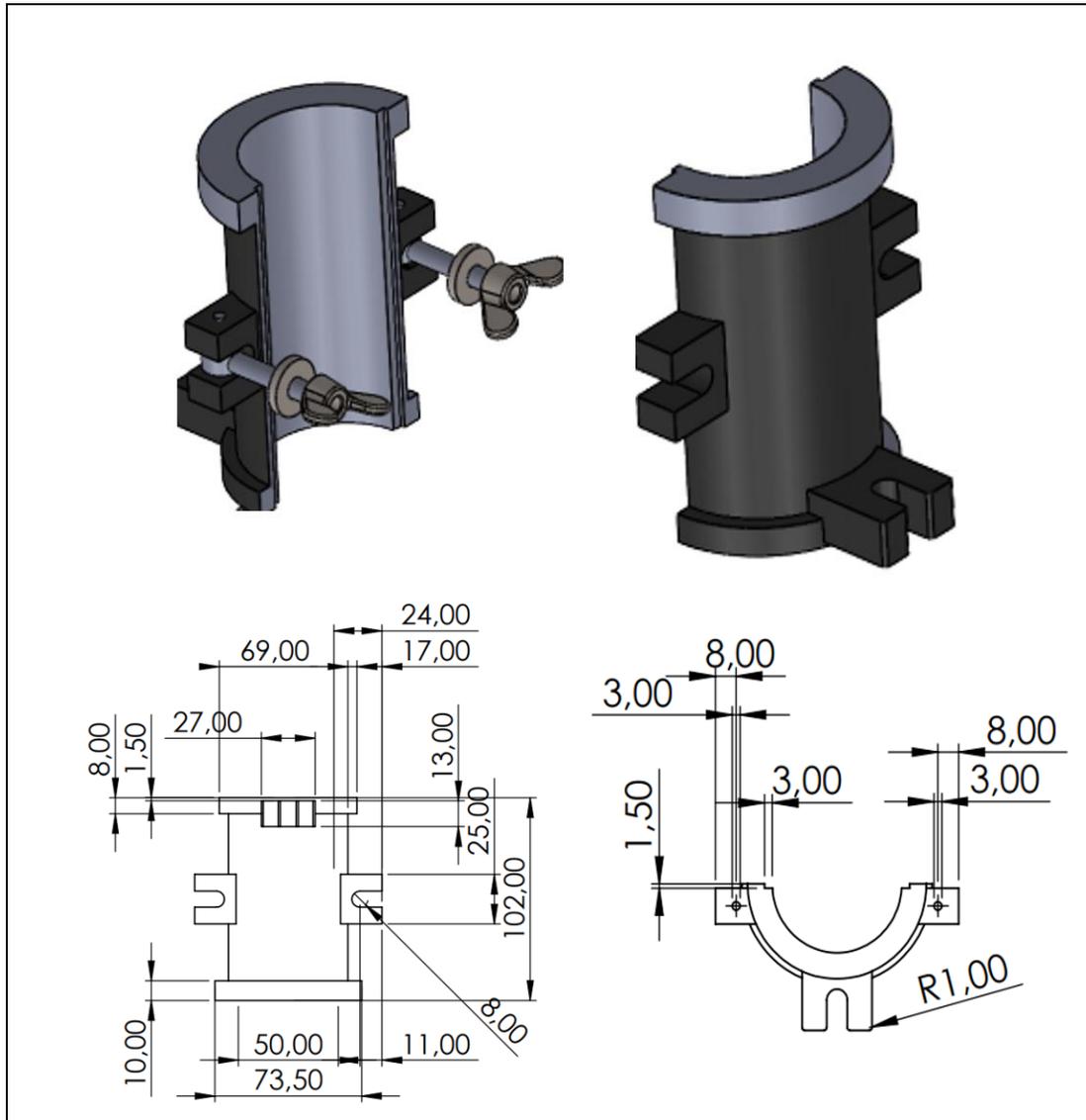


Figura 631-2. Esquema por partes – molde del equipo de compactación miniatura

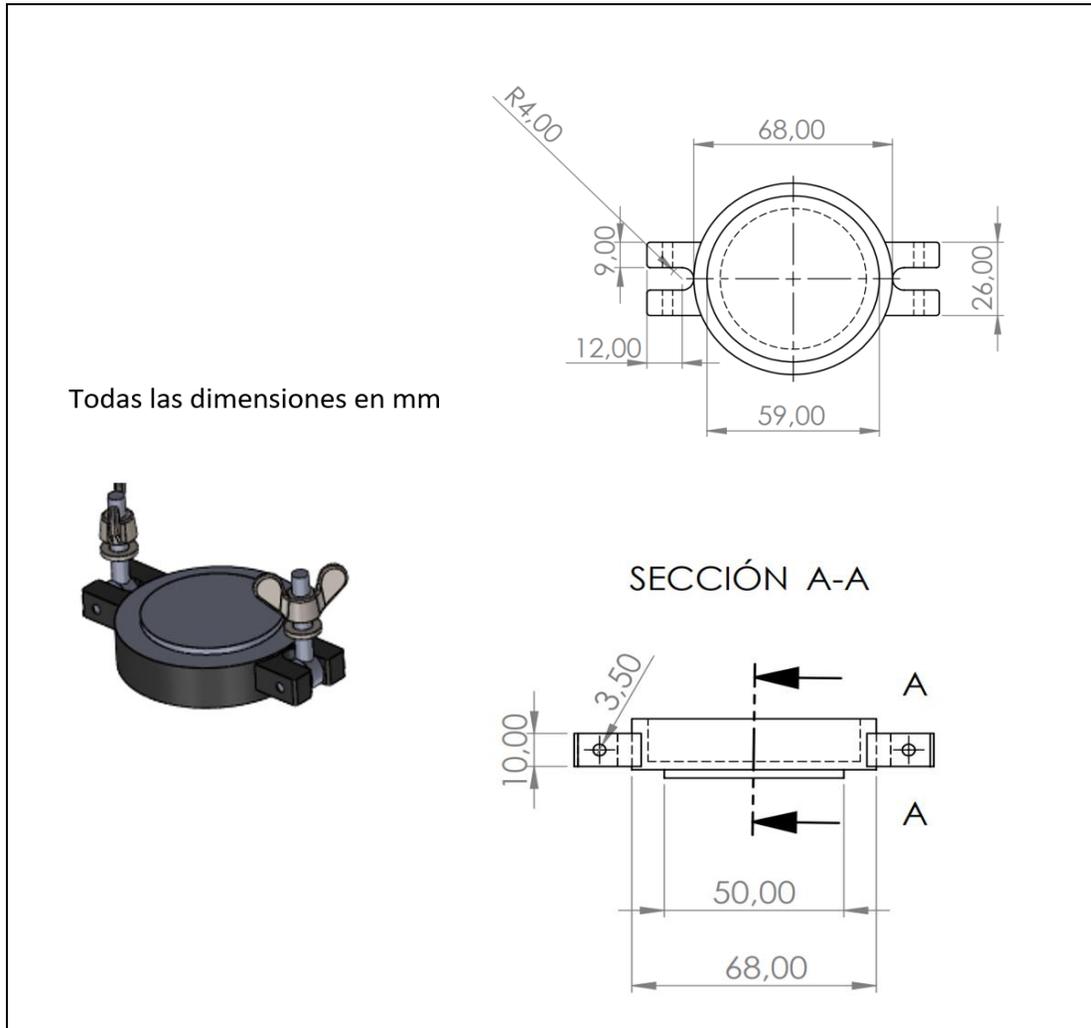


Figura 631-3. Esquema por partes – base del equipo de compactación miniatura

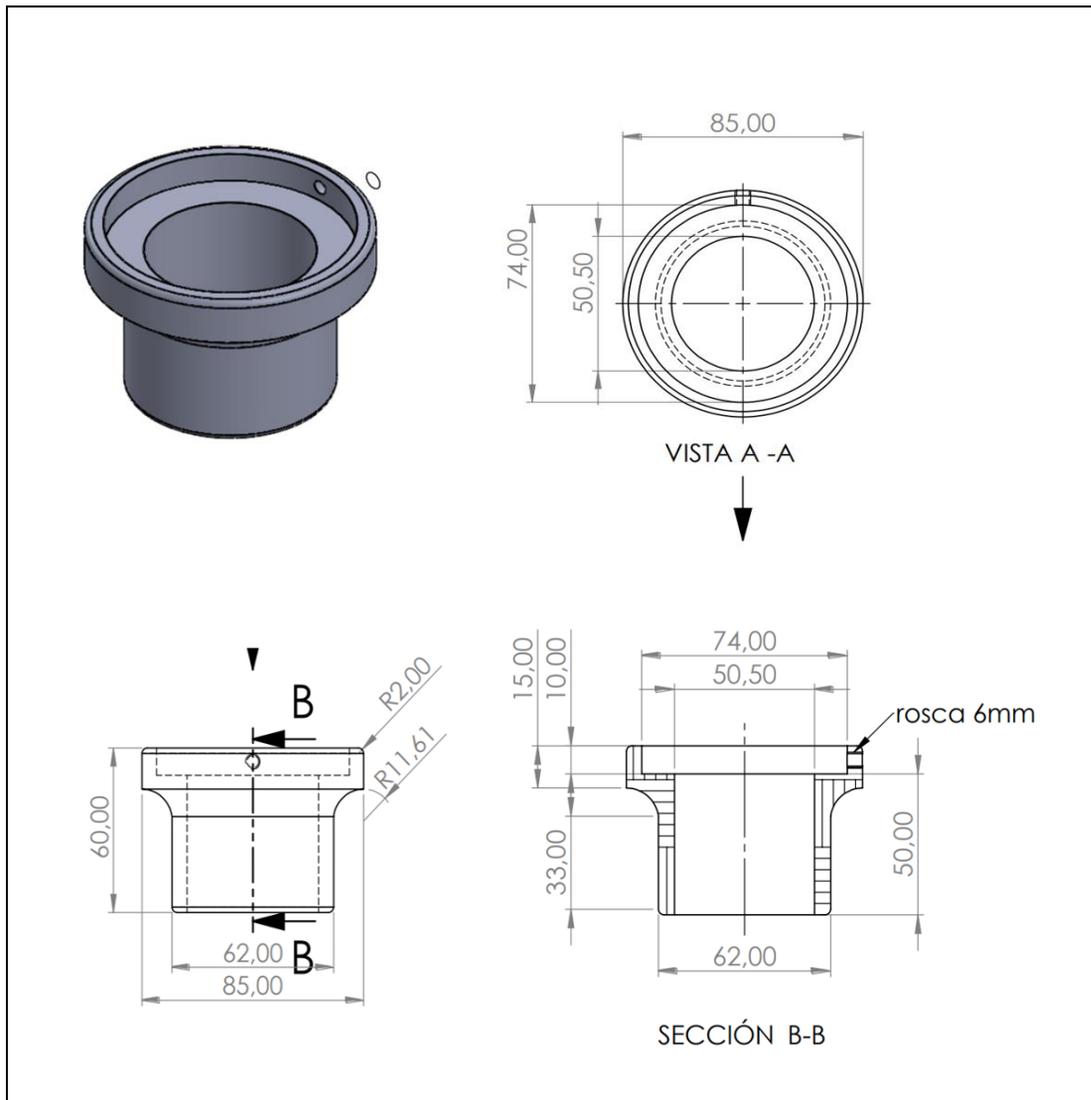


Figura 631-4. Esquema por partes – collar del equipo de compactación miniatura

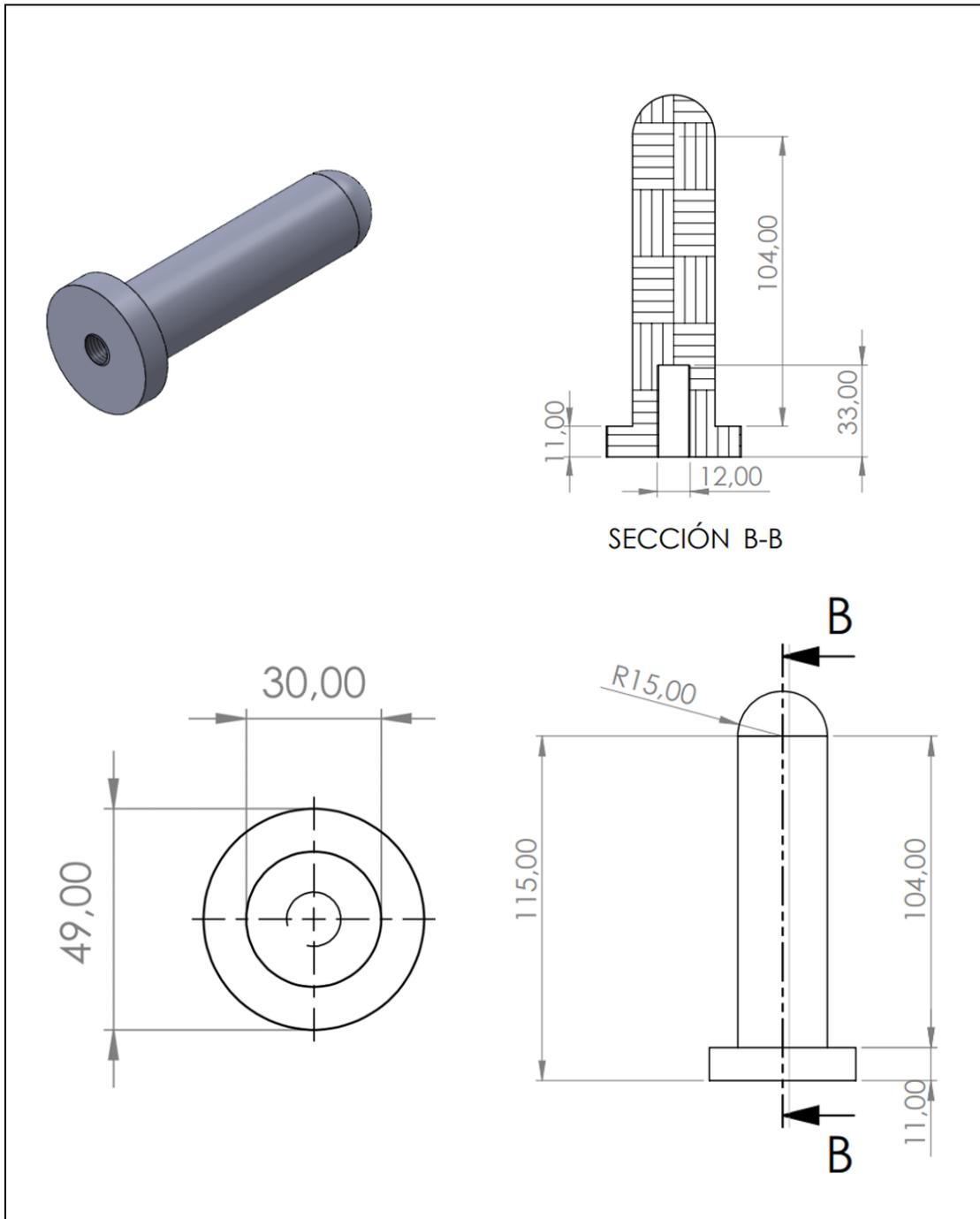


Figura 631-5. Esquema por partes – mango de sujeción de del equipo de compactación miniatura

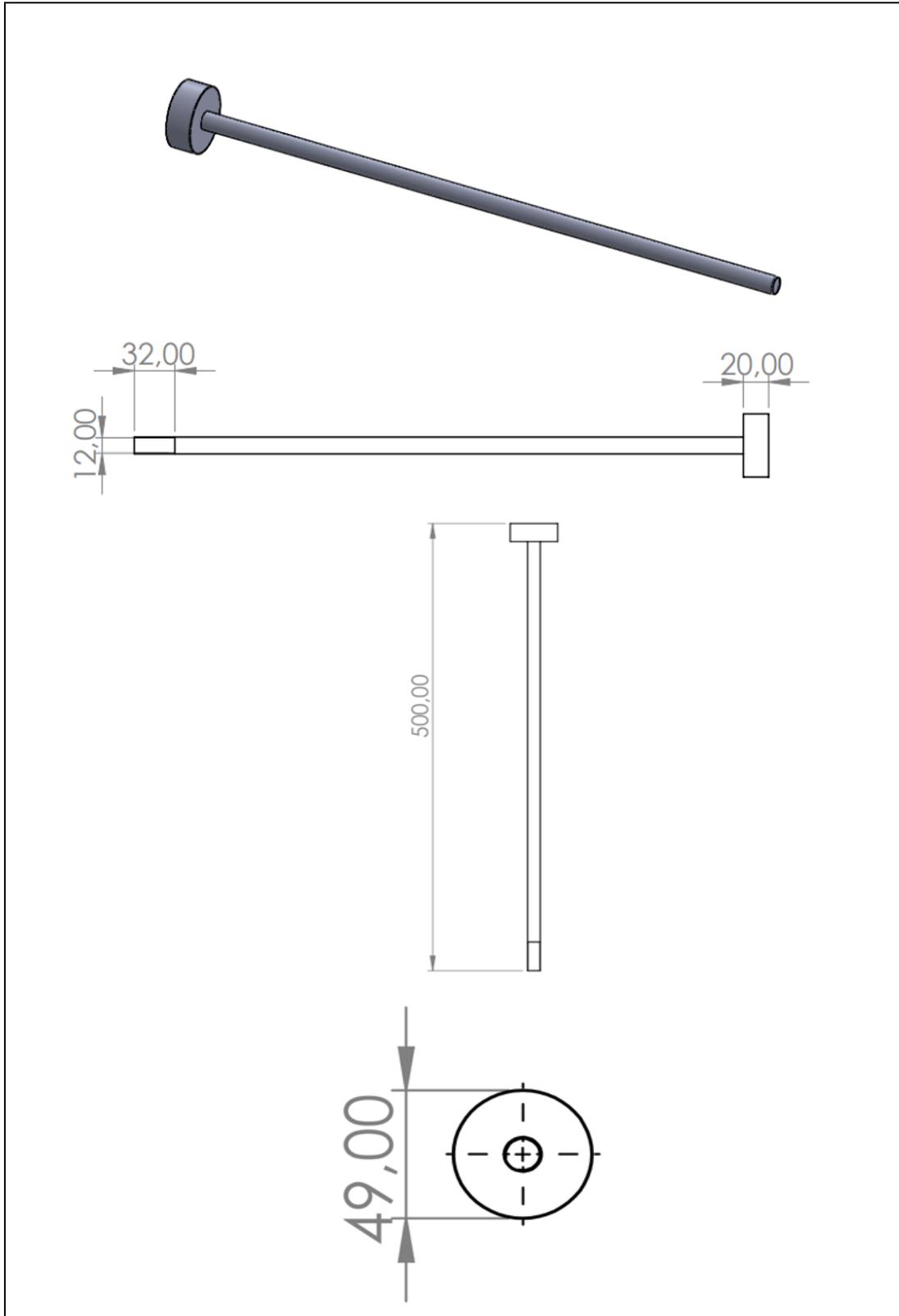


Figura 631-6. Esquema por partes – guía vertical y buje de caída equipo de compactación miniatura

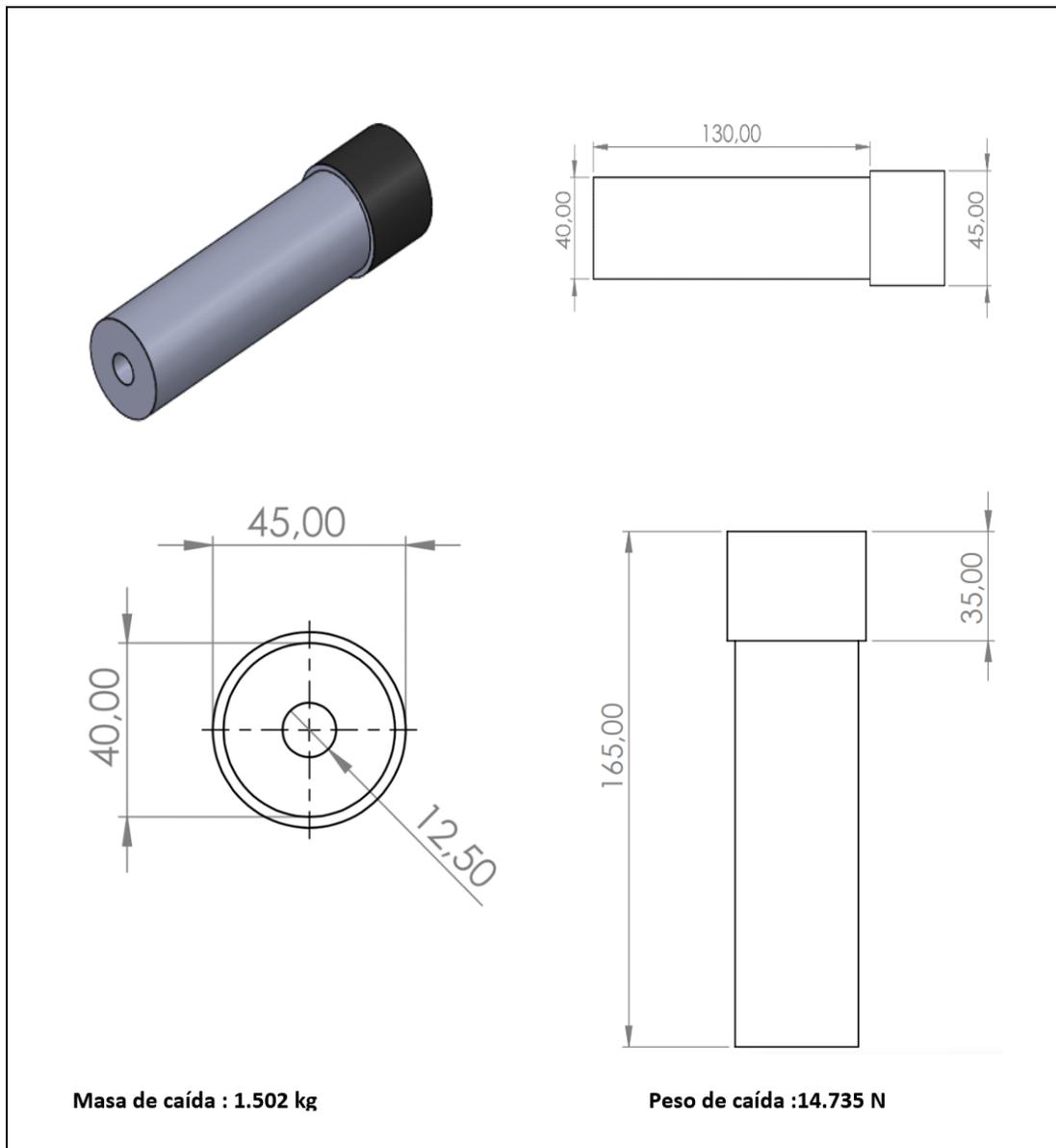


Figura 631-7. Esquema por partes – masa de caída del equipo de compactación miniatura

**Nota 1:** El martillo de operación mecánica debe tener una etapa previa de comparación de resultados respecto al martillo de operación manual, donde los resultados no estén alejados en más de 5%.

- 3.3** *Extractor de muestras* – Un gato, extractor, u otro dispositivo adecuado para sacar del molde las muestras compactadas. Este dispositivo es esencial independiente del tipo de molde a utilizar.
- 3.4** *Balanzas y básculas* – Una balanza de 11.5 kg (40 lb) de capacidad, legible a 0.005 kg (0.01 lb) y otra de 1 kg (2.2 lb) de capacidad, con sensibilidad de lectura de 1 g.

- 3.5** *Horno* – Un horno termostáticamente controlado, preferiblemente de ventilación forzada, que pueda mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).
- 3.6** *Regla metálica* – Una regla recta de acero endurecido, al menos de  $254 \pm 0.1$  mm ( $10$  "  $\pm 0.005$ " ) de longitud. Deberá tener un borde biselado y, al menos, una cara plana en sentido longitudinal.
- 3.7** *Tamiz* – De 2 mm (No. 10).
- 3.8** *Herramientas para mezcla* – Herramientas varias como bandejas, cucharas, palustres y espátulas, o un dispositivo mecánico para mezclar las muestras de suelo con diferentes cantidades de agua.
- 3.9** *Recipiente* – Un recipiente plano y redondo para la absorción de agua por las mezclas de suelo – estabilizante, de alrededor de 300 mm (12") de diámetro y 50 mm (2") de profundidad.
- 3.10** *Recipientes para humedad* – Recipientes de un material resistente a la corrosión y al cambio de masa debido al calentamiento repetido, al enfriamiento, a la limpieza y a la exposición de materiales de pH variado. Si no se emplea un desecador, se deberán usar recipientes con tapa para ensayar especímenes con una masa hasta de unos 200 g; mientras que, si la masa de los especímenes es mayor, se puede obviar el uso de la tapa.
- 3.11** *Cuchillo* – De aproximadamente 250 mm (10") de longitud, para recortar la parte superior de los especímenes.
- 3.12** *Equipo misceláneo* – Equipos complementarios, tales como cazuelas para mezclado, espátulas, etc., o un dispositivo mecánico adecuado para mezclar las muestras de suelo con diversas cantidades de agua.
- 3.13** *Mezcladora mecánica* – Que pueda producir mezclas uniformes y homogéneas de suelo, estabilizante químico no tradicional y agua.

## 4 CALIBRACIÓN

---

- 4.1** Se deben realizar calibraciones antes del uso inicial, luego de reparaciones u otros eventos que puedan afectar los resultados de los ensayos, a intervalos no mayores de 1000 especímenes de ensayo, o anualmente, lo que ocurra primero, para los siguientes aparatos:
- 4.1.1** *Balanza* – Se deberá evaluar de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 2031 y la especificación ASTM D3740.

- 4.1.2 *Moldes* – El volumen se debe determinar de conformidad con el Anexo A de la norma INV E-141.
- 4.1.3 *Martillo manual* – La distancia de caída libre y la masa del martillo se deben verificar de acuerdo con el numeral 3.2.
- 4.1.4 *Martillo mecánico* – Se deberá calibrar y ajustar de acuerdo con la norma ASTM D2168.

## 5 MÉTODO DE ENSAYO

---

### 5.1 *Muestra:*

- 5.1.1 La muestra para ensayo se prepara disgregando los terrones del suelo para que pase el tamiz de 2 mm (No. 10), pero de manera que se evite la reducción del tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, la muestra se seca primero hasta que sea friable bajo la acción de un palustre. El método de secado puede ser al aire o mediante el empleo de algún aparato secador, siempre y cuando la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140 °F).
- 5.1.2 Se escoge una muestra representativa del suelo preparado como se describe en el numeral 5.1.1, con una masa mínima de 3.2 kg (7.05 lb), para cada punto de ensayo de la curva de compactación.

### 5.2 *Procedimiento:*

- 5.2.1 Se agrega al suelo la cantidad requerida de estabilizante químico no tradicional. Se mezcla completamente hasta lograr un color uniforme.

**Nota 2:** *El operario deberá revisar la ficha técnica del producto, al igual que su ficha de seguridad, para que se tomen las precauciones requeridas durante la manipulación del estabilizante.*

- 5.2.2 Cuando sea necesario, se agrega suficiente agua potable para humedecer la mezcla hasta aproximadamente cuatro o seis puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima y se mezcla completamente. Con este contenido de agua, un suelo plástico, exprimido en la palma de la mano, formará una pasta que se fracturará con una ligera presión aplicada por el pulgar y las yemas de los demás dedos; mientras un suelo no plástico se hinchará sensiblemente.
- 5.2.3 La mezcla se cubre con un paño húmedo y se deja reposar por un periodo de 15 minutos para que se produzca dispersión de la humedad y permita una absorción más completa por parte del suelo estabilizado.

- 5.2.4** Cumplido el periodo de absorción, se disgrega completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta que pase totalmente por el tamiz de 2.0 mm (No. 10) y se vuelve a mezclar.
- 5.2.5** Se forma un espécimen, compactando en el molde, con el collar ajustado, la mezcla preparada de suelo – estabilizante, en tres capas iguales, para obtener un espesor total compactado de 30 mm (1.2”). Cada capa se compacta mediante 9 golpes del martillo, con la guía de manera vertical paralela al tórax del operador con una caída libre de 291 mm (11.5”) por encima de la elevación del suelo – estabilizante, si se usa un martillo con guía. Si se emplea un martillo del tipo de instalación fija, la caída libre de los 291 mm (11.5”) se realizará por encima de la elevación aproximada de cada capa finalmente compactada. Durante la compactación el molde se deberá apoyar firmemente sobre un soporte uniforme, rígido y estable, como el que puede proporcionar un cilindro o un cubo de concreto con una masa no menor de 90 kg (200 lb).
- 5.2.6** Después de la compactación, se remueve el collar de extensión, se enrasa cuidadosamente la parte superior de la probeta con la ayuda del cuchillo y la regla metálica, y se determina la masa del molde con la muestra de suelo - estabilizante compactado, con cuatro cifras significativas.
- 5.2.7** Se extrae la probeta del molde con el dispositivo correspondiente procurando mantener fijo el molde perpendicular a la superficie de apoyo. La probeta se corta verticalmente a lo largo de su eje. Se toma una muestra representativa de la altura completa de una de las caras cortadas, cuya masa no sea menor de 100 g (0.2 lb). Inmediatamente se determina y anota la masa del material húmedo más el recipiente, con cuatro cifras significativas. Se calcula la humedad y se anota el resultado como la humedad de la probeta de suelo - estabilizante.
- 5.2.8** Se agrega la cantidad suficiente de agua para aumentar la humedad de la mezcla de suelo - estabilizante en uno o dos puntos porcentuales, se mezcla y se repite el procedimiento en los numerales 5.2.4 a 5.2.6 para cada incremento de agua.
- 5.2.9** Se continúa esta serie de determinaciones hasta que se produzca una disminución o no haya cambio en la masa de suelo – estabilizante compactado más el molde.

## 6 CÁLCULOS

---

- 6.1** Se calcula el volumen de cada molde usado para compactar la mezcla de suelo - estabilizante, con cuatro cifras significativas, de acuerdo con el procedimiento descrito en el Anexo A de la norma INV E-141.

- 6.2** Se calcula la humedad de las mezclas de suelo – estabilizante empleadas en todos los tanteos,  $w$ , redondeada a 0.1 % empleando el procedimiento de la norma INV E-122.
- 6.3** Se calcula la densidad húmeda, redondeada a  $1 \text{ kg/m}^3$  ( $0.1 \text{ lb/pie}^3$ ), de cada uno de los especímenes compactados de suelo - estabilizante, de la siguiente forma:

$$\rho_m = \frac{M_m - M_{md}}{V} \quad [631.1]$$

Donde  $\rho_m$ : Densidad húmeda del espécimen de suelo – estabilizante compactado,  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).  
 $M_m$ : Masa del molde con el espécimen húmedo compactado, kg (lb).  
 $M_{md}$ : Masa del molde de compactación, kg (lb).  
 $V$ : Volumen del molde de compactación,  $\text{m}^3$  ( $\text{pie}^3$ ).

- 6.4** Se calcula la densidad seca, redondeada a  $1 \text{ kg/m}^3$  ( $0.1 \text{ lb/pie}^3$ ), de cada uno de los especímenes compactados de suelo – estabilizante, de la siguiente forma:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{\left[1 + \frac{w}{100}\right]} \quad [631.2]$$

Donde  $\rho_d$ : Densidad seca del espécimen de suelo – estabilizante compactado,  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).  
 $\rho_m$ : Densidad humedad del espécimen de suelo – estabilizante compactado,  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/pie}^3$ ).  
 $w$ : Humedad del espécimen de suelo – estabilizante compactado, %.

- 6.5** Se calcula el peso unitario seco, redondeado a  $1 \text{ kgf/m}^3$  ( $0.1 \text{ lbf/pie}^3$ ), de cada uno de los especímenes compactados de suelo – estabilizante, de la siguiente forma:

$$\gamma_d = \frac{\rho_d * g}{g_c} \text{ (Sistema ingles)} \quad [631.3]$$

o

$$\gamma_d = \rho_d * g \text{ (Sistema internacional)} \quad [631.4]$$

Donde  $\gamma_d$ : Peso unitario del espécimen de suelo – estabilizante compactado,  $\text{kgf/m}^3$  ( $\text{lbf/pie}^3$ );  
 $g$ : Aceleración de la gravedad,  $9.81 \text{ m/s}^2$  ( $32.2 \text{ pie/s}^2$ );  
 $g_c$ : Constante gravitacional,  $32.2 \text{ pie-lb/lbf-s}^2$

## 7 RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO

---

**7.1** Los valores de humedad y de peso unitario seco calculados en la sección 6 para cada uno de los especímenes compactados de suelo – estabilizante se representan gráficamente en un gráfico aritmético. El peso unitario se representa con una aproximación a  $1\text{kgf/m}^3$  ( $0.1\text{ lbf /pie}^3$ ) en las ordenadas, y las humedades correspondientes en las abscisas, aproximadas a 0.1 %. Se dibuja una curva de compactación a través de los puntos.

*Nota 3: La experiencia demuestra que es muy importante usar escalas consistentes para dibujar estas curvas. Una aproximación satisfactoria consiste en usar en las ordenadas una escala de  $25.4\text{ mm} = 0.785\text{ kN/m}^3$  ( $1'' = 5\text{ lbf/pie}^3$ ) de peso unitario y en las abscisas  $25.4\text{ mm}$  ( $1'' = 2\%$ ) de humedad.*

**7.2** Humedad óptima,  $w_o$  – La humedad correspondiente al pico de la curva dibujada como se indica en el numeral 7.1 se denomina “humedad óptima” de la mezcla de suelo – estabilizante, bajo la compactación prescrita en este método.

**7.3** Peso unitario seco máximo,  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  - El peso unitario seco, en  $\text{kgf/m}^3$  ( $\text{lbf/pie}^3$ ) de la mezcla de suelo – estabilizante, correspondiente al contenido óptimo de humedad, se llamará peso unitario seco máximo, bajo la compactación prescrita en este método.

## 8 INFORME

---

**8.1** El informe debe incluir lo siguiente:

**8.1.1** Identificación de la muestra.

**8.1.2** Descripción del procedimiento.

**8.1.3** La curva de compactación.

**8.1.4** El contenido óptimo de humedad.

**8.1.5** El máximo peso unitario seco.

## 9 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D558