

## 2.3. DETERMINACION DE LAS DENSIDADES MAXIMA Y MINIMA.

Su finalidad es determinar las densidades secas máxima y mínima de suelos no cohesivos, no cementados, de tamaño máximo nominal hasta 80 mm., que contengan hasta un 12% en masa de partículas menores que 0,08 mm. y un IP igual o menor que 5.

El método se aplica ya que en esta clase de suelos, estén secos o saturados, la compactación por impacto no produce una curva bien definida de relación humedad-densidad.

Karl Terzaghi expresó el grado de compacidad de estos suelos en términos de la densidad relativa también denominado índice de densidad (ID), la cual se encuentra en función de las densidades máxima y mínima obtenidas en laboratorio.

### 2.3.1. Método según NCh 1726 Of. 1980.

- Equipo necesario.

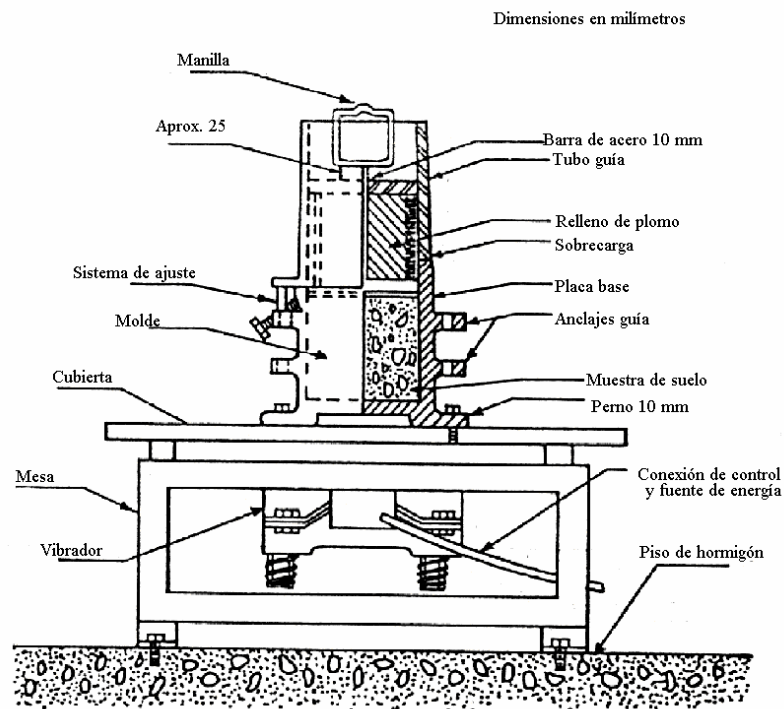


Figura 2.16.  
Sección  
típica mesa  
vibratoria y  
accesorios.

Fuente: NCh 1726 Of. 1980.

- Mesa vibradora de acero, con cubierta de aproximadamente 750\*750 mm., apoyada sobre amortiguadores y accionada por medio de un vibrador electromagnético (figura 2.16.).
- Dos moldes cilíndricos, uno de 2832 cc. y el otro de 14160 cc. de capacidad, cada uno con un equipo anexo compuesto de una placa base de acero de 12,5 mm. de espesor, una sobrecarga de plomo que junto a la placa base sean equivalentes a 14 Kpa. para el molde en uso y un collarín para recibir las sobrecargas.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .
- Un deformímetro comparador o dial lector de deformación, con un recorrido de 50 mm. y precisión de 0,01 mm.
- Herramientas y accesorios. Balanza de capacidad superior a 10 kgs. y precisión de 1 gr., cronómetro, regla metálica, pala, poruña, tamices y recipientes plásticos.

- Procedimiento.

- Determinación de la densidad mínima. Se selecciona el molde, aparato de llenado y el peso de la muestra, según el tamaño máximo de partículas del suelo, de acuerdo a la tabla de la figura 2.17. y se seca la muestra en horno hasta obtener pesadas consecutivas constantes.

Se pesa el molde a utilizar (Mm) y se verifica su volumen (Vm). Se coloca este sobre una superficie firme, plana y horizontal y se procede a depositar sin altura de caída, el suelo seco y homogenizado según el tamaño máximo nominal de partículas, evitando golpear o vibrar el molde.

Tamaño máximo nominal de partículas (Dn) mm.	Tamaño mínimo de la muestra de ensaye, kgs.	Aparato de llenado para determinar densidad mínima	Capacidad del molde (lts.)
80	45	Pala ó poruña	14,2
40	10	Poruña	2,8
20	10	Poruña	2,8
10	10	Embudo de 25 mm.	2,8
5	10	Embudo de 12,5 mm.	2,8

Figura 2.17. Tamaño de la muestra, selección del aparato de llenado y capacidad del molde según el tamaño máximo del suelo.

Fuente: NCh 1726 Of. 1980.

Si el tamaño máximo nominal es menor ó igual a 10 mm., se coloca el material dentro del molde tan suelto como sea posible, vaciándolo a flujo constante y ajustando la altura de descarga de modo que la caída libre sea desde una altura de 25 mm. Simultáneamente, mover el embudo en forma de espiral, desde la pared del molde hacia el centro con el objetivo de ir formando una capa de espesor uniforme.

Si el tamaño máximo nominal es mayor a 10 mm., se coloca el material dentro del molde de modo que se deslice en vez de caer sobre el fondo. Sujetar con la mano las partículas mayores para

impedir que rueden hacia afuera, llenando hasta aproximadamente 25 mm. por sobre el borde del molde.

Finalmente, se enrasa el material excedente y se pesa el molde más el suelo que contiene ( $W_1$ ).

- Determinación de la densidad máxima vía seca. Utilizando el molde lleno con el material empleado en la determinación de la densidad mínima, se apoya la placa base sobre la cara superior de la muestra y se colocan los diales en tres posiciones distintas, anotando los diferentes niveles de la placa, obteniendo un promedio de lecturas iniciales ( $L_i$ ).

Retirados estos, se instalan el collarín sobre el molde y la sobrecarga sobre la placa base, ajustando el conjunto en la mesa vibradora.

Se hará vibrar la mesa a su amplitud máxima durante 8 minutos. Luego se retiran la sobrecarga y el collarín, colocando nuevamente los diales en las mismas posiciones iniciales y se registran los nuevos niveles de la placa, obteniendo así un promedio de lecturas finales ( $L_f$ ).

Finalmente, se retira la placa base y se pesa el molde más el suelo vibrado ( $W_2$ ), el cual deberá ser semejante a  $W_1$ , salvo que durante la vibración se haya producido pérdida de finos.

- Determinación de la densidad máxima vía húmeda. Esta puede realizarse sobre el material de la muestra acondicionada (seca) a la cual se le agrega suficiente cantidad de agua dejándola remojar durante 1/2 hora o bien, sobre la muestra de suelo húmedo proveniente de terreno.

Seleccionado el molde y el peso de la muestra según la tabla 2.17., se llena el molde con suelo húmedo mediante una pala o poruña, agregando luego una cantidad suficiente de agua para que una pequeña película se acumule sobre la superficie. Se vibra el molde con el suelo saturado durante 6 minutos, reduciendo la amplitud de vibración durante los minutos finales para evitar que el suelo fluya. Concluido dicho tiempo, se elimina el agua que aparezca sobre la superficie de la muestra.

Luego se apoya la placa base sobre la cara superior de la muestra y se repiten los pasos descritos en la determinación de la densidad máxima vía seca. Obtenidas las lecturas de dial finales, se retira la placa base y se extrae con cuidado el total de la muestra húmeda, la que se seca a horno hasta conseguir pesadas consecutivas constantes ( $W_3$ ).

- Cálculos.

- Calcular la densidad seca mínima del suelo ( $\gamma_{d \text{ min}}$ ):

$$\gamma_{d \text{ min}} = (W_1 - Mm) / Vm \quad (\text{grs/cc})$$

donde:

$$Mm = \text{peso del molde (grs.)}$$

$W_1$  = peso del molde más el suelo (grs.)  
 $V_m$  = volumen del molde (cc.)

- Calcular la densidad seca máxima del suelo ( $\gamma_{d \max}$ ) por la vía seca:

$$\gamma_{d \max} = (W_2 - M_m) / (V_m - f_c * A * (L_i - L_f)) \quad (\text{grs/cc})$$

donde:

$W_2$  = peso del molde más el suelo vibrado (grs.)  
 $A$  = área del molde (cm<sup>2</sup>)  
 $f_c$  = factor de corrección de diales (valor = 1/10)  
 $L_i$  = promedio de lecturas de dial iniciales  
 $L_f$  = promedio de lecturas de dial finales

- Calcular la densidad seca máxima del suelo ( $\gamma_{d \max}$ ) por la vía húmeda:

$$\gamma_{d \max} = W_3 / (V_m - f_c * A * (L_i - L_f)) \quad (\text{grs/cc})$$

donde:

$W_3$  = peso del suelo vibrado seco (grs.)

- Observaciones.

- El valor de la densidad máxima de un suelo, estará dado por el mayor valor obtenido entre los métodos seco y húmedo.
- En la determinación de la densidad máxima de un suelo, el método seco asegura resultados en un período de tiempo más breve, sin embargo para gravas y arenas gruesas, se obtiene una densidad máxima mayor en estado saturado.

### 2.3.2. Cálculo de la densidad relativa(DR).

$$DR = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min}) * 100 \quad (\%)$$

donde:

$e_{\min}$  = razón de vacíos del suelo en su estado más compacto  
 $e_{\max}$  = razón de vacíos del suelo en su estado más suelto  
 $e$  = razón de vacíos del suelo en su estado natural

Sin embargo, es conveniente expresar la densidad relativa en función de los pesos unitarios o densidades secas del suelo, pues el cálculo de la relación de vacíos, requiere del valor de la gravedad específica del suelo, por lo que la densidad relativa puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$DR = \gamma_{d \max} * (\gamma_d - \gamma_{d \min}) / (\gamma_d * (\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min})) * 100 \quad (\%)$$

donde:

$\gamma_{d \max}$  = peso unitario seco del suelo en su estado más compacto  
 $\gamma_{d \min}$  = peso unitario seco del suelo en su estado más suelto  
 $\gamma_d$  = peso unitario seco in situ

En la tabla 2.18., se indica como Terzaghi expresó el estado del suelo según su densidad relativa.

Estado del suelo	Densidad relativa ( % )
Muy suelto	0 - 15
Suelto	15 - 35
Medio	35 - 65
Denso	65 - 85
Muy denso	85 - 100

Figura 2.18. Tabla de clasificación del estado del suelo de acuerdo a su densidad relativa.

Fuente: Dujisin D., 1974.

### **2.3.3. Determinación de la densidad máxima con pisón Marshall.**

Método alternativo para determinar la densidad máxima de un suelo. Consiste en la compactación por medio del martillo o pisón Marshall utilizado en compactación de probetas asfálticas.

Se justifica por ser un procedimiento menos complejo y costoso comparándolo con la mesa vibradora; más rápido y manuable, lo que facilita su uso, especialmente en laboratorios de terreno.

La masa del pisón al caer, no entra en contacto directo con el suelo a compactar, sino con la placa circular del pisón, lo que ejerce un efecto vibrante en el suelo. Este ensayo se encuentra normalizado en la norma española NTL 205/91 y es aplicable para arenas no cementadas, que pase en su totalidad por el tamiz de 5,0 mm. (malla N° 4 ASTM) y que no contenga más de un 10 % de material que pase por el tamiz de 0,08 mm. (malla N° 200 ASTM). Además la norma define la densidad máxima, como aquella que alcanza la arena cuando se la compacta en estado seco con una energía por volumen de 5086,5 Joule/dm<sup>3</sup>.

- Equipo necesario.
  - Martillo Marshall, el que consiste en un pisón que posee una base circular de 9,8 cm. de diámetro, sobre la que cae una masa de 4,5 kgs. desde una altura de 46 cm.
  - Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en 110° ± 5° C. Si es laboratorio montado en terreno, será necesario un hornillo o estufa.
  - Herramientas y accesorios. Molde patrón de compactación de 4", balanza, recipientes plásticos, tamiz N° 4 ASTM, poruña y regla metálica.
- Procedimiento. Para la preparación de la muestra, deberán tomarse aproximadamente 6 kgs. de material representativo de la muestra a ensayar y secarlos a estufa u horno hasta masa constante. Posteriormente dividir por cuarteo el material obtenido en dos porciones iguales.

A continuación, pesar el molde con su base ajustada (Mm), verificar su volumen (Vm) y colocar el collarín superior. Se coloca el molde y su conjunto sobre una base plana y firme y se toma una porción del material compactando la muestra mediante 5 capas, aplicando a cada una de ellas 50 golpes de pisón uniformemente distribuidos, escurificando la superficie de cada capa recién compactada mediante un punzón, en una profundidad no mayor a 1 cm.

Finalizada la compactación, retirar el collarín, enrasar el material excedente y pesar el molde más el suelo compactado (Ws). Repetir la operación con la otra porción de suelo y determinar la densidad máxima como el promedio de los resultados obtenidos.

- Cálculos.

- Calcular la densidad seca máxima del suelo ( $\gamma_{d \text{ max}}$ ) mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_{d \text{ max}} = ( Ws - Mm ) / Vm \quad ( \text{grs/cc} ); \text{ donde:}$$

(grs.)	Ws	=	peso del molde más el suelo seco compactado
	Mm	=	peso del molde con la base ajustada (grs.)
	Vm	=	volumen del molde (cc.)

- Observaciones.

- De acuerdo a la tesis Optimización de ensayos de control de calidad en Mecánica de Suelos (A.Assis,1988) se establece que los valores de densidades máxima obtenidos mediante este método, son generalmente menores a los obtenidos con la mesa vibratoria, con variaciones promedio inferiores a 0,04 grs/cc.
- El uso del pisón Marshall implica mayor rapidez en la obtención de resultados, especialmente si se trata de un laboratorio en terreno.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO  
 ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

**DETERMINACION DE LA DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA**

Proyecto :  
 Ubicación :  
 Descripción del suelo :  
 Fecha de muestreo :  
 Fecha de ensayo :

<b>Determinación de la densidad mínima</b>			
Muestra N°	1	2	3
Peso del molde + suelo			
Peso del molde			
Peso del suelo			
Volumen del molde			
Densidad seca mínima ( grs / cm <sup>3</sup> )			
Densidad seca mínima promedio ( grs / cm <sup>3</sup> )			

<b>Determinación de la densidad máxima</b>		
Método : vía seca - vía húmeda		
Espesor de la placa de sobrecarga ( cm ) =		
Muestra N°	1	2
Promedio de lecturas de diales iniciales		
Promedio de lecturas de diales finales		
Area del molde		
Volumen del molde		
Peso del suelo vibrado ( sólo vía seca )		
Peso del suelo vibrado y seco ( sólo vía húmeda )		
Densidad máxima seca ( vía                    ) ( grs / cm <sup>3</sup> )		

Observaciones :





UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO  
ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

**CALCULO DE LA DENSIDAD RELATIVA**

Proyecto :  
Ubicación :  
Descripción del suelo :  
Fecha de muestreo :  
Fecha de ensayo :

Densidad in situ	
Densidad seca máxima de laboratorio	
Densidad seca mínima de laboratorio	
Densidad relativa ( D.R. ) ( % )	

Método usado para la determinación de la densidad máxima de laboratorio: vía seca - vía húmeda

Observaciones :



UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO  
ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

**DENSIDAD MAXIMA METODO PISON MARSHALL**

Proyecto :  
Ubicación :  
Descripción del suelo :  
Fecha de muestreo :  
Fecha de ensayo :  
Humedad natural:

Características de la compactación

Diámetro del molde ( cm ) : Altura del molde ( cm ) : Volumen del molde ( cm <sup>3</sup> ) : Peso del pisón ( kgs ) : Altura de caída pisón ( cm ) :	Número de capas : Número de golpes por capa :
---	--

Determinación de la densidad

Peso del molde + suelo compactado	
Peso del molde	
Peso del suelo compactado	
Densidad seca máxima 1	
Densidad seca máxima 2	
Promedio	

Observaciones :