

**GUIA DE LABORATORIO N° 3**  
**CURSO CI 44 A**  
**SEMESTRE PRIMAVERA 2004**

**I. DENSIDAD RELATIVA**

**Generalidades**

La densidad relativa es una propiedad índice de estado de los suelos que se emplea normalmente en gravas y arenas, es decir, en suelos que contienen reducida cantidad de partículas menores que 0.074 mm. (malla # 200). La densidad relativa indica el grado de compactación del material y se emplea tanto para suelos naturales, como para rellenos compactados.

Según la norma chilena, el porcentaje de finos no debe sobrepasar un 12% para que la densidad relativa sea aplicable, ya que su determinación requiere, de acuerdo a esta norma, determinar en mesa vibradora la densidad máxima y este procedimiento deja de ser efectivo para mayores contenidos de finos. En casos límites, se recomienda realizar, tanto el ensayo de densidad relativa como el de compactación, cuando el porcentaje de finos se encuentra entre 10 y 12%. Hay que hacer notar sin embargo, que el ensayo de densidad relativa continúa siendo válido en suelos que superan estos contenidos de finos, cuando no poseen plasticidad, como es el caso de muchos materiales de relave (residuos de la lixiviación de minerales, por ejemplo, de cobre) y finos tales como el polvo de roca.

La densidad relativa es importante en geotecnia debido a las correlaciones que existen con otros parámetros de ingeniería tales como el ángulo de roce interno y la resistencia a la penetración de cuchara normal. Por otra parte, muchas fórmulas que permiten estimar los asentamientos posibles de estructuras fundadas sobre suelos granulares, están basadas en la densidad relativa.

Existen sin embargo dificultades para determinar la densidad relativa en suelos granulares de grandes tamaños. Para suelos finos con plasticidad, la densidad relativa deja de ser válida y serán los resultados del ensayo de compactación los que regirán las especificaciones de los rellenos en estos suelos.

Hay que hacer notar que la obtención de muestras inalteradas en suelos granulares resulta impracticable, a menos que ellas sean obtenidas por procedimientos tan especiales y costosos como el congelamiento. Es por ello, que la densidad relativa adquiere importancia central ya que permite reproducir esta condición de estado en los ensayos de laboratorio. No ocurre lo mismo en suelos finos donde las muestras naturales pueden ser, en la mayor parte de los casos, ensayadas en laboratorio en condiciones inalteradas para obtener las propiedades de ingeniería.

## Definición

La densidad relativa, expresada en porcentaje, es el grado de compacidad de un suelo referido a sus estados más suelto y más denso, los que se obtienen siguiendo los procedimientos de laboratorio que se indican más adelante. Se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$DR(\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

donde:

$e$ : índice de huecos

$V_v$ : Volumen de vacíos.

$V_s$ : Volumen de sólidos.

Debido a que el parámetro de estado que se determina en terreno es la densidad húmeda,  $\gamma_h$ , y a través de ella, la densidad seca,  $\gamma_d$ , la misma fórmula conviene expresarla en función de las densidades secas de los distintos estados.

$$DR(\%) = \frac{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_{dmax}}} \times 100$$

Debe observarse que a  $\gamma_{dmax}$  corresponde  $e_{min}$  y que a  $\gamma_{dmin}$  corresponde  $e_{max}$

De la definición se desprende que la densidad relativa varía entre 0 (cuando  $e=e_{max}$  ó  $\gamma_d=\gamma_{dmin}$ ) y 100 (cuando  $e=e_{min}$  ó  $\gamma_d=\gamma_{dmax}$ )

El cálculo de la densidad relativa de un suelo natural o relleno artificial requiere, de acuerdo a la fórmula, de las siguientes determinaciones:

- a) densidad seca del suelo in situ que puede ser de un suelo natural o de un material de relleno que está siendo compactado; la dificultad en la determinación de la densidad seca reside en la determinación del volumen ocupado por el suelo in situ, para lo cual existen diversos métodos; entre ellos, el método del cono de arena que es el de uso más frecuente; es una determinación que se realiza en terreno y que se detalla en ítem aparte en esta guía.

- b) densidad máxima seca; es una determinación que se realiza en laboratorio; el procedimiento más utilizado es el método de mesa vibradora que tiene dos variantes; método seco y húmedo; por razones de tiempo, usaremos el método seco en esta sesión..
- c) densidad mínima seca; es una determinación que se realiza en laboratorio.

## **DETERMINACION DE LAS DENSIDADES MAXIMA Y MINIMA**

### **Equipos**

- Molde patrón de compactación o molde de volumen calibrado.
- Equipo de vibración manual o mecánica.

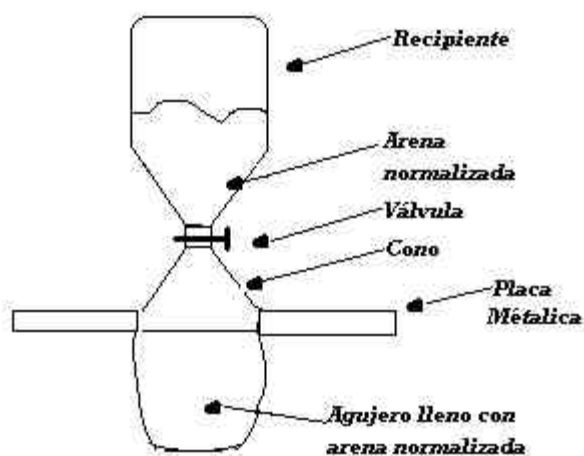
### **Procedimiento y cálculo**

1. cada grupo debe tomar una muestra de suelo granular previamente secada al horno, asegurándose de que deshacer los grumos que pudieran todavía existir, antes de utilizar el material,
2. utilizar un molde patrón de compactación; usar el mismo molde para la determinación de la densidad máxima y mínima,
3. el procedimiento a utilizar en el ensayo de densidad máxima será el método japonés: se coloca el material en el molde patrón en 10 capas, aplicándose 100 golpes / capa, a los lados del molde con un martillo (de acuerdo con las indicaciones del instructor) mientras se le aplica una carga vertical mediante un bloque de acero de 12 kg, asegurándose de registrar en el informe el número de golpes y de capas; realizar tres ensayos; después de cada ensayo, volver a mezclar cuidadosamente el suelo que haya quedado en el recipiente antes de realizar el siguiente ensayo; utilizar la densidad máxima obtenida como el valor característico de la densidad máxima del suelo y no el promedio de las determinaciones
4. a continuación, utilizando el mismo suelo, colocar el material en el molde, y distribuirlo ligeramente con un movimiento circular en el molde; colocar suficiente material como para que sobresalga levemente del molde y luego, con una regla, retirar el exceso de material con el máximo cuidado; obtener el peso y repetirlo por lo menos dos veces; utilizar la menor densidad obtenida como el valor de la densidad mínima del suelo.

## II. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD IN SITU

### Generalidades

Un suelo natural o compactado requiere la determinación de la densidad in situ. En la mayoría de los casos, esta determinación se realiza utilizando el método del cono de arena. Otros métodos son el del balón de goma y equipos nucleares.



**Figura 1: Equipo del cono de arena**

El cono de arena consiste de un recipiente cilíndrico de metal que continúa hacia abajo con un doble cono (uno mirando hacia abajo y el otro hacia arriba) y, como equipo, va acompañado de una placa metálica con una abertura al centro circular de igual diámetro que la base invertida del cono. Existe una válvula entre ambos conos, como se observa en la figura.

En terreno, se excava un agujero en el suelo compactado que tiene el diámetro de la abertura circular de la placa, la que se coloca horizontalmente sobre la superficie. Esta placa, que tiene rebordes, permite asegurar que no se pierda material en el proceso de excavación, el cual será pesado para obtener  $W_T$  y su humedad,  $w$ , determinada para obtener el peso total seco  $W_S$ .

$$W_S = \frac{W_T}{1 + w}$$

Después de extraído y pesado el suelo del agujero, se determina el peso del cono con el recipiente lleno de “arena normal” ( $W_1$ ) y se coloca sobre el agujero abriéndose la válvula. Una vez que el agujero y el cono inferior se llenan de “arena normal”, se determina el peso del recipiente, del cono y de la arena restante en el envase ( $W_2$ ), de modo que:

$$W_3 = W_1 - W_2$$

Donde  $W_3$  = peso de la arena para llenar el agujero y el cono inferior.

El volumen del hueco excavado se determina ahora como:

$$V_{\text{hueco}} = \frac{W_3 - W_c}{g_{d(\text{arena})}}$$

donde  $W_c$  = peso de la arena para llenar únicamente el cono.

$g_{d(\text{arena})}$  = peso unitario seco de la arena normalizada.

Los valores de  $W_c$  y  $\gamma_{d(\text{arena})}$  son determinados a partir de la calibración hecha en laboratorio. Finalmente, el peso unitario seco del suelo in situ se determina a través del peso unitario húmedo:

$$g_{\text{hum}} = \frac{W_T}{V_{\text{hueco}}}$$

donde

$W_T$ : Peso del suelo húmedo.

$V_{\text{hueco}}$ : Volumen del hueco.

Con el contenido de humedad  $w$  del material excavado, el peso unitario seco del material es:

$$g_{\text{sec } a} = \frac{g_{\text{hum}}}{1 + w}$$

## **Equipo**

- Cono de arena
- Herramientas para excavar
- Balanza
- Arena normalizada
- Bolsas plásticas

## **Procedimiento**

1. cada grupo debe hacer el ensayo de densidad por el cono de arena en el área designada por el instructor,
2. antes de colocar la placa sobre el sitio a ensayar, es importante asegurar que la superficie de la zona de excavación se encuentre plana y lisa; excavar un agujero utilizando la placa de base y colocar cuidadosamente todo el suelo removido del agujero en una de las bolsas, asegurándose que no exista pérdida de material;
3. colocar el cono de arena lleno de arena (evitando que se encuentre al tope) sobre el agujero de la placa, verificando que la válvula se encuentre cerrada; abrir la válvula, y esperar que deje de caer; cerrar la válvula y guardar la arena retenida en el aparato del cono de arena en la bolsa con la arena no utilizada; recuperar la arena del agujero guardándola en otra bolsa,
4. restituir el paisaje de la zona donde se trabajó a sus condiciones iniciales,
5. regresar al laboratorio verificando que todas las partes del equipo utilizado hayan sido recuperadas,
6. pesar el suelo excavado y la arena retenida en el aparato del cono de arena; tomar una muestra de suelo para determinar la humedad, pesarla y llevarla al horno,
7. retornar al laboratorio posteriormente para conocer el peso del suelo secado al horno o, en su defecto, buscar estos datos en U-Cursos.

### **III. PESO UNITARIO DE SUELOS COHESIVOS**

#### **Generalidades**

El procedimiento para obtener el peso unitario de suelos cohesivos se basa en el principio de Arquímedes, a través del cual el volumen de una muestra se determina por el volumen de agua que desplaza.

Para evitar la absorción de agua, la muestra es impermeabilizada con una delgada película de cera líquida.

#### **Equipo**

- Frasco de vidrio de volumen graduado
- Balanza con precisión de 0.1 g
- Cera

#### **Procedimiento**

1. pesar la muestra de suelo,
2. cubrir enteramente la muestra con cera líquida,
3. una vez seca la cera, se vuelve a pesar (por diferencia de pesos se tiene el peso de la cera).
4. colocar agua en el frasco graduado y registrar el volumen inicial,
5. sumergir la muestra de suelo con cera en el agua y medir el volumen,
6. conocida la densidad de la cera y su peso se calcula el volumen de la cera,
7. descontar este volumen al volumen total para obtener el volumen del suelo,
8. tomar una muestra de suelo, pesarla y llevarla al horno,
9. posteriormente volver al laboratorio para conocer el peso seco del suelo.

#### **IV. PREGUNTAS**

1. ¿Qué validez tendría el ensayo de DR en suelos finos si se siguen los procedimientos indicados en esta guía? Explique.
2. Ud. desea determinar la densidad in situ de un suelo con 20% de bolones y tamaño máximo 5" ¿Qué procedimiento original recomendaría?
3. ¿Cuáles son los tipos de suelo cuya densidad no puede ser determinada válidamente a través del método del cono de arena?
4. ¿Es válido utilizar otro líquido diferente al agua para la determinación del peso unitario de suelos cohesivos?
5. ¿Bajo qué condiciones es posible realizar este último ensayo sin necesidad de recubrimiento?
6. ¿Cuándo no es aplicable este ensayo en suelos cohesivos?

#### **IV. BIBLIOGRAFÍA**

1. Earth Manual, Bureau of Reclamation, Denver Colorado, 1963
2. ASTM Standards, Bituminous Materials, Soils, Skid Resistance Part 11.
3. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Bowles Joseph E. Biblioteca IDIEM