



Prácticas de Materiales de Construcción – I.T. Obras Públicas

## **PRÁCTICA Nº 7**

### **PROCTOR MODIFICADO Y LÍMITES DE ATTERBERG**

Contenido:

**1.1 Próctor modificado (caso práctico para capa granular en firmes de carreteras).**

**1.2 Límites de Atterberg**

- **L. Líquido**
- **L. Plástico**
- **Índice de plasticidad**

**ANEJO 1: Instrumental de laboratorio utilizado en la práctica**

## 1.1 Próctor modificado (caso práctico para capa granular en firmes de carreteras).

### PRÁCTICA 1

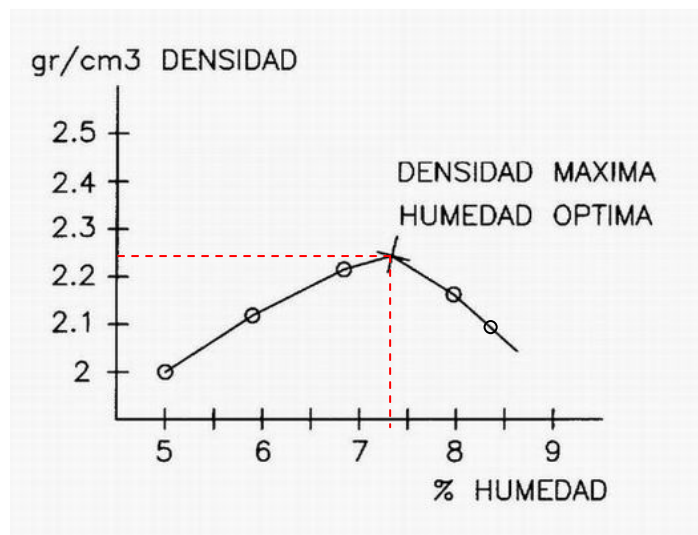
#### OBJETIVO

El objetivo es conseguir la máxima compactación de un suelo o capa granular con una energía de compactación determinada, con el fin de evitar asentamientos una vez puesta en servicio la obra.

El objeto del ensayo es determinar, en un suelo o capa granular, la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación de  $2'632 \text{ J/cm}^3$ , y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, que se puede conseguir con ese suelo en el laboratorio.

El agua que se utiliza en la compactación funciona como lubricante, disminuyendo la fricción entre las partículas y permitiendo una mayor compactación con una menor energía.

Para obtener la densidad máxima de un suelo será necesario obtener 5 puntos (densidad / humedad); 3 de ellos se deben encontrar en la rama ascendente y los 2 restantes en la rama descendente.



La densidad máxima que se obtiene del ensayo se comparará con las densidades que se obtienen en obra mediante otros métodos.

**NOTA:**

La normativa limita estos valores por ejemplo para carreteras en función de la IMD de vehículos pesados:

- Zahorra artificial:
  - o T00 y T2  $\rightarrow d \geq 100\% PM$
  - o T3, T4 y arcenes  $\rightarrow d \geq 98\% PM$
- Zahorra natural:
  - o Se suelen colocar en capas inferiores (subbase)  $\rightarrow d \geq 98\% PM$

Siendo  $d$  la densidad obtenida en obra en la capa objeto de ensayo

**MATERIAL UTILIZADO**

- Molde de 2320 cm<sup>3</sup>
- Collar del molde
- Base metálica
- Maza de 4535 g y 457 mm de altura de caída.
- Balanza de 20 Kg ( $1 \pm 0.1$  g)
- Estufa 115 °C
- Amasadora mecánica
- Enrasador de borde recto
- Probeta graduada
- Tamiz UNE 20 mm



**PROCEDIMIENTO:**

1. PREPARACION DE LAS MUESTRAS
  - a. Extender la muestra y dejar secar al aire o en estufa  $< 60$  °C
  - b. Cuartear unos 35 Kg por el tamiz UNE 20 mm
  - c. Cuartear porciones de 5 – 6 Kg
2. COMPACTACION - DETERMINACION DE LA DENSIDAD
  - a. Determinar la masa del molde con la base:  $t$
  - b. Mezclar una de las porciones con una determinada cantidad de agua
  - c. Poner el collar en el molde
  - d. Llenar el molde con el collar en 5 capas y 60 golpes en cada una  
(La última debe entrar aprox. 1 cm en el collar)

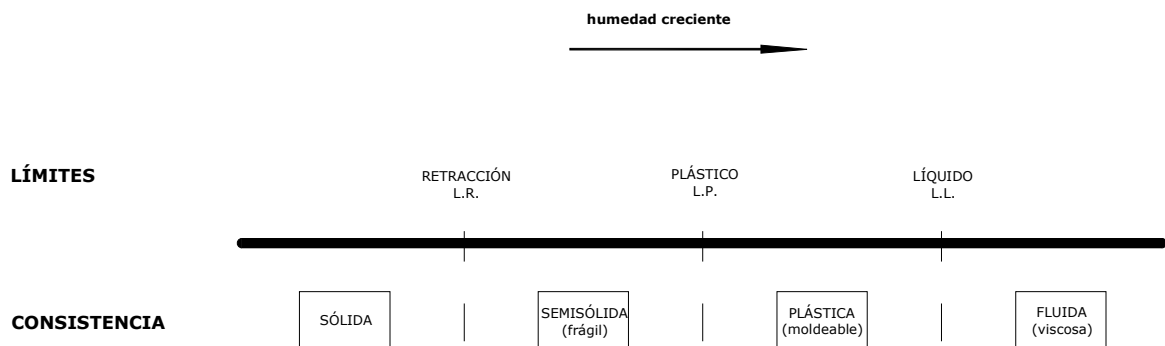
- e. Quitamos el collar y enrasamos
- f. Determinar la masa del molde con la base y el material compactado: **t+s+a**
- g. Extraemos el material del molde, lo partimos por la mitad y tomamos de la parte central una pequeña cantidad para determinar la humedad.
- h. Cálculo de la humedad S/UNE 103-300
  - Pesar recipiente vacío (tara) = **t**
  - Pesar recipiente con la muestra tomada del molde = **t+s+a**
  - Pesar recipiente con muestra después de secar en estufa a 105° C = **t+s**
  - **%Humedad** =  $(((t+s+a)-(t+s))/((t+s)-t)) \times 100$
- i. Con todo esto obtenemos una pareja de valores (densidad, humedad) que representa uno de los cinco puntos.
- j. Repetir 5 veces con distintas cantidades de agua

### 3. CÁLCULO DE RESULTADOS

- a. Realizamos los cálculos en un modelo de impreso como el que se adjunta en anejo 2 para obtener los 5 pares (humedad, densidad seca).
- b. Representar gráficamente los puntos obtenidos.
- c. Dibujar una curva suave y determinar las coordenadas del punto máximo, que serán **la densidad seca máxima** y la **humedad óptima**.

## 1.2 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos o capas granulares y se basan en los 4 estados de consistencia según su humedad:



Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregarle agua va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente fluido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Se denomina Índice Plástico a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ( $IP = LL - LP$ ), representando por tanto el rango de humedad en el que el material tendrá un comportamiento plástico. Los ensayos descritos a continuación nos permitirán determinar este índice para la muestra analizada.

Cuando no podemos determinar el límite líquido debido a las características del material (no existe cohesión entre sus partículas), decimos que se trata de un material no plástico.

**NOTA:**

Igualmente la normativa limita estos valores para carreteras también en función de la IMD de vehículos pesados:

- Zahorra artificial → NO PLÁSTICO
- Zahorra natural:
  - T00, T0, T1 y T2 → NO PLÁSTICO
  - T3, T4 y arcenes →  $LL < 25$ ;  $IP < 6$

## **PRÁCTICA 2**

### **OBJETIVO**

#### Determinación del Límite Líquido S/UNE 103-103-94:

Se define el límite líquido, a los efectos de esta norma, como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada (*Casagrande*), cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm. sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo.

### **MATERIAL UTILIZADO**

- Dos muestras de árido con diferentes características

(aprox. 150-200 g. que pase por tamiz de 0,4 mm.)

- Cuchara de Casagrande
- Acanalador normalizado
- Pegasustancias
- Balanza 100 g  $\pm 0.01$  g
- Tamiz 0,4 mm
- Estufa 115 °C
- Espátulas de hoja flexible de varios tamaños
- Mortero o molino con mazo recubierto de goma
- Cámara húmeda
- Calibre, pinzas, frasco lavador y agua destilada



## PROCEDIMIENTO:

### 1. PREPARACION DE LA MUESTRA

- a. Cuartear la muestra
- b. Secar al aire o en estufa  $< 60^{\circ}$  C
- c. Pulverizar con mazo de goma si hay terrones
- d. Tamizar por el tamiz de 0,4 mm. (hasta unos 200 g)
- e. Amasar con agua
- f. Cubrir y conservar en cámara húmeda durante un día

### 2. DETERMINACIÓN DEL L.L.

- a. Calibrar altura de caída de la cuchara
- b. Separar la cuchara y sujetarla con la palma de la mano
- c. Colocar con la espátula una porción en la parte inferior
- d. Aplastar extendiendo de un lado a otro (hasta  $\pm 10$  mm en el punto de mayor espesor)
- e. Hacer surco con el acanalador plano con el borde biselado hacia adelante
- f. Colocar la cuchara en el aparato
- g. Girar la manivela a razón de 2 vueltas/s
- h. Contar el nº de golpes para que se cierre el surco en 13 mm.
- i. Tomar  $\pm 15$  g próximos a las paredes del surco donde se cerró
- j. Determinación de su humedad:
  - Pesar pesasustancias vacío (tara) = **T**
  - Pesar pesasustancias con la muestra tomada de la cuchara = **T+S+A**
  - Pesar pesasustancias después de secar en estufa a  $105^{\circ}$  C = **T+S**
  - Suelo = **S** =  $(T+S)-T$

- Agua =  $A = (T+S+A)-(T+S)$
- % **Humedad** =  $(A/S) \times 100$

Conseguir realizar el ensayo con 25 golpes exactamente es muy complejo. Por ello la norma considera que el ensayo es válido si el nº de golpes está entre 15 y 35, permitiendo dos determinaciones:

#### A) Determinación entre 25 y 35 golpes

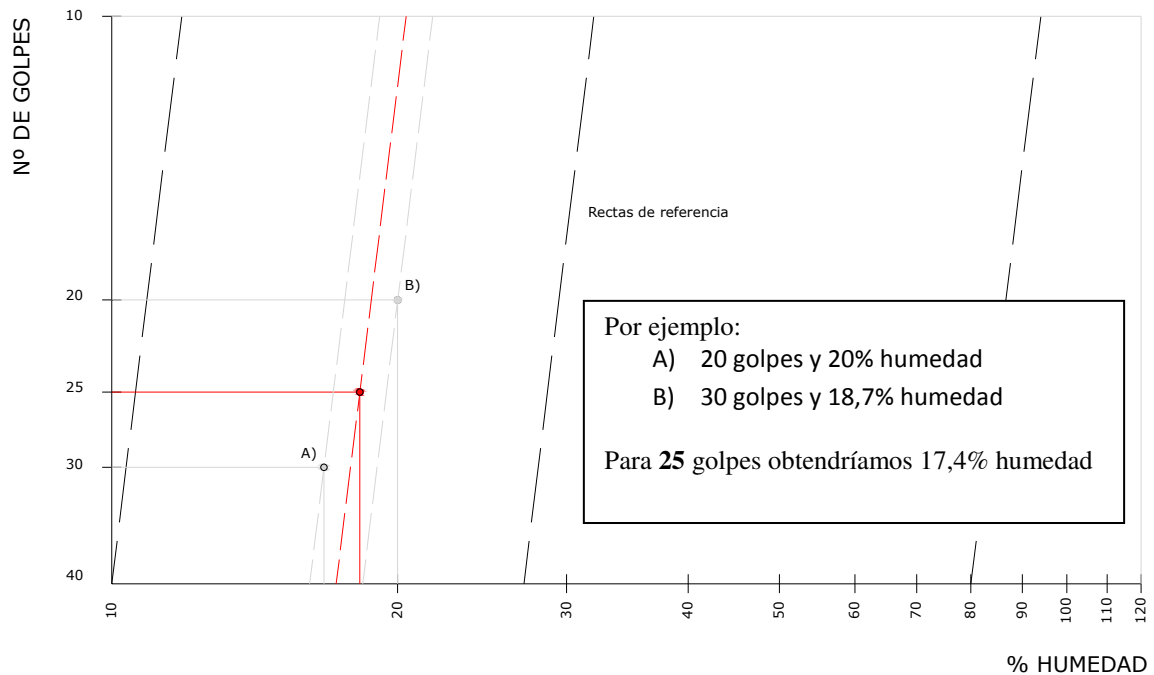
Empezamos con esta ya que requiere menos humedad. Si empezáramos con la 2ª tendríamos que secar la muestra.

#### B) Determinación entre 15 y 25 golpes

Tendremos que añadir agua a la muestra

Estos resultados se recogen en una tabla como la que se adjunta en el Anejo 3 y se representan gráficamente:

- 1º. Punto A) → nº golpes, % Humedad
- 2º. Punto B) → nº golpes, % Humedad
- 3º. Trazamos por los dos puntos anteriores rectas paralelas a las rectas de referencia representadas con trazo oscuro en la gráfica (ver NOTA).
- 4º. Por último trazamos una recta paralela a las anteriores que equidiste de ambas (a trazos de color rojo). La humedad del punto de intersección de esta recta con la coordenada correspondiente a **25** golpes es el límite líquido y se expresa con un decimal.



**NOTA:**

La recta de referencia tiene una pendiente negativa  $-0,117$  y se ha obtenido tras numerosas determinaciones de las que se ha deducido que, para un mismo suelo, los puntos correspondientes a distintos grados de humedad forman esa recta en doble escala logarítmica, cuya pendiente es independiente del origen geológico del suelo.

### PRÁCTICA 3

#### OBJETIVO

##### Determinación del Límite Plástico S/UNE:

Se define el límite plástico como la humedad más baja con la que pueden formarse con un suelo cilindros de 3 mm. de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse

#### MATERIAL UTILIZADO

- Muestra de árido fino
- Espátula de hoja flexible
- Pesarustancias



- Balanza 100 g  $\pm$  0.01g
- Estufa 115 °C
- Pinzas para recipientes calientes
- Tamiz 0,4 mm.
- Frasco lavador y agua destilada
- Varilla 3 mm diámetro para comparar
- Cristal 300 x 300 x 10 mm
- Cámara húmeda

## PROCEDIMIENTO:

### 1. PREPARACION DE LA MUESTRA

- a. Cuartear la muestra
- b. Secar al aire o en estufa  $< 60^{\circ}$  C
- c. Pulverizar con mazo de goma si hay terrones
- d. Tamizar por el tamiz de 0,4 mm. (hasta unos 200 g)
- e. Amasar con agua
- f. Cubrir y conservar en cámara húmeda durante un día

### 2. DETERMINACIÓN DEL L.P

- a. Tomar una porción de  $\pm 20$  g
- b. Moldear la mitad de la muestra en forma de elipsoide
- c. Rodar entre los dedos y la superficie lisa a razón de 90 veces/minuto para formar cilindros de 3 mm en 2 min.
- d. Si al llegar al cilindro de 3 mm. no se ha resquebrajado se parte en 6 trozos, se amasan juntos y se repite
- e. Si al llegar al cilindro de 3 mm se ha resquebrajado se da por terminado el ensayo
- f. Colocar unos 5 g de los trozos del cilindro resquebrajado en el pesasustancias
- g. Determinar su humedad según UNE 103-300
  - Pesasustancias vacío (tara) = **T**
  - Pesasustancias con la muestra tomada = **T+S+A**
  - Pesasustancias después de secar en estufa a  $105^{\circ}$  C = **T+S**
  - Suelo = **S** =  $(T+S)-T$
  - Agua = **A** =  $(T+S+A)-(T+S)$
  - % Humedad =  $(A/S) \times 100$
- h. Repetir con la otra mitad

- i. El límite plástico será la media aritmética de las dos humedades y se expresa con un decimal. Para facilitar el cálculo recogeremos todos los resultados en una tabla como la que se adjunta en el Anejo 3.

### ANEJO 1: Instrumental de laboratorio utilizado en la práctica



Pisón y molde para ensayo Próctor



Compactadora de suelos



Cuchara de Casagrande



Cámara húmeda