



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

G- 604621

**INSTRUCTIVO DE
LABORATORIO
PARA GEOTECNIA.**

(PRIMERA PARTE)



FACULTAD DE INGENIERIA

**NORMAN ALEGRIA CELAYA
FRANCISCO ZAMORA MILLAN**

DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

F/DICTG/84-052

I N D I C E

	Páginas No.
I. INTRODUCCION	2
II. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DE LOS SUELOS	6
Relaciones Adimensionales Fundamentales.	8,11,17
Relaciones entre Pesos o entre Volúmenes	8,15,82
Relaciones Adimensionales entre Pesos y Volúmenes	9,16,93
III. CLASIFICACION	113
Granulometría	117
Límites de Consistencia	171
Clasificación de Suelos	213
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	227

604621

INTRODUCCION

El propósito buscado al elaborar este trabajo es ayudar al alumno del área de Geotecnia a formar una idea más clara de lo explicado en clase y capacitarlo para efectuar pruebas de Laboratorio de Mecánica de Suelos. Es también intención de esta obra que una persona que no se dedique a esta rama de la ingeniería, sea capaz de realizar cualquier prueba de las enunciadas en él.

Se inicia la presentación de cada prueba con una descripción del por qué y para qué se realiza; posteriormente se

muestra el diagrama de flujo que señala la secuencia de las actividades necesarias para realizar la prueba y finalmente se describe la prueba paso a paso con filminas que tienen a su derecha el texto explicativo correspondiente a ella. En esta forma se presenta de tres modos diferentes la concepción de las pruebas de Laboratorio, además se indican los posibles errores que se pueden cometer en realización de ellas.

La obra se ha dividido en tres partes, cada una servirá como tesis profesional al pasante que ha laborado cada porción; la primera, este trabajo, comprende las relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos, la granulometría tanto de los gruesos como de los finos, los límites de consistencia o de Atterberg y la identificación de los suelos; la segunda parte estudia la permeabilidad de los suelos, la consolidación, y las pruebas de resistencia al esfuerzo cortante y la última porción analiza la compactación de los suelos. Todos estos trabajos han sido realizados bajo la dirección y colaboración activa del Ing. Francisco Zamora Millán MSc. Director del Departamento de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

En todos los casos se ha buscado dar el crédito debido al autor de las relaciones empíricas o ecuaciones utilizadas y si en algunos casos no se ha cumplido este propósito se

aclara de antemano que ha sido un error sin intención de dolo.

Se agradece de antemano todas las críticas, sugerencias y comentarios que para mejorar este trabajo se presenten en el Departamento de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en nombre del personal que en ella labora y del mío propio estaremos muy agradecidos.

P.S. Nota general. A fin de utilizar el S.I. (Sistema Internacional de Medidas), es necesario tener en cuenta que en las definiciones de unidades peso significa la masa del material; así una tonelada significa 1000 kilogramos masa. La fuerza se mide con newtons que tiene una equivalencia de $1 \text{ newton} = \frac{1}{9.81} \text{ kilogramos fuerza}$. La relación masa entre volumen se denomina densidad. En este trabajo la relación peso específico es equivalente, numéricamente, a la densidad. Aunque al utilizar el S.I. el valor numérico del peso específico cambiaría y sus unidades serían newton/metro cúbico.

Los terrenos que usa el hombre son tan heterogéneos y las fórmulas que ha desarrollado para utilizarlos son tan flexibles, que cuando se presenta un problema siempre existe la posibilidad de introducir en las fórmulas ya consagradas o en las características del terreno medidas en el Laboratorio, una variación que dé explicación al fenómeno. Sin embargo, antes que el problema se presente, no hay nadie capaz de prever las modificaciones necesarias. Unicamente la observación razonada al utilizar el suelo puede conducir a un resultado satisfactorio.***

*** Reconocimiento de Suelos y Cimentaciones Especiales (Henry Cambefort) Ediciones Omega (edición 1967).

II. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DE LOS SUELOS

En los suelos se distinguen 3 fases constitutivas de la materia.

Fase sólida

Formada por partículas minerales

Fase líquida

La constituida por el agua que contiene, pudiendo también presentarse otros líquidos.

Fase gaseosa

Formada por el aire principalmente, aunque pueden presentarse otros gases.

La fase sólida se define como el volumen de sólidos (V_s) y su peso como (W_s), (peso de los sólidos); las fases gaseosas y líquidas juntas se conocen como volumen

de vacíos (V_v); la fase gaseosa tiene un volumen (V_a) y la líquida (V_w). El peso de la parte gaseosa se representa con W_a y el de la líquida con W_w .

Combinaciones entre los volúmenes y pesos de estas fases fijan las relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos, las que definen (cualitativamente) las propiedades mecánicas de ellos (los suelos).

Como se definió antes, sea en la muestra:

V_a = Volumen de aire

V_w = Volumen de agua

V_s = Volumen de sólidos

V_v = Volumen de vacíos = $V_a + V_w$

V_t = Volumen total de la muestra = $V_a + V_w + V_s = V_t$

W_a = Peso del aire en la muestra, generalmente tomada como 0

W_w = Peso del agua en la muestra

W_s = Peso de los sólidos en la muestra

W_t = Peso total de la muestra = $W_a + W_w + W_s = W_t$

En Mecánica de Suelos las combinaciones de mayor utilidad para obtener las características cualitativas del suelo se pueden dividir en tres grupos:

IIa) Relaciones adimensionales fundamentales: entre pesos o entre volúmenes

IIb) Relaciones entre pesos y volúmenes

IIc) Relaciones adimensionales entre pesos y volúmenes

IIa) Relaciones adimensionales fundamentales

$$e = \text{Relación de vacíos, oquedad o índice de poros} = \frac{V_v}{V_s}$$

$$n = \text{Porosidad} = \frac{V_v}{V_t}$$

$$C_r = \text{Compacidad relativa} = \frac{e_{\text{máx}} - e_{\text{nat}}}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}}$$

$$G_w = \text{Grado de saturación} = \frac{V_w}{V_v}$$

$$w\% = \text{Contenido de agua} = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

IIb) Relaciones entre pesos y volúmenes

Relacionando el peso de las distintas fases con el volumen respectivo se obtiene el concepto de peso volumétrico. Se definen los siguientes pesos volumétricos.

$$\gamma_o = \text{Peso volumétrico del agua destilada a } 4^\circ\text{C, a la presión atmosférica al nivel del mar} = \frac{W_w}{V_w} \quad (W_w \text{ y } V_w \text{ en las condiciones específicas}).$$

$$\gamma_w = \text{Peso volumétrico del agua en las condiciones de trabajo} = \frac{W_w}{V_w};$$

(W_w y V_w en las condiciones de trabajo); generalmente se acepta que $\gamma_o \doteq \gamma_w \doteq 1 \text{ ton/m}^3$.

$$\gamma_s = \text{Peso volumétrico de la fase sólida del suelo} = \frac{W_s}{V_s}$$

$$\gamma_m = \text{Peso volumétrico de la muestra del suelo} = \frac{W_t}{V_t}$$

Para:

$$\text{Vacíos secos } \gamma_m = \gamma_d$$

$$\text{Vacíos parcialmente saturados } \gamma_m = \gamma_m$$

$$\text{Vacíos saturados } \gamma_m = \gamma_{\text{sat}}$$

$$\text{Suelo sumergido } \gamma_m = \gamma'_m$$

$$\gamma_d = \text{Peso volumétrico del material seco} = \frac{W_s}{V_t}; \text{ si } W_w = 0$$

$$\gamma_m = \text{Peso volumétrico parcialmente saturado} = \text{peso volumétrico húmedo} = \frac{W_s + W_w}{V_t}; \text{ si } W_w \neq 0$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \text{Peso volumétrico del material saturado} = \frac{W_s + W_w}{V_t}; \text{ si } V_w = V_v; W_w = V_v \gamma_w$$

$$\gamma'_m = \text{Peso volumétrico sumergido} = \gamma_m - \gamma_o$$

IIc) Relaciones adimensionales entre pesos y volúmenes

Relacionando el peso volumétrico de un material, con otro peso volumétrico tomado como base, se obtiene el concepto de peso específico. En Mecánica de Suelos, el peso volumétrico que se emplea como base es el del agua $\gamma_o = 1 \text{ ton/m}^3$.

S_s = Peso específico de los sólidos, la relación entre el peso volumétrico de los sólidos (γ_s) y el peso volumétrico del agua destilada a 4°C a la presión atmosférica al nivel del mar (γ_o)

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o}$$

S_m = Peso específico de la muestra del suelo:

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_o}$$

S_{sat} = Peso específico saturado:

$$S_{sat} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_o}$$

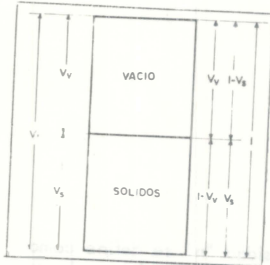
S_{ss} = Peso específico saturado sumergido

$$S_{ss} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_o} - 1$$

II a. RELACIONES ADIMENSIONALES FUNDAMENTALES



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



DEFINICIONES

II a 1. Definiciones de volúmenes

En una muestra se tienen tres diferentes fases de la materia, cuyos volúmenes son:

V_a = Volúmenes de gases, aire

V_w = Volumen de líquidos, agua

V_s = Volumen de sólidos de diversa mineralogía.

II a 2. Sumando el volumen de aire y agua se define el volumen de vacíos. La relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos se denomina relación de vacíos.

II a 3. Si el volumen total es unitario, el volumen de vacíos es igual a uno menos el volumen de sólidos o el volumen de sólidos es igual a uno menos el volumen de vacíos.

$$\begin{aligned} \text{Si: } V_v &= 1 - V_s \\ V_s &= V_s \\ e &= \frac{1 - V_s}{V_s} \\ \therefore V_s &= \frac{1}{1 + e} \end{aligned}$$

II a 4. Por definición si el volumen total es unitario, el volumen de sólidos es igual al inverso de la suma de uno más la relación de vacíos.

$$\begin{aligned} \text{Si: } V_v &= V_v \\ V_s &= 1 - V_v \\ e &= \frac{V_v}{1 - V_v} \\ \therefore V_v &= \frac{e}{1 + e} \end{aligned}$$

II a 5. Por definición si el volumen total es unitario, el volumen de vacíos es igual al cociente que resulta de dividir la relación de vacíos entre la suma de uno más la relación de vacíos.

$$\begin{aligned} n &= \frac{V_v}{V_t} \\ V_t &= 1; V_v = \frac{e}{1 + e} \\ n &= \frac{e}{1 + e} \end{aligned}$$

II a 6. Si la porosidad "n" se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total, de esta definición y la de la relación de vacíos "e" se obtiene "n" como función de "e".

$$\eta = \frac{V_v}{V_v + V_s}$$

$$\eta = \frac{i}{1 + e}$$

$$\eta = \frac{e}{1 + e}$$

II a 7. De las definiciones dadas en (3) Pág. 11 también se puede obtener la relación entre "n" y "e", sustituyendo en "n":

$$V_t = 1 \quad \text{y} \quad V_v = \frac{e}{1 + e}$$

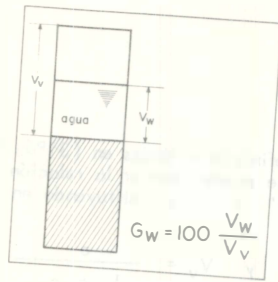
$$Cr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} 100$$

II a 8. La correspondencia entre la relación de vacíos que realmente tiene un suelo y sus valores límites, e_{\max} y e_{\min} , se le llama compacidad relativa C_R .

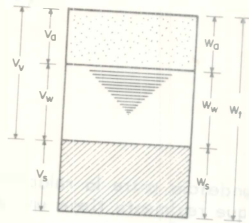
$$Cr > 50 \% \text{ Compacto}$$

$$Cr < 50 \% \text{ Suelto}$$

II a 9. Se dice que un suelo natural es suelto si su compacidad relativa es menor que 50 por ciento y compacto si es mayor.



II a 10. Grado de saturación G_w , es la relación en porciento de volumen de agua que llena los vacíos del suelos.



II a 11. Definiciones de pesos

En una muestra se distinguen tres diferentes pesos elementales y un peso total:

W_a = Peso del aire muy pequeño y no se considera: $W_a \cong 0$

W_w = Peso del agua

W_s = Peso de sólidos

W_t = Peso de la muestra:
 $W_t = W_w + W_s$

$$\omega = 100 \frac{W_w}{W_s}$$

II a 12. Contenido de agua ω , es el porciento del peso del agua con respecto al peso de los sólidos.

II b RELACIONES ENTRE PESOS Y VOLUMENES

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

II b 1.

Peso volumétrico de los sólidos se define como la relación entre el peso de los sólidos (W_s) y el volumen de los sólidos (V_s).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$$

$$\gamma_m = \frac{W_s + W_w}{V_t}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \times \delta_w}{V_t}$$

$$\gamma'_m = \gamma_m - \delta_w$$

II b 2.

Existen otras relaciones de pesos y volúmenes: peso volumétrico del material seco (γ_d); peso volumétrico del material húmedo (γ_m); peso volumétrico del material saturado (γ_{sat}); peso volumétrico del material sumergido (γ'_m).

II c 1. RELACIONES ENTRE PESOS Y VOLUMENES

$$\frac{\gamma_s}{\gamma_o} = S_s$$

$$S_s = \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\frac{W_w}{V_w}} = \frac{W_s}{V_s} \cdot \frac{V_w}{W_w}$$

si $V_w = V_s$

$$S_s = \frac{W_s}{W_w}$$

$\therefore S_s$: (adimensional)

II c 1. Peso específico de los sólidos, se define como la relación entre el peso volumétrico de los sólidos, que constituyen las partículas de suelo y el peso volumétrico del agua destilada a 4°C a la presión atmosférica al nivel del mar.

II D DETERMINACION DE LAS RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DE LOS SUELOS

II D a. Relación adimensionales fundamentales entre pesos o entre volúmenes

- II D a 1. Relación de vacíos e
- II D a 2. Porosidad n
- II D a 3. Compacidad relativa C_r
- II D a 4. Grado de saturación G_w
- II D a 5. Contenido de agua w

II D b. Relaciones entre pesos y volúmenes

- II D b 1. Pesos volumétricos γ

II D c. Relaciones adimensionales entre pesos y volúmenes

- II D c 1. Pesos específicos S_s

II D a 1. RELACION DE VACIOS

El cociente que resulta de dividir el volumen de vacíos entre el volumen de sólidos (en una muestra de suelo), se le llama relación de vacíos (e). Permite juzgar cualitativamente el acomodo de las partículas en los suelos granulares y la deformabilidad en los suelos finos.

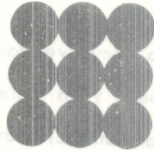
$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Relación de vacíos (e) varía con el acomodo, forma y dimensión de las porciones sólidas del suelo.

Acomodo de las partículas sólidas

Una concepción simplista de la manera en que se modifica la relación de vacíos debido al acomodo de sus partículas, se obtiene al analizar el agrupamiento más compacto y más suelto de un conjunto de esferas.

Acomodo más suelto



Acomodo más compacto



Fig. 1

Forma de las partículas sólidas

La forma influye en el valor de la relación de vacíos ya que si en lugar de esferas como se analizó anteriormente, se suponen paralelepípedos semejantes a cartas de barajas, el acomodo más compacto es mucho menor que en el caso de las esferas; ya que se puede considerar prácticamente nula la relación de vacíos al acomodarse como un paquete de naipes. El caso más suelto se puede hacer si se arreglan como un castillo de cartas, lo cual da una relación de vacíos mucho mayor que el que da el acomodo de las esferas.

Tamaño de las partículas sólidas

El valor del volumen de sólidos es función de los tamaños de las partículas y para el volumen total dado, el aumento del volumen de sólidos disminuye la rela--

lación de vacíos y una disminución del volumen de sólidos, provoca un aumento en la relación de vacíos.

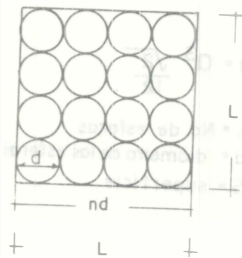
En una estructuración como la de las tarjetas de naipes mencionada, si el naipé es grueso la relación de vacíos disminuye para acomodarlos más sueltos. Cuando los naipes son delgados y pequeños se pueden acomodar en forma de caja uniéndolos por las aristas con lo cual la relación de vacíos se hace muy grande.

Al disminuir el tamaño de los elementos sólidos del suelo disminuyen las fuerzas de cuerpo, que son función del volumen (por ejem. el peso) y las fuerzas de superficie (por ejem., la adherencia), que varían con la disminución del área externa del sólido; la relación entre las fuerzas de superficie y las fuerzas de cuerpo crece a medida que disminuye el tamaño del elemento, porque la relación

$\frac{\text{Área}}{\text{volumen}} = \frac{A}{V}$ llamada superficie relativa, aumenta al disminuir el volumen del cuerpo, ya que el área es función del cuadrado de la longitud y el volumen del cubo.

Por este hecho al disminuir el tamaño de las partículas las fuerzas de superficie se hacen muy importantes y pueden llegar a ser mayores que las de volumen, lo cual permite concebir un acomodo que dé una relación de vacíos muy grande, ya que los sólidos pueden arreglarse pegados en los bordes (las fuerzas de superficie son muy grandes comparadas con el peso) hasta formar un volumen hueco como una caja, con un volumen de sólidos muy pequeño, el constituido por el volumen de las paredes de la caja.

OBTENCION DE LA RELACION DE VACIOS PARA EL ACCMDC MAS SUELTO
DE ESFERAS



$$L = nd$$

$$V_{\text{total}} = L^3 = (nd)^3 = n^3 d^3$$

$$V_{\text{sol}} = \frac{4}{3} \pi R^3 n = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 (n) = 0.5236 d^3 n$$

$$V_{\text{sol}} = 0.5236 d^3 n$$

$$V_v = V_{\text{tot}} - V_s$$

$$V_v = n^3 d^3 - 0.5236 d^3 n$$

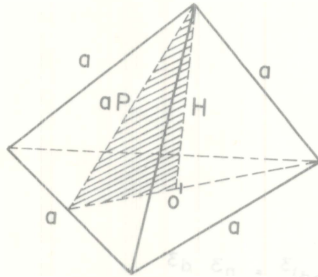
$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n^3 d^3 - 0.5236 d^3 n}{0.5236 d^3 n}$$

$$e = \frac{n^3 d^3}{0.5236 d^3 n} - 1$$

$$e = \frac{n^3}{0.5236 n} - 1 = 1.91 - 1$$

$$e = 0.91$$

Un acomodo más compacto de esferas es cuando forman un Tetraedro.
La Relación de Vacíos en este caso se obtiene:



Volumen

$$Q = nd$$

$$Q_p = H^2 + ab^2$$

$$S = a^2 \sqrt{3}$$

O = Baricentro

$$Q_p = a \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$Q_b = \frac{2\sqrt{3}}{6}$$

$$V_t = a^3 \frac{\sqrt{2}}{12}$$

n = No. de esferas

d = diámetro de las esferas

S = superficie

Para la primera capa el No. de esferas es:

$$1- n + (n-1) + (n-2) + (n-3) + \dots + 1$$

$$= \frac{(n+1)(n)}{2} = \frac{1}{2} (n^2 + n)$$

Para la segunda capa

$$2- \frac{1}{2} (n-1)n = \frac{1}{2} (n^2 - n)$$

Para la tercera capa

$$3- \frac{1}{2} (n-2)(n-1) = \frac{1}{2} (n^2 - 3n - 2)$$

Así sucesivamente.

Para un No. de n esferas el total de ellas es:

$$\Sigma = \frac{1}{2} (\Sigma n^2 + \Sigma n) \quad \text{o} \quad S = \frac{n(n+1)(n+2)}{6} = \text{No. total de esferas}$$

$$S = \frac{1}{6} (n^3 - 3n^2 + n)$$

El volúmen de los sólidos será:

$$V_s = \frac{\pi}{6} d^3 s$$

El volúmen total será

$$V_T = d^3 \frac{\sqrt{2}}{12} = n^3 d^3 \frac{\sqrt{2}}{12}$$

El volúmen de vacíos

$$V_v = V_T - V_s = n^3 d^3 \frac{\sqrt{2}}{12} - \frac{\pi}{6} d^3 s$$

La Relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_T - V_s}{V_s} = \frac{V_T}{V_s} - 1$$

$$e = \frac{V_T}{V_s} - 1 = \frac{n^3 d^3 \sqrt{2}/12}{\pi/6 d^3 s} - 1$$

$$e = \frac{n^3 \sqrt{2}/12}{\frac{\pi}{6} s} - 1 = \frac{n^3 \sqrt{2}/12}{\pi/6 (n^3 - 3n^2 + n)} - 1$$

$$e = \frac{n^3 \sqrt{2} (36)}{12 \pi (n^3 - 3n^2 + n)} - 1 = \frac{3n^3 \sqrt{2}}{\pi (n^3 - 3n^2 + n)} - 1$$

$$e = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{n^3}{(n^3 - 3n^2 + n)} - 1 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} - 1 = 0.35$$

cuando $n \rightarrow \infty$

La relación de vacíos para esferas $e_{m\acute{a}x} = 0.91$ y $e_{m\acute{i}n} = 0.35$ y las relaciones de vacíos obtenidas para el caso de los naipes $e_{m\acute{a}x} \cong 15$ $e_{m\acute{i}n} \cong 0$ son para formas regulares e iguales; las relaciones de vacíos máximas y mínimas en suelos (con diferentes tamaños de granos) que se han encontrado experimentalmente son:

<u>e</u>	<u>Suelos</u>
0.25	Arena muy compacta
0.85	Arena limosa
1.00	Arena fina uniforme
1.20	Limo uniforme
8.00	Arcilla muy compresible
11.00	Arcilla altamente compresible

Tabla 1

En el ejemplo de las esferas se encontró que la $e_{m\acute{a}x}$ es 0.91, en cambio la relación de vacíos media del primer estrato deformable de la ciudad de México, resulta de 6.9; esta diferencia se explica si se toma en cuenta que las partículas de arcillas de la ciudad de México son muy pequeñas y alargadas, en forma de hojuelas o de palillos, lo cual permite una estructuración de castillo de naipes de dimensiones sumamente reducidas.

Las partículas sólidas que forman la primera agrupación de castillo de naipes se denomina estructuración primaria y junto con otras semejantes, forma también grupos de tamaño diminuto con peso muy reducido, por lo cual las fuerzas de adherencia entre estos grumos secundarios y otros análogos, da la oportunidad de que

se creen grumos mayores, de estructuración terciaria que son los que se detectan a primera vista en las arcillas de la ciudad de México.

La primera estructuración (partículas sólidas con partículas sólidas), se denomina estructuración primaria, la unión de estructuraciones primaria que forman el primer grupo mencionado anteriormente, constituye la estructuración secundaria. La estructuración terciaria como la de la ciudad de México se presenta al unirse grupos de estructuración secundaria y también se llama panaloide. El acomodo de las partículas finas permite explicar el fenómeno que se presenta al remodelarse las arcillas. Al modificarse la estructura original se disminuye la relación de vacíos y la resistencia del suelo, también aumenta la deformabilidad dado que la nueva estructuración no tiene la misma adherencia entre grumos que tenía en estado original; como sucede al romperse la estructura de un edificio que ya es incapaz de resistir los esfuerzos que soportaba estando entera.

Ai quedar en reposo las arcillas remodeladas se generan las interacciones entre grumos y se recupera gran parte de las características de resistencia y deformabilidad que originalmente tenía el suelo, éste fenómeno se denomina "TIXOTROPIA".

Obtención de la relación de vacíos

Para determinar la relación de vacíos se mide el volumen total de la muestra labrándola en forma regular que permita el cálculo del volumen o bien midiendo la muestra con mercurio; en este último caso la muestra de forma irregular se sumerge dentro de un recipiente, el volumen de mercurio desplazado será el volumen total

de ella. Por otra parte si la muestra se seca a 100°C durante 24 horas y posteriormente se pesa, se obtienen por definición el peso de los materiales sólidos secos (W_s), este peso dividido entre el peso volumétrico de los sólidos, dará el volumen de sólidos (V_s); por consiguiente para obtener la relación de vacíos se divide la diferencia entre el volumen total y el volumen de sólidos entre el volumen de sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_t - V_s}{V_s} = \frac{V_t}{V_s} - 1$$

Por ejemplo en la relación de vacíos media de la ciudad de México

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_t}{V_s} - 1$$

$$e = \frac{V_t}{V_s} - 1 \quad \therefore \quad V = V_s + \underbrace{6.9}_{V_v}$$

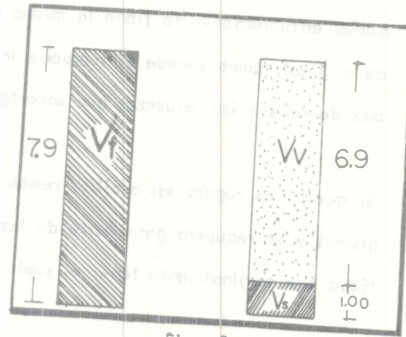


Fig. 2

Otra forma de obtener la relación de vacíos es fijarla en función del peso específico y del peso volumétrico seco de la muestra:

sea

$$V_t = \text{Volumen total de la muestra}$$

W_s = Peso seco de la muestra obtenido después de secar la muestra a 110°C durante 24 horas, y pesado en una balanza de precisión con una aproximación de 0.1 gr.

S_s = Peso específico de los sólidos.

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{W_s}{V_s \gamma_o}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_t}{V_s} - 1$$

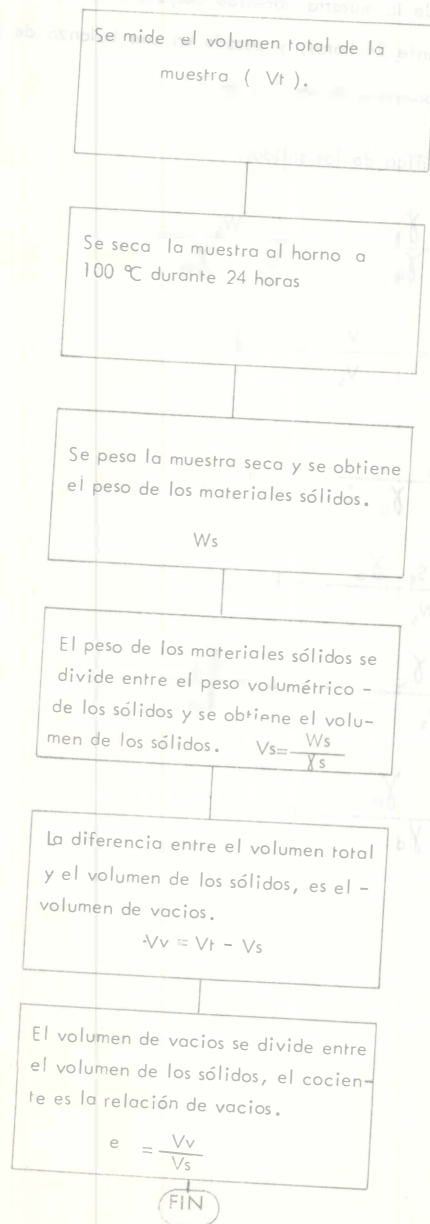
$$V_s = \frac{W_s}{S_s \gamma_o}$$

$$e = \frac{V_t S_s \gamma_o}{W_s} - 1$$

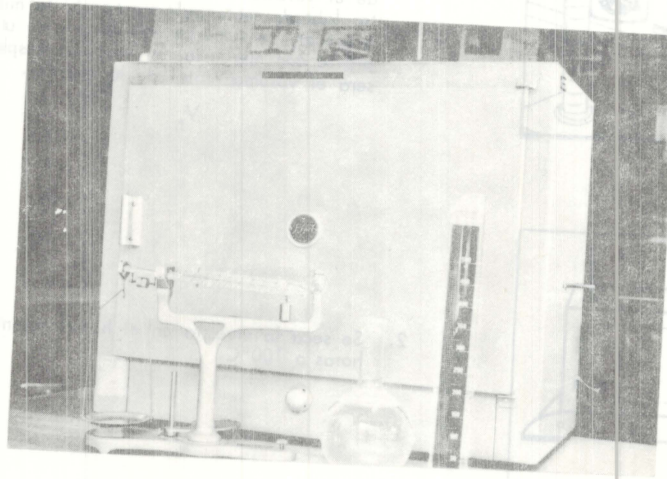
$$e = \frac{V_t \gamma_s}{W_s} - 1 = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

$$e = \frac{S_s \gamma_o}{\gamma_d} - 1$$

RELACION DE VACIOS



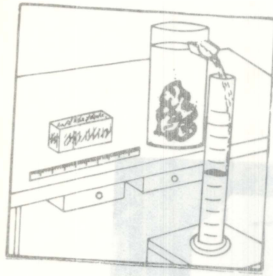
OBTENCIÓN DE LA RELACION DE VACIOS.



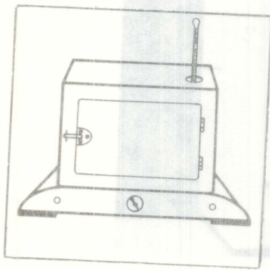
1. EQUIPO

- a) Recipiente con mercurio
- b) Horno de secado
- c) Balanza de precisión
- d) Probeta graduada

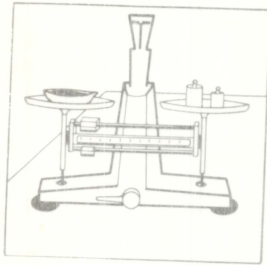
OBTENCION DE LA RELACION DE VACIOS



1. Para determinar la relación de vacíos, se mide el volumen total directamente en una muestra labrada rectangularmente. Si la muestra es irregular, se sumerge ésta dentro de un recipiente con mercurio, el volumen desplazado, será el volumen total de la muestra.

$$V_t$$


2. Se seca la muestra en el horno durante 24 horas a 100°C.



3. Se pesa la muestra seca y se obtiene el peso de los materiales sólidos.

$$W_s$$

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

4. Se divide el peso de los materiales sólidos entre el peso volumétrico de los sólidos " γ_s ", para obtener el volumen de sólidos.

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{W_s}{S_s \gamma_o}$$

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

5. El peso volumétrico de los sólidos " γ_s ", se obtienen a partir de la relación:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$$V_T - V_s = V_v$$

6. La diferencia entre el volumen total menos el volumen de sólidos dará el volumen de vacíos.

$$V_v = V_t - V_s$$

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

7. Se divide el volumen de vacíos entre el volumen de sólidos para obtener finalmente la relación de vacíos " e ".

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_T - V_s}{V_s} = \frac{V_T}{V_s} - 1$$

RELACION DE VACIOS Y POROSIDAD

OBRA : _____	FECHA: _____
LOCALIZACION: _____	OPERADOR: _____
SONDEO N° _____ ENSAYE: _____	_____
MUESTRA N: _____ PROF: _____	CALCULO: _____
DESCRIPCION: _____	_____

Volumen total de la muestra V_t	Peso de los sólidos W_s	Peso volumétrico de los sólidos γ_s	Volumen de sólidos $V_s = \frac{W}{\gamma_s}$	Volumen de vacios $W = V_t - V_s$	Relación de vacios $e = \frac{V_v}{V_s}$	Porosidad $n = \frac{V_v}{V_t}$	ENSAYE #

ACLARACIONES: _____

OBSERVACIONES: _____

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
VENEZUELA
LABORATORIO DE FÍSICA

MUESTRA		MUESTRA	

DURANTE LA OBTENCION DE LA RELACION DE VACIOS SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. Al medir el volumen de mercurio desplazado por la muestra
2. No tener la muestra el tiempo suficiente en el homo a la temperatura adecuada.
3. Obtener malas pesadas

IIDa2. POROSIDAD

La porosidad relaciona el volumen de vacíos del suelo con el volumen total que éste tiene; esta propiedad se utiliza con los mismos propósitos que la relación de vacíos. Conocida la relación de vacíos la porosidad se puede obtener con la siguiente expresión.

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

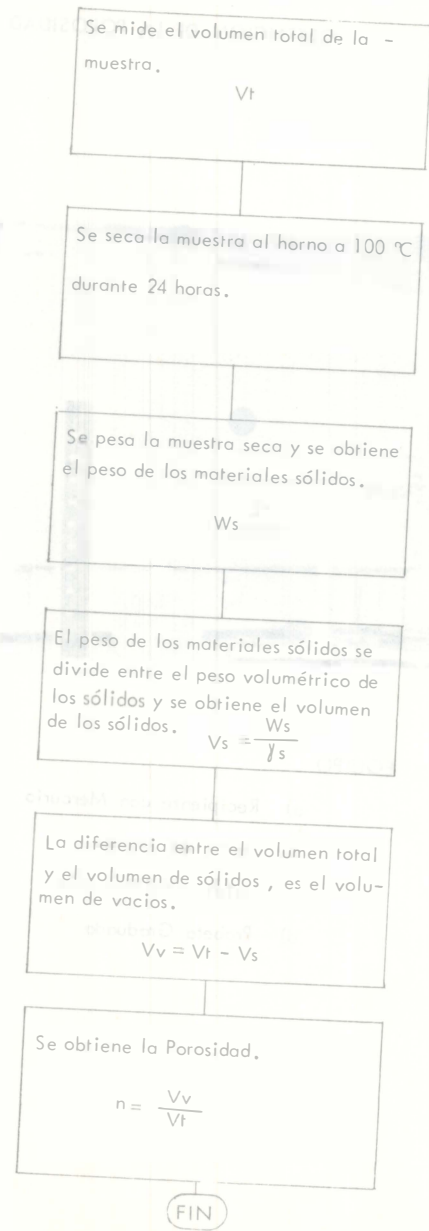
$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

$$n = \frac{V_v}{V_v + V_s}$$

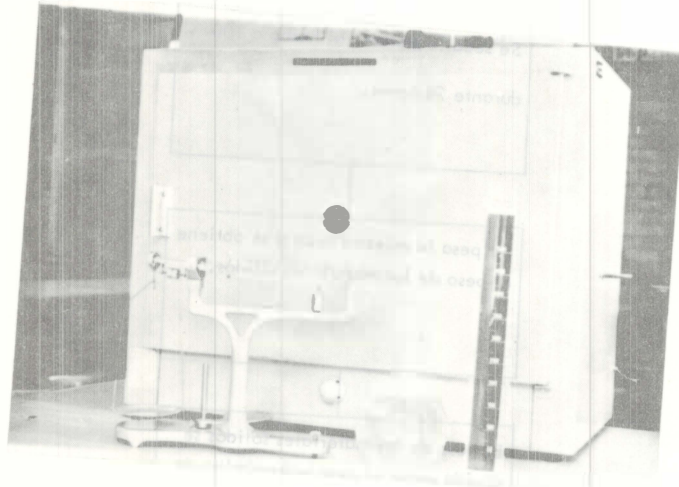
La porosidad permite visualizar la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total. La variación del volumen total de la muestra se puede expresar con la variación de la relación de vacíos o con la de la porosidad. En el primer caso la

variación del volumen, modifica sólo el volumen de vacíos y mantiene constante el denominador, (dado que por hipótesis el volumen de los sólidos es invariante); en cambio al expresar la modificación con la porosidad cambian el numerador (el volumen de vacíos) y el denominador (el volumen total), lo que dificulta las operaciones matemáticas, por esta razón se utiliza más la relación de vacíos que la porosidad.

POROSIDAD



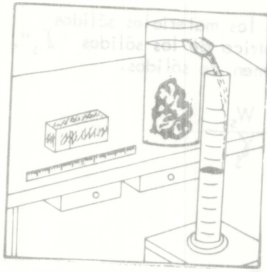
OBTENCION DE LA POROSIDAD



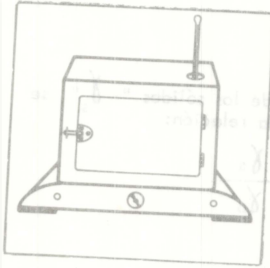
1. EQUIPO

- a) Recipiente con Mercurio
- b) Horno de Secado
- c) Balanza de Presición
- d) Probeta Graduada

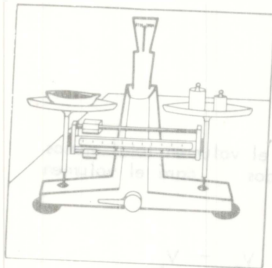
OBTENCION DE LA POROSIDAD



1. Se mide el volumen total de la muestra, la-brándola rectangularmente y si no es posible y tiene forma irregular, se sumerge dentro de un recipiente con mercurio; el volumen des-plazado será el volumen de la muestra.

 V_t 

2. Se seca la muestra al horno durante 24 ho-ras a 100°C.



3. Se pesa la muestra seca y se obtiene el peso de los materiales sólidos.

 W_s

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$$V_T - V_s = V_v$$

4. Se divide el peso de los materiales sólidos entre el peso volumétrico de los sólidos " γ_s ", para obtener el volumen de sólidos.

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

5. El peso volumétrico de los sólidos " γ_s " se obtiene a partir de la relación:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

6. La diferencia entre el volumen total menos el volumen de sólidos dará el volumen de vacíos.

$$V_v = V_T - V_s$$

$$\eta = \frac{V_v}{V_T}$$

7. Se divide el volumen de vacíos entre el volumen total y se obtiene la "POROSIDAD".

$$\frac{V_v}{V} = n$$

DURANTE LA OBTENCION DE LA POROSIDAD, SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. Al medir el volumen del mercurio desplazado por la muestra
2. No tener la muestra el tiempo suficiente en el horno a la temperatura adecuada.
3. Obtener malas pesadas

IIDa3. COMPACIDAD RELATIVA

El parámetro compacidad relativa (C_r) permite describir la compacidad de un suelo arenoso de manera concisa; entendiéndose por compacidad de relación que mide el grado de acomodo de las partículas constitutivas de los suelos y se expresa de la forma siguiente:

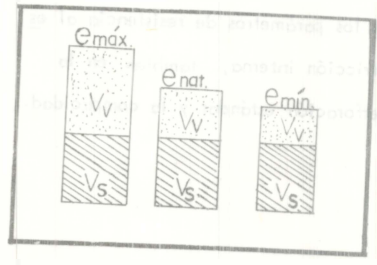


Fig. 3

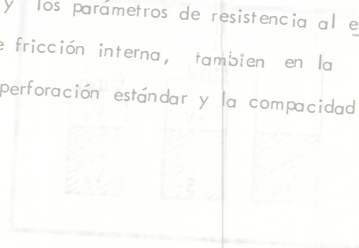
$$C_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e_{nat}}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}}$$

La obtención de la compactación relativa es difícil de realizar ya que la determinación de la $e_{máx}$ (relación de vacíos máxima) y $e_{mín}$ (relación de vacíos mínima), dependerá del procedimiento de compactación que se utilice.

Para la determinación de la compactación relativa (C_r) en arenas se acepta que el estado más suelto (el cual define a $e_{máx}$) se obtiene dejando caer libremente la arena en estudio en estado seco en un recipiente de volumen conocido; al estado más compacto de suelo corresponde $e_{mín}$ y se obtiene vibrando el recipiente con el material seco obteniéndose un mejor acomodo de partículas; al estado natural correspondiente la e_{nat} la cual determina la muestra obtenida en el sitio.

Algunos autores emplean la palabra Densidad Relativa al referirse a la Compactación Relativa.

El concepto de compactación relativa se introdujo para estimar el acomodo de partículas de un suelo granular tal como se encuentra en la naturaleza y permite estimar cualitativamente las propiedades mecánicas de los suelos; en la fig. 4 se muestra la relación empírica entre C_r y los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, cohesión C y ángulo de fricción interna, también en la fig. 5 se muestra el número de golpes de perforación estándar y la compactación.



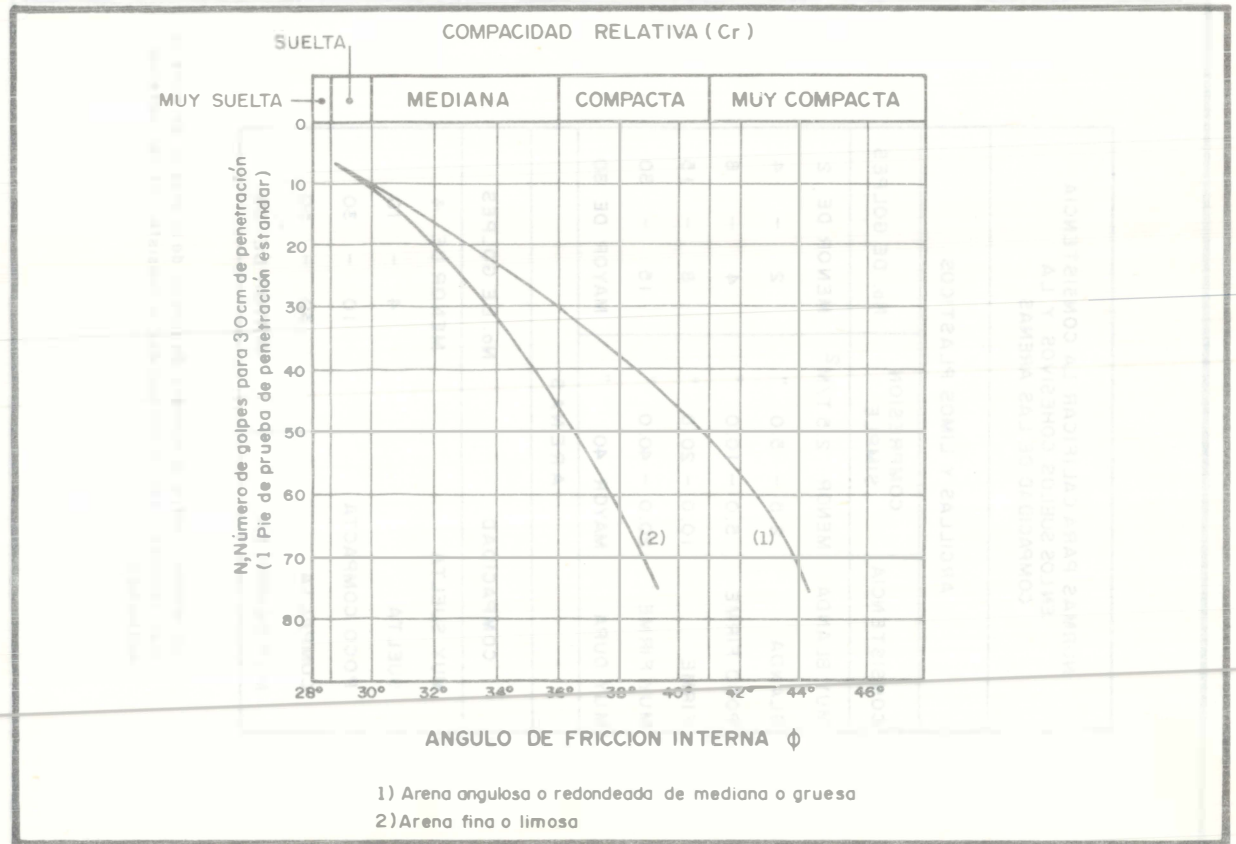


Fig. 4

NORMAS PARA CALIFICAR LA CONSISTENCIA EN LOS SUELOS COHESIVOS Y LA COMPACIDAD DE LAS ARENAS		
ARCILLAS Y LIMOS PLASTICOS		
CONSISTENCIA	COMPRESION SIMPLE	No. DE GOLPES
MUY BLANDA	MENOR 2.5 T/M ²	MENOR DE 2
BLANDA	2.5 - 5.0 "	2 - 4
POCO FIRME	5.0 - 10.0 "	4 - 8
FIRME	10.0 - 20.0 "	8 - 15
MUY FIRME	20.0 - 40.0 "	15 - 30
MUY DURA	MAYOR 40 "	MAYOR DE 30
ARENAS		
COMPACIDAD	No. DE GOLPES	
MUY SUELTA	MENOR DE 4	
SUELTA	4 - 10	
POCO COMPACTA	10 - 30	
COMPACTA	30 - 50	
MUY COMPACTA	MAYOR DE 50	

Correlación entre el número de golpes de la prueba de penetración estandar, con la compacidad o consistencia del material explorado.

fig. 5

La tabla siguiente relaciona la compacidad relativa con el estado de suelo.

Compacidad relativa	Descripción
0.15	Muy suelto
0.15 - 0.35	Suelto
0.35 - 0.65	Medio denso
0.65 - 0.85	Denso
0.85 - 1.00	Muy denso

Tabla 2

No existe en la actualidad un procedimiento preciso para la obtención de la compacidad relativa de los suelos (C_r), dado que no se ha definido cual es el estado más suelto y el más compacto del suelo.

En este trabajo se explicará un procedimiento por el cual se puede obtener la compacidad relativa en función de los pesos volumétricos; la compacidad relativa se puede expresar en función de los diferentes pesos volumétricos del suelo para los diferentes grados de compactación, en la forma mostrada en la hoja 55

El procedimiento para la obtención de la "Compacidad relativa" consiste en la determinación de los diferentes pesos volumétricos secos (γ_d), natural, máximo y mínimo.

Para la obtención del peso volumétrico seco natural (γ_{dnat}), se toma una muestra de suelo donde se desea conocer la compacidad relativa (C_r) (generalmente la muestra extraída es de aproximadamente 5 lts.) esta muestra obtenida se seca

$$C_r = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}}$$

y se pesa obteniéndose el peso seco (W_s) y para la obtención del peso volumétrico seco natural se divide este peso entre el volumen de la muestra (V_m). Este volumen es igual al del recipiente.

$$\gamma_{\text{dnat}} = \frac{W_s}{V_m}$$

Para la obtención del peso volumétrico seco mínimo ($\gamma_{\text{dmín}}$) la muestra seca se disgrega sin romper los granos sólidos del suelo y se deposita en un recipiente de volumen y peso conocido (film. 4 pág. 54), por medio de un cucharón de lámina dejando caer el suelo de 30 cm, de altura a través de un embudo de 2.5 cm de diámetro, cuando el recipiente esté lleno se enraza teniendo cuidado de no compactarlo y se pesa (W_t) a este peso se le resta del recipiente (W_r) y se obtiene el peso de los sólidos (W_s). Dividiendo este peso entre el volumen del recipiente (V_m) se obtiene el peso volumétrico seco mínimo ($\gamma_{\text{dmín}}$)

$$\gamma_{\text{dmín}} = \frac{W_s}{V_m}$$

El peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{\text{dmáx}}$) se obtiene depositando la muestra en tres capas iguales en el recipiente, compactando cada capa por medio de un martinete (ver fig. 8 pág. 55) dándole 25 golpes uniformemente repartidos a cada capa; terminada la compactación se enraza y se pesa (W_t). Este peso menos el peso del recipiente (W_r) dará el peso de los sólidos (W_s) dividiéndolo entre el volumen del recipiente (V_m) dará el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{\text{dmáx}}$).

$$\gamma_{\text{dmáx}} = \frac{W_s}{V_m}$$

LA COMPACIDAD RELATIVA (C_r) PUEDE EXPRESARSE EN FUNCION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS EN LA FORMA SIGUIENTE :

$$C_r = \frac{e_{\text{máx}} - e_{\text{nat}}}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}} \times 100$$

$$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{W_s}{V_s + V_{v \text{ mín}}} = \frac{V_s \gamma_s}{V_s + V_{v \text{ mín}}} = \frac{\gamma_s}{1 + e_{\text{mín}}}$$

$$\gamma_{d \text{ mín}} = \frac{\gamma_s}{1 + e_{\text{máx}}} \quad \gamma_{d \text{ nat}} = \frac{\gamma_s}{1 + e_{\text{nat}}}$$

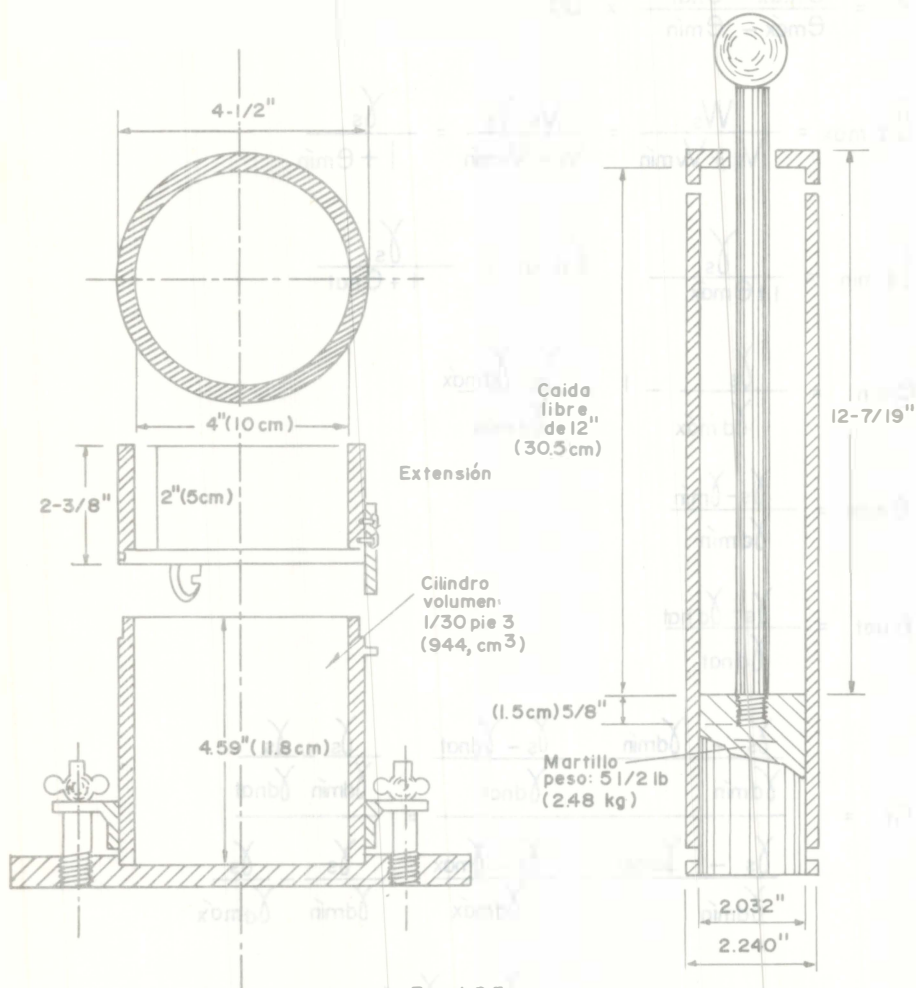
$$e_{\text{mín}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{d \text{ máx}}} - 1 = \frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ máx}}}{\gamma_{d \text{ máx}}}$$

$$e_{\text{máx}} = \frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ mín}}}{\gamma_{d \text{ mín}}}$$

$$e_{\text{nat}} = \frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ nat}}}{\gamma_{d \text{ nat}}}$$

$$C_r = \frac{\frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ mín}}}{\gamma_{d \text{ mín}}} - \frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ nat}}}{\gamma_{d \text{ nat}}}}{\frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ mín}}}{\gamma_{d \text{ mín}}} - \frac{\gamma_s - \gamma_{d \text{ máx}}}{\gamma_{d \text{ máx}}}} = \frac{\frac{\gamma_s}{\gamma_{d \text{ mín}}} - \frac{\gamma_s}{\gamma_{d \text{ nat}}}}{\frac{\gamma_s}{\gamma_{d \text{ mín}}} - \frac{\gamma_s}{\gamma_{d \text{ máx}}}}$$

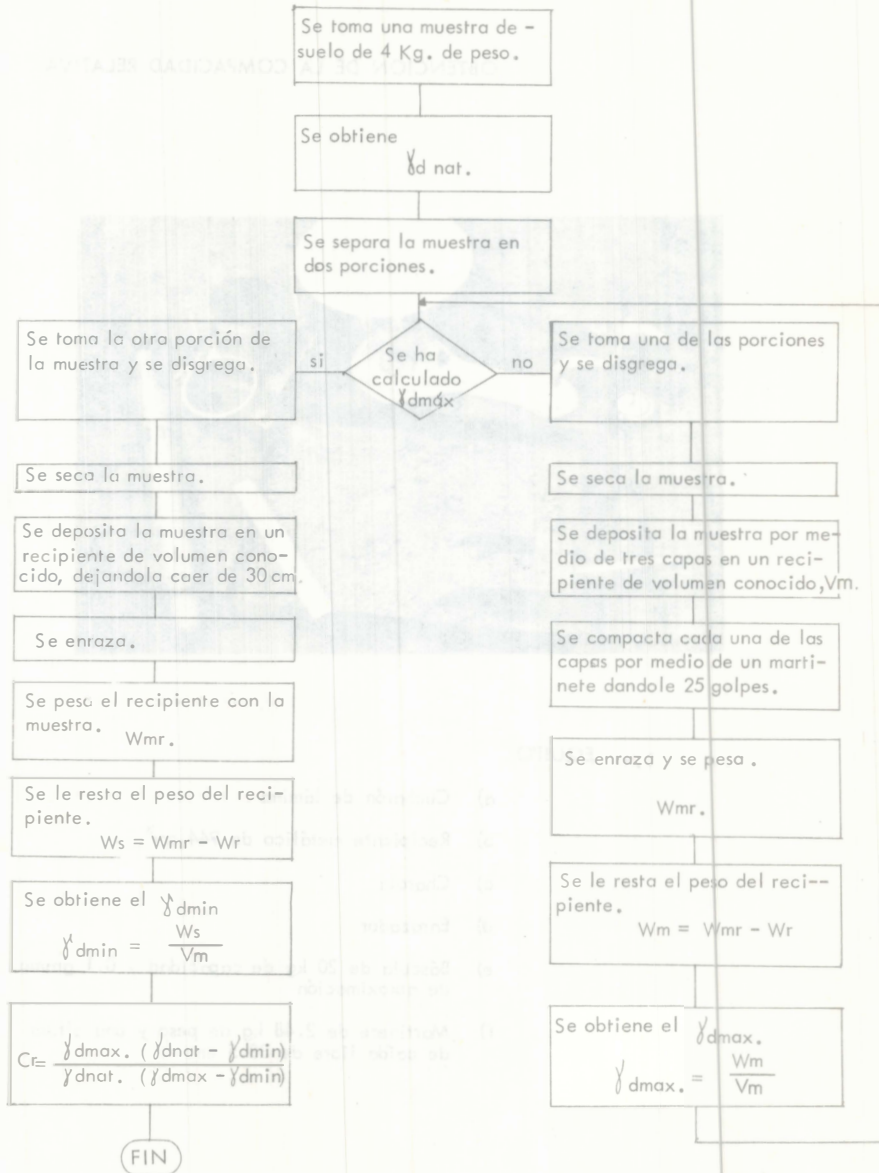
$$C_r = \frac{\frac{1}{\gamma_{d \text{ mín}}} - \frac{1}{\gamma_{d \text{ nat}}}}{\frac{1}{\gamma_{d \text{ mín}}} - \frac{1}{\gamma_{d \text{ máx}}}} = \frac{\frac{\gamma_{d \text{ nat}} - \gamma_{d \text{ mín}}}{\gamma_{d \text{ mín}} \gamma_{d \text{ nat}}}}{\frac{\gamma_{d \text{ nat}} - \gamma_{d \text{ mín}}}{\gamma_{d \text{ mín}} \gamma_{d \text{ máx}}}} = \frac{\gamma_{d \text{ máx}}}{\gamma_{d \text{ nat}}} \cdot \frac{\gamma_{d \text{ nat}} - \gamma_{d \text{ mín}}}{\gamma_{d \text{ máx}} - \gamma_{d \text{ mín}}}$$



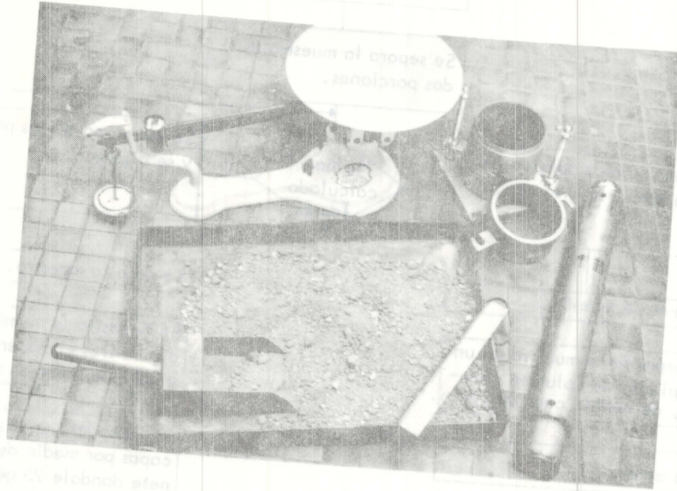
Esc. 1:2.5

Fig. 6

COMPACTACION RELATIVA



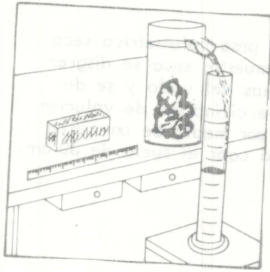
OBTENCIÓN DE LA COMPACIDAD RELATIVA



1.- EQUIPO

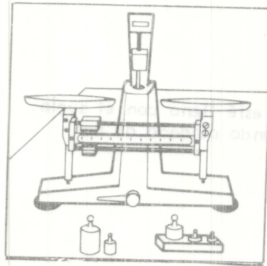
- a) Cucharón de lámina
- b) Recipiente metálico de 944 cm^3
- c) Charola
- d) Enrazador
- e) Báscula de 20 kg de capacidad y 0.1 gramo de aproximación
- f) Martinete de 2.48 kg de peso y una altura de caída libre de 30.5 cm

PROCEDIMIENTO



1. Se obtiene el volumen de la muestra del suelo donde se desea conocer la compacidad relativa, generalmente alrededor de 5 lts.

$$V_m$$

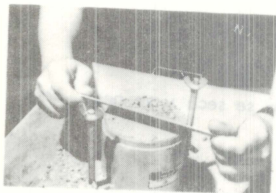
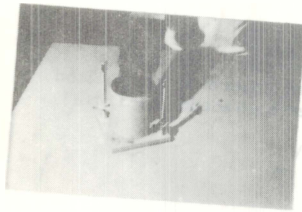


2. La muestra obtenida se seca y se pesa, obteniéndose W_s .

$$\gamma_{d\text{nat}} = \frac{W_s}{V_m}$$

3. Se obtiene el peso volumétrico seco natural dividiendo el peso seco (W_s) entre el volumen de la muestra (V_m).

$$\gamma_{d\text{nat}} = \frac{W_s}{V_m}$$



$$W_{RS} - W_R = W_S$$

PROCEDIMIENTO

4. Para la obtención del peso volumétrico seco mínimo ($\gamma_{dmín}$) la muestra seca se disgrega sin romper los granos del suelo y se deposita en el recipiente cilíndrico de volumen conocido (944 cm^3) por medio de un cucharón de lámina dejando caer el suelo de 30 cm. altura.

5. Cuando el recipiente esté lleno con el suelo suelto se enrasa teniendo cuidado de no compactarlo y se pesa.

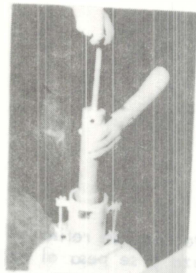
W_{sr}

6. Al peso obtenido al pesar el recipiente junto con la muestra (W_{sr}) se le resta el peso del recipiente (W_r) y se tiene el peso de la muestra suelta seca ($W_{s\text{mín}}$).

$$\gamma_{d \min} = \frac{W_{s \min}}{V_T}$$

7. Dividiendo el peso de la muestra suelta seca entre el volumen del recipiente se obtiene el peso volumétrico seco mínimo.

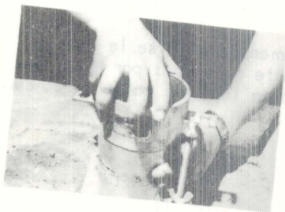
$$\gamma_{d \min} = \frac{W_{s \min}}{V_T}$$



8. El peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{d \max}$) se obtiene depositando la muestra en tres etapas iguales en el recipiente, compactando cada capa.
9. Se deposita la primera capa y se le dan 25 golpes uniformemente repartidos por medio del martinete, con altura libre de caída de 30 cm.

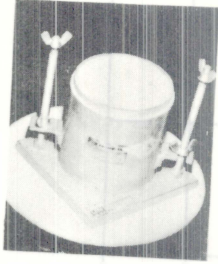


10. Se coloca el extensómetro y se repite el proceso para las otras dos capas.



11. Terminada la compactación, se retira el extensómetro, se enraza y se pesa el recipiente con la muestra

W_{s_r}



12. Al peso del recipiente con la muestra (W_{st}) se le resta el peso del recipiente (W_r) y se obtiene el peso de la muestra seca compactada.

$$W_{s\text{máx}}$$

$$\gamma_{d\text{max}} = \frac{W_{s\text{máx}}}{V_m}$$

13. Ya obtenido el peso de la muestra seca W_s y conocido el volumen del recipiente V_m se obtiene el peso volumétrico seco máximo.

$$\gamma_{d\text{max}} = \frac{W_{s\text{máx}}}{V_m}$$

$$C_R = \frac{\gamma_{d\text{max}}(\gamma_{d\text{nat}} - \gamma_{d\text{min}})}{\gamma_{d\text{nat}}(\gamma_{d\text{max}} - \gamma_{d\text{min}})}$$

14. Compacidad Relativa.

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA

COMPACIDAD RELATIVA

OBRA : _____

FECHA : _____

UBICACION : _____

OPERADOR : _____

Muestra N°	Volumen de Muestra V _m	Peso de la Muestra W _m	$\gamma_{dnat} = \frac{W_m}{V_m}$	Volumen del Recipiente V _m	Peso del Recipiente W _r	Peso del recipiente + peso del suelo Compactado	Peso del Suelo Seco W _s	$\gamma_{dmax} = \frac{W_s}{V_r}$	Peso del recipiente + peso del suelo Suelto	Peso del Suelo Seco W _s	$\gamma_{dmin} = \frac{W_s}{V_r}$	C _r

$$C_r = \frac{\gamma_{dmax}(\gamma_{dnat} - \gamma_{dmin})}{\gamma_{dnat}(\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})}$$

Registro 2

DURANTE LA OBTENCION DE LA COMPACIDAD RELATIVA SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. Al medir el volumen de la muestra
2. No enrazar correctamente la muestra
3. Obtener malas pesadas

Da4. GRADO DE SATURACION

El grado de saturación (G_w) mide el porcentaje de los vacíos del suelo que es tan llenos de agua.

$$G_w = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

$$G_w = \begin{cases} 0 \% = \text{Suelo seco} \\ 0 < G_w < 100 \% = \text{Parcialmente saturado} \\ 100 \% = \text{Saturado} \end{cases}$$

Los valores más bajos del grado de saturación que se encuentran en el planeta tierra se obtienen en arenas secas donde se pueden determinar G_w del orden de 2.0 %. Los suelos saturados donde $G_w \hat{=} 100$ % ocurren generalmente abajo

del nivel freático y en zonas en que por capilaridad asciende el agua hasta saturar el suelo.

Debe tenerse presente que hay aire y gases disueltos en el agua por lo que tampoco se presenta rigurosamente el valor de 100 %.

El grado de saturación es significativo en el comportamiento mecánico de los suelos; en arenas intuitivamente se puede comprender este hecho observando las playas, en la que se presenta una zona de arenas parcialmente saturadas donde se puede caminar, pueden incluso transitar vehículos; gracias a la alta resistencia al corte originada por la tensión capilar en los meniscos que se forman en ella, resistencia que se pierde al secarse o al saturarse la arena porque desaparecen los meniscos.

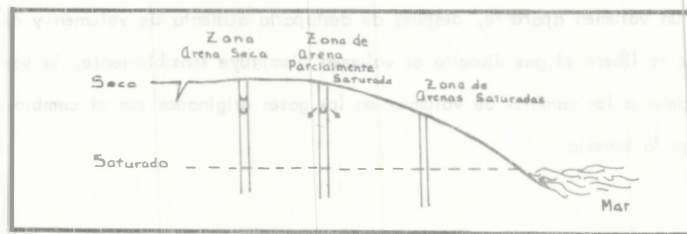


Fig. 7

En arcillas el grado de saturación es generalmente alto, excepto en zonas desérticas y sobre todo en la costra superficial del estrato.

Algunas arcillas con grado de saturación del 90 %, al tacto parecen que son secos porque adquieren una resistencia a la compresión muy alta.

En los depósitos de arcillas saturadas siempre queda aire atrapado y la descomposición de materia orgánica genera gases, esto hace que el grado de saturación sea menor que 100 %, lo cual se puede comprobar al obtener muestras intactas donde se generan expansiones por el cambio de esfuerzos que sufren al extraerse, expansiones que originan cambios de volumen, aumento de la relación de vacíos y disminución del grado de saturación; este fenómeno se puede observar, de manera cualitativa con una botella de gaseosa, antes de destaparla tiene un volumen aparente, después de destaparla aumenta de volumen y al dejar que se libere el gas disuelto el volumen disminuye sensiblemente, la variación se debe a los cambios de volumen en los gases originados por el cambio de presión en la botella.

En la siguiente tabla se clasifican los suelos granulares en función del grado de saturación.

Grado de saturación	Estado del suelo
0	Seco
1 - 25	Ligeramente húmedo
25 - 50	Húmedo
50 - 75	Muy húmedo
75 - 99	Mojado
100	Saturado

Tabla 3

Obtención del grado de saturación

Para la obtención del grado de saturación es necesario conocer el volumen de agua que se encuentra en una muestra dada y el volumen de vacíos de la misma muestra; primeramente se obtiene el volumen de la muestra (V_m) y el peso de la muestra (W_m) y para la obtención del volumen del agua es necesario conocer el peso del agua contenido en la muestra (W_w), el que se calcula de la diferencia del peso total de la muestra (W_t) y el peso de los sólidos de ella (W_s) obtenido al secarla a 100°C durante 24 horas.

$$W_w = W_t - W_s$$

Esta diferencia dividida entre el peso volumétrico del agua ($\gamma_w \doteq 1$) se obtiene el volumen del agua contenido en la muestra de suelo (V_w).

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

El volumen de vacíos (V_v) se obtiene de la diferencia del volumen de la muestra (V_m) y el volumen de sólidos (V_s), obtenido de dividir el peso de los sólidos entre el peso volumétrico de los sólidos (γ_s)

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

$$V_v = V_t - V_s$$

$$G_w = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

GRADO DE SATURACION

Se obtiene el volumen total de la muestra de suelo (V_t) y se obtiene su peso (W_t).

Se seca la muestra al horno a $100\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas.

Se pesa la muestra seca (W_s).

Se obtiene el peso del agua en la muestra de la diferencia.

$$W_w = W_t - W_s$$

Se obtiene el volumen del agua.

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

$\gamma_w = \text{Peso volumétrico del agua} \approx 1$

Se obtiene el volumen de los sólidos

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

$\gamma_s = \text{Peso volumétrico de los sólidos}$

Se obtiene el volumen de vacíos restando al volumen total el volumen de sólidos.

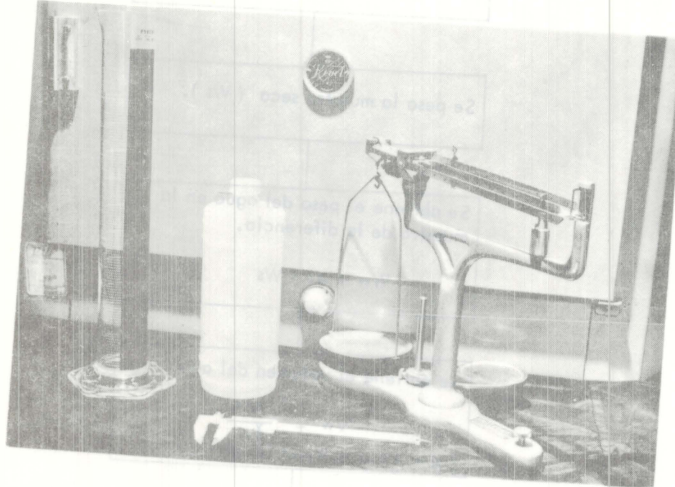
$$V_v = V_t - V_s$$

Se obtiene el grado de saturación.

$$G_w = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$$

FIN

OBTENCION DEL GRADO DE SATURACION



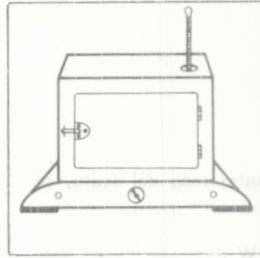
1.- EQUIPO EMPLEADO

- a). Horno de secado
- b). Balanza de precisión
- c). Recipiente con mercurio
- d). Regla para medir o un Vernier
- e). Probeta graduada

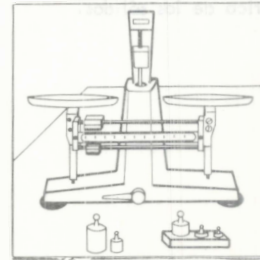
OBTENCION DEL GRADO DE SATURACION



1. Obtener el volumen (V_m) y peso de la muestra (W_m), midiéndola o por inmersión en mercurio (Hg).



2. Secar la muestra al horno a $100^{\circ}C$ durante 24 horas.



3. Pesar la muestra seca W_s .

$$W_m - W_s = W_w$$

$$\frac{W_w}{\gamma_w} = V_w$$

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

4. El peso del agua (W_w) se obtiene de -

$$W_m - W_s = W_w$$

5. El volumen del agua se determina

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

γ_w = Peso volumétrico del agua $\div 1 \text{ gr/cm}^3$

6. El volumen de la muestra seca del suelo, se obtiene de:

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$$

γ_s = Peso volumétrico de los sólidos.

$$V_T - V_S = V_V$$

7. El volumen de vacíos (V_V) se determina restando del volumen total (V_T), el volumen de los sólidos (V_S).

$$V_V = V_T - V_S$$

$$G_w = \frac{V_w}{V_V} \times 100$$

8. Se obtiene el grado de saturación.

$$G_w \% = \frac{V_w}{V_V} \times 100$$

U N A M
 FACULTAD DE INGENIERIA
 INGENIERIA CIVIL
 GEOTECNIA

GRADO DE SATURACION

OBRA: _____ LOCALIZACION: _____ SONDEO N° _____ ENSAYE N° _____ MUESTRA N° _____ PROF. _____ DESCRIPCION: _____	FECHA: _____ OPERADOR: _____ _____ CALCULO: _____ _____
---	---

Volúmen total	Peso total	Peso de muestra seca	Peso del agua en la muestra	Volúmen del agua en la muestra	Volúmen de los sólidos	Volúmen de vacíos	Grado de saturación
V_T	W_T	W_s	$W_w = W_T - W_s$	$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$	$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$	$V_v = V_T - V_s$	$G_w = \frac{V_w}{V_v} \times 100$

ACLARACIONES: _____

OBSERVACIONES: _____

DURANTE LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE SATURACIÓN SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. En la obtención del volumen total de la muestra
2. No tener la muestra el tiempo suficiente en el horno a la temperatura adecuada.
3. Obtener malas pesadas

11Da5. CONTENIDO DE AGUA

Se define como contenido de agua del suelo la relación entre el peso del agua contenida en una muestra de él y el peso de los sólidos del suelo de la misma. Este último peso se obtiene al secar el espécimen a 100°C durante 24 horas.

Esta temperatura se ha fijado para normar la cantidad de agua que debe extraerse del suelo, pero no significa que el agua así medida sea toda la que se encuentra en el material. En la masa del suelo se pueden presentar diferentes calidades o estados de agua, no toda el agua en el interior del material se comporta de la misma forma y pueden señalarse:

1. Agua higroscópica
o superficial.

Se define como la que pierde el suelo cuando se ha secado a la temperatura ambiente.

2. Agua capilar

Es la detenida en el suelo por fenómenos capilares y esta sujeta a presiones negativas.

3. Agua gravitacional

Es la que se comporta de la misma forma que el agua en los ríos, lagos y mares, y esta sujeta a presiones positivas, generalmente debido a su propio peso o de esa magnitud.

4. Agua adsorbida o sólida

Es la que se acomoda en el entorno de las partículas minerales formando una capa alrededor de las moléculas del suelo; está sujeta a presiones que aumentan a medida que se llega al límite de las moléculas del sólido. Esta agua se encuentra sujeta a presiones sumamente altas (2000 k/cm^2)* y se comporta en forma completamente diferente al agua libre.

El contenido de agua es una de las relaciones gravimétricas de los suelos de más fácil obtención y se expresa en porcentaje de la forma siguiente:

$$W \% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

* G.P.Tschebotarioff, in Soil Mechanics, Foundation and Earth Structures, cita a Winterkom H. F., in Soil Science Agosto 1943. pág. 101-105.

donde:

W = Contenido de agua

W_w = Peso del agua

W_s = Peso del suelo seco

Este parámetro permite prever el posible comportamiento mecánico del suelo en forma cualitativa; es decir, estimar aproximadamente la resistencia al corte y la deformabilidad del material.

Institivamente es evidente y se puede comprobar en el laboratorio, que no se comporta igual un material con alto contenido de agua que el mismo con bajo contenido de agua. No se comporta lo mismo una arcilla con contenido de agua de 50 % y saturada, que otra con contenido de agua de 200 % también saturada; la arcilla con el alto contenido en estado natural es más compresible, menos resistente al esfuerzo cortante que la de contenido de agua bajo.

Lo anterior no significa que se conozcan los valores de los parámetros de las propiedades mecánicas de los suelos, solamente se establece una relación cualitativa de su posible comportamiento en función del contenido de agua.

Valores aproximados del contenido de agua para diferentes muestras de suelo

Arena densa saturada	20 %
Arcilla glacial saturada	40 %
Arcilla bentonítica saturada	200 %

Arcilla de la ciudad de México	300 - 500 %
Arcilla altamente compresible	1000 %

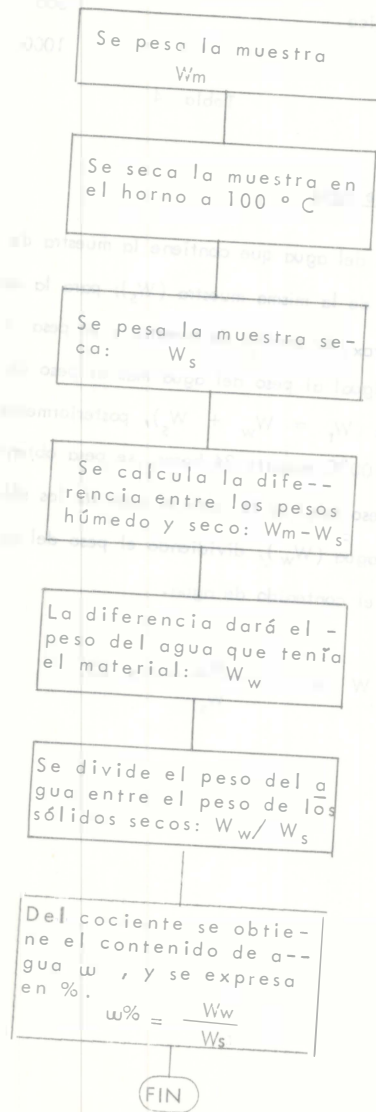
Tabla 4

Obtención del contenido de agua

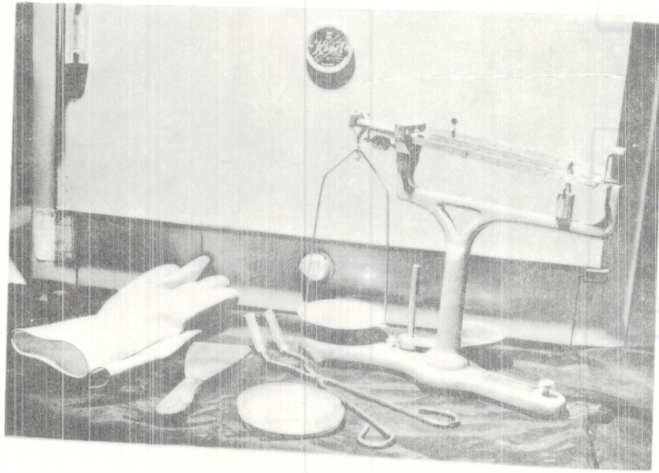
Consiste en obtener el peso del agua que contiene la muestra de suelo (W_w) y el peso del material sólido de la misma muestra (W_s); para la determinación del peso del agua se toman aprox. 60 gramos de muestra y se pesa (W_t), obteniéndose el peso total que es igual al peso del agua más el peso de los sólidos que se encuentra en la muestra ($W_t = W_w + W_s$), posteriormente se seca al horno a una temperatura de 100°C durante 24 horas, se pesa obteniéndose el peso de los sólidos (W_s), al peso total se le resta el peso de los sólidos ($W_t - W_s$) que es igual al peso del agua (W_w), dividiendo el peso del agua entre el peso de los sólidos se obtiene el contenido de agua.

$$W \% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

CONTENIDO DE AGUA

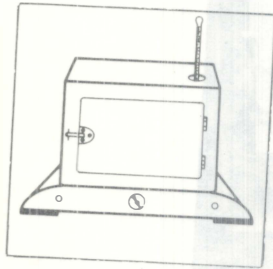
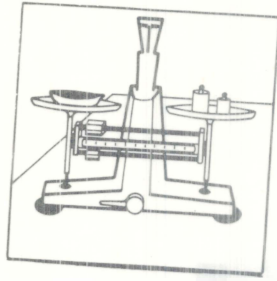


OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA



I. EQUIPO

- a) Vidrio de reloj o refractario
- b) Balanza de precisión con error de 0.1 gramos
- c) Horno de secado a temperatura constante a 110°C
- d) Pinzas, guantes, espátula



OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA

1. Se coloca la muestra del suelo en una cápsula y se pesa W_{ch} (peso de cápsula + suelo húmedo).

2. Se seca la muestra en el horno durante 24 horas a 100°C .

3. Se pesa la muestra seca W_{cs} (peso de cápsula + suelo seco).

$$W_c + W_s = W_{cs}$$

$$W_H - W_S = W_w$$

4. La diferencia entre el peso cápsula + suelo húmedo, menos el peso cápsula + suelo seco, dará el peso del agua que originalmente tenía el material.

$$W_s = W_{cs} - W_c$$

5. Al peso de la cápsula + suelo seco se le resta el peso de la cápsula y se obtiene el peso del suelo seco.

$$w_{\%} = \frac{W_w}{W_s} 100$$

6. Se divide el peso del agua entre el peso seco y se obtiene el contenido del agua.

G-

604621



FACULTAD DE INGENIERIA

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA

CONTENIDO DE AGUA

OBRA: _____ LOCALIZACION: _____ SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: _____ MUESTRA N°: _____ PROF. _____ DESCRIPCION: _____	FECHA: _____ OPERADOR: _____ CALCULO: _____
--	---

PRUEBA N°	CAPSULA N°	Peso Cápsula + Suelo Húmedo	Peso Cápsula + Suelo Seco	Peso del agua	Peso de la Cápsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
		Wch	Wcs	Ww	Wc	Ws	ω %
		gr	gr	gr	gr	gr	%

153403

ACLARACIONES: _____

OBSERVACIONES: _____

DURANTE LA OBTENCION DEL CONTENIDO DE AGUA SE PUEDEN
COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. Al nivelar la báscula antes de las pesadas
2. Realizar malas pesadas
3. No tener las muestras en el horno el tiempo suficiente y a la temperatura adecuada.
4. Alteraciones que puede sufrir la muestra por medio ambiente o por la falta de cuidado en la conservación de la muestra.

IIDb. RELACIONES ADIMENSIONALES ENTRE PESOS Y VOLUMENES

IIDb1. Pesos volumétricos

El peso volumétrico de una muestra de suelo se define como la relación entre el peso de la muestra del suelo y el volumen de ella.

Se obtiene con la siguiente relación:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

El peso de la muestra (W_m) es igual al peso de los sólidos y del agua intersticial

$$W_m = W_s + W_w .$$

El volumen (V_m), según el peso volumétrico de que se trate, así:

1. El peso volumétrico de los sólidos es:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

y si el suelo está seco:

$$W_w = 0$$

$$W_s = W_m \longrightarrow \gamma_m = \gamma_d = \gamma_s$$

$$V_m = V_s$$

$$\gamma_d = \text{Peso volumétrico del material Seco} = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s}{V_m} = \frac{W_s}{V_s}$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$\gamma_m = \gamma_d = \gamma_s$$

2. Si el suelo está húmedo.

$$\gamma_m = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{\gamma_s + \frac{W_w}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{\gamma_s + \frac{W_w}{W_s} \gamma_s}{1 + e} = \gamma_s \frac{1 + w}{1 + e}$$

También:

$$\gamma_m = \frac{V_s \gamma_s + V_w \gamma_w}{V_s + V_v} = \frac{\frac{\gamma_s}{e} + G_w \gamma_w}{\frac{1}{e} + 1} = \frac{\gamma_s + e G_w \gamma_w}{1 + e}$$

$$\gamma_m = \frac{S_s + e G_w}{1 + e} \gamma_w$$

3. Si el suelo está saturado

$$W_w = \text{máxima} \quad \text{y} \quad \gamma_m = \gamma_{\text{sat}} = \gamma_s \quad V_w = V_v$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{sat}} &= \frac{W_s + W_w}{V_m} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{\gamma_s + \frac{V_v}{V_s} \gamma_w}{1 + e} \\ &= \frac{\gamma_s + \gamma_w e}{1 + e} = \gamma_w \frac{S_s + e}{1 + e} \end{aligned}$$

4. Cuando el suelo se encuentra debajo del nivel de aguas freáticas se presenta el fenómeno de flotación, el peso volumétrico se define como:

RESUMEN
Estado del suelo

Peso volumétrico

En función de las
propiedades volu-
métricas y gravi-
métricas.

Sólidos únicamente

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

$$\gamma_s = S_s \gamma_o$$

Seco ($C_w = 0$)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + e} \gamma_o$$

Parcialmente saturado

$$\gamma_m = \frac{S_s (1 + w)}{1 + e} \gamma_o$$

$G_w = G_w$

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s + W_w}{V_m}$$

$$\gamma_m = \gamma_w \frac{S_s + e G_w}{1 + e}$$

Saturado

$G_w = 1$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_m}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{S_s + e}{1 + e} \gamma_o$$

Sumergido

Sólido

$$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma_w$$

$$\gamma'_s = (S_s - 1) \gamma_o$$

Seco

$$\gamma'_d = \gamma_d - \gamma_w$$

$$\gamma'_d = \frac{S_s - 1 - e}{1 + e} \gamma_w$$

Parcial saturado

$$\gamma'_m = \gamma_m - \gamma_w$$

$$\gamma'_m = \gamma'_d + \frac{w}{1 + e} \gamma_w$$

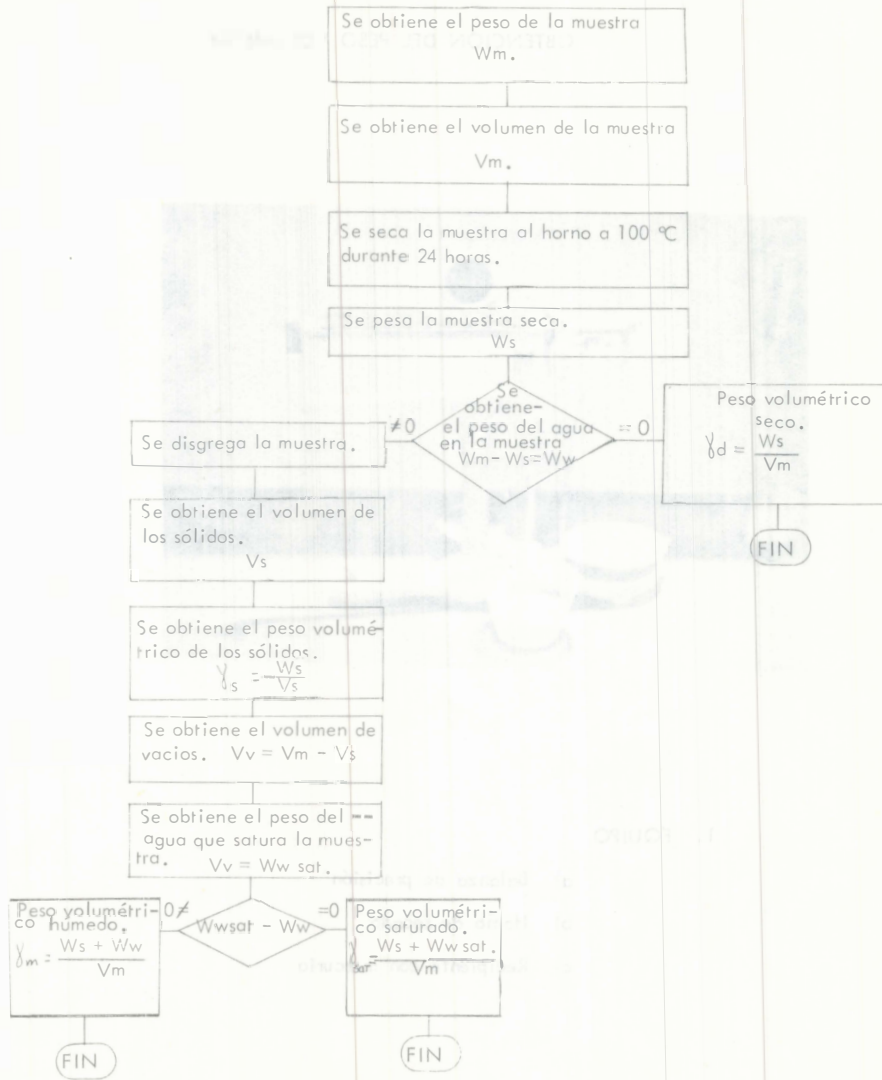
Saturado

$$\gamma'_{sat} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

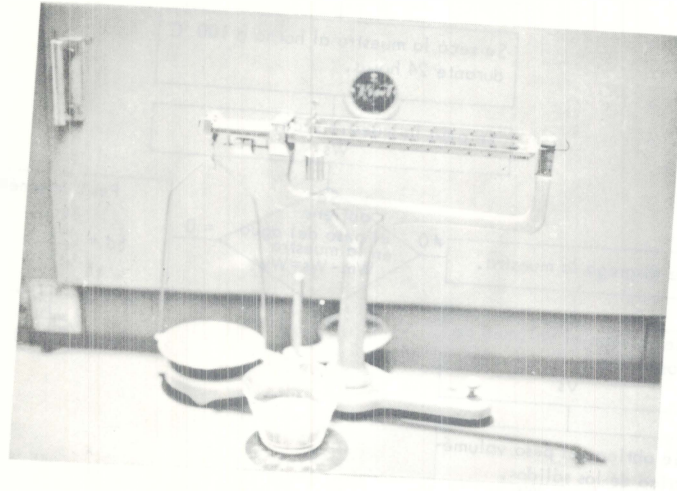
$$\gamma'_m = \gamma'_d + \frac{e}{1 + e} G_w \gamma_w$$

$$\gamma'_{sat} = \frac{S_s - 1}{1 + e} \gamma_w$$

PESO VOLUMETRICO



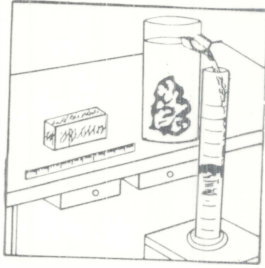
OBTENCION DEL PESO VOLUMETRICO



1. EQUIPO

- a) Balanza de precisión
- b) Horno de secado
- c) Recipiente con mercurio

OBTENCION DEL PESO VOLUMETRICO

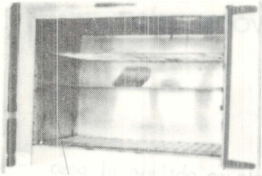


1. De la muestra de suelo se obtiene el peso (W_m) y el volumen (V_m) por cualquier método:
 - a) Haciendo una muestra cúbica y midiendo sus dimensiones.
 - b) Sumergiendo la muestra en mercurio y por medio del mercurio desalojado se obtiene su volumen.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

2. Con los datos del paso anterior se puede obtener el peso volumétrico de la muestra de suelo.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$



3. La muestra de suelo se coloca al horno durante 24 horas a 100°C

$$W_H - W_S = W_W$$

4. Se saca la muestra del horno y se pesa, obteniéndose el peso de la muestra seca (W_S). La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca se obtiene el peso del agua (W_W).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + W_w}{V_t}$$

5. Se obtiene:

- El peso volumétrico seco (γ_d)
- El peso volumétrico saturado (γ_{sat})
- El peso volumétrico sumergido (γ'_m), con el conocimiento del peso volumétrico del agua a 4°C y a la presión atmosférica

$$\gamma'_m = \gamma_m - \gamma_o$$

$$\gamma'_d = \gamma_d - \gamma_o$$

$$\gamma'_{\text{sat}} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_o$$

U N A M
 FACULTAD DE INGENIERIA
 INGENIERIA CIVIL
 GEOTECNIA

PESOS VOLUMETRICOS

OBRA: _____

FECHA: _____

UBICACION: _____

OPERADOR: _____

Peso de la muestra W_m	Volúmen de la muestra V_m	Peso del suelo seco W_s	Peso del agua en la muestra W_w	Peso volú-métrico seco $\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$	Volúmen de los solidos $V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$	Peso volu-métrico de los solidos $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$	Volúmen de vacios $V_v = V_m - V_s$	Peso del agua que satura la muestra W_{wsat}	Peso volu-métrico hú-medo $\gamma_m = \frac{W_s + W_w}{V_m}$	Peso volu-métrico sa-turado $\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_{wsat}}{V_m}$	Muestra Nº

DURANTE LA OBTENCION DEL PESO VOLUMETRICO SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. En la obtención del volumen de la muestra y en la obtención del volumen de los sólidos.
2. No tener la muestra el tiempo suficiente en el horno a la temperatura adecuada.
3. Obtener malas pesadas

IIDc. RELACIONES ADIMENSIONALES ENTRE PESOS Y VOLUMENES

IIDc1. Peso específico

El peso específico de cualquier sustancia se define como el peso volumétrico del material dividido entre el peso volumétrico del agua destilada a la presión atmosférica y a 4°C.

$$S_s = \frac{\gamma_{\text{sólido}}}{\gamma_{\text{agua a } 4^{\circ}\text{C}}}$$

El peso específico se requiere para calcular la relación de vacíos; se emplea en el análisis por medio del hidrómetro y para el cálculo de pesos volumétricos.

El peso específico se puede obtener a partir de la relación entre el peso de la sustancia y el peso del agua cuando se pesan volúmenes iguales.

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s/V}{W_w/V} = \frac{W_s}{W_w}$$

Por definición la temperatura del agua afecta el peso específico ya que el peso volumétrico del agua cambia con la temperatura.

Determinación de peso específico S_s

El peso específico se obtiene determinando el volumen de un peso dado de granos de suelo y dividiéndolos entre el peso del mismo volumen de agua. El volumen de los granos se obtiene en un matraz de volumen conocido donde se sumergen los sólidos.

$$S_s = \frac{W_s}{W_{mw} + W_s - W_{mws}}$$

- W_{mw} = Peso del matraz con agua hasta la marca de calibración
- W_s = Peso de la muestra seca del suelo cuyo peso específico se desea
- W_{mws} = Peso del matraz con el suelo y lleno de agua hasta la marca de calibración; a la temperatura de la prueba (es necesario tener la curva de calibración del matraz, la variación del peso con la temperatura).

$W_t = W_{mw} + W_s =$ Peso del matraz con agua hasta la marca de calibración más el peso del suelo. En este peso se incluye el volumen de agua igual al volumen del suelo.

$W_{wd} =$ El peso del volumen de agua que desaloja el suelo se obtiene restando de W_t el peso del matraz con suelo y lleno a la marca de calibración, así:

$$W_{wd} = W_t - W_{mws}$$

sustituyendo el valor de W_t

$$W_{wd} = W_{mw} + W_s - W_{mws}$$

Dado que W_s es el peso del sólido que tiene igual volumen que el del agua desalojada de la definición de peso específico se tiene:

$$S_s = \frac{W_s}{W_{wd}}$$

$$S_s = \frac{W_s}{W_{mw} + W_s - W_{mws}}$$

El peso volumétrico del agua cambia con la temperatura, por lo cual es necesario relacionarlo con el peso volumétrico a la temperatura de 4°C , especificada como norma.

donde:

$$S_s = S_s K$$

donde K: Corrección por temperatura.

$$K = \frac{\gamma_w}{\gamma_w \text{ a } 4^\circ\text{C}}$$

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} K$$

Algunos valores del peso específico

<u>Tipo de suelo</u>	<u>Peso específico</u>
Arena	2.65 - 2.67
Arena limosa	2.67 - 2.70
Arcilla inorgánica	2.60 - 2.80
Suelos con mica o fierro	2.75 - 3.00
Suelos orgánicos	< 2

Tabla 5

Para algunos materiales en los suelos el peso específico es:

Montmorilonita	2.20
Ilita	2.60
Cuarzo	2.66
Calcita	2.72
Clorita	2.80
Hematita	5.30
Mercurio	13.60
Plomo	11.30
Fierro	7.80
Agua	1.00
Hielo	0.92

TABLA 6

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS

Se tiene un matraz graduado y calibrado para las diferentes temperaturas.

Se toma 50 gr. aproximadamente de material que pasó la malla # 4.

Se pone alrededor de 300 Cl. de agua en el matraz calibrado y se vacía en él el material.

Se aplica vacío al matraz para extraer el aire disuelto, se aumenta la temperatura para aligerar el proceso.

Se le añade agua hasta 2 cm. abajo de la marca de aforo.

Se agita el matraz y se obtiene la temperatura para tres diferentes puntos y se obtiene la temperatura media.

Se agrega agua hasta la marca de aforo y se limpia el cuello y el exterior del matraz.

Se pesa el matraz con agua y suelo obteniéndose: W_m w_s

Se obtiene el peso del matraz con agua de la curva de calibración con la temperatura media determinada W_{mw}

Se vierte el contenido del matraz en una capsula de porcelana de peso conocida.

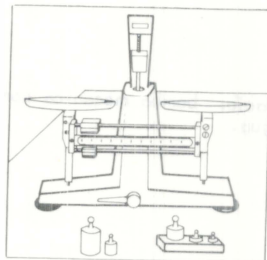
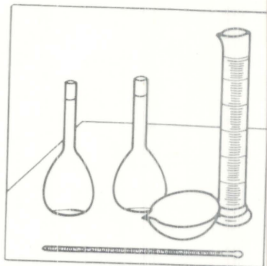
Se seca al horno durante 24 horas a 100 °C y se pesa, se obtiene el peso de los sólidos W_s .

Se obtiene el peso específico.

$$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{mw} + W_{mws}}$$

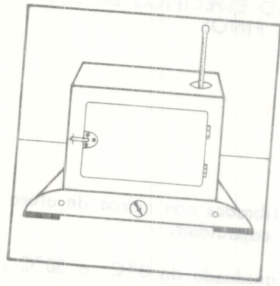
FIN

OBTENCION DEL PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS EN SUELOS FINOS

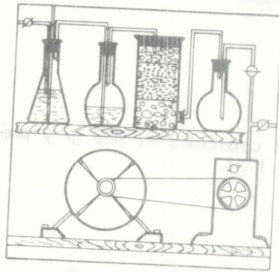


1. EQUIPO

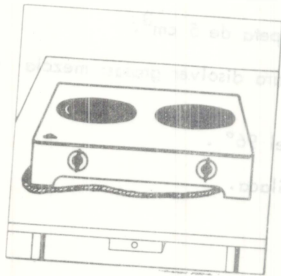
- a) Matraces calibrados con marca de aforo y 500 cm³ de capacidad.
- b) Termómetro graduado de 0°C a 50°C, con 0.1°C de precisión.
- c) Cápsula de porcelana o vidrio refractario.
- d) Probeta graduada a 500 cm³ de capacidad.
- e) Balanza con capacidad de 800 gr y precisión de 0.1 gr.
- f) Vaso de precipitado de 400 cm³ de capacidad.
- g) Embudo de vidrio de conducto largo.
- h) Piseta y pipeta de 5 cm³.
- i) Solución para disolver grasas: mezcla crónica.
- j) Alcohol del 96°.
- k) Agua destilada.



l) Homo de secado a temperatura constante de 100°C.

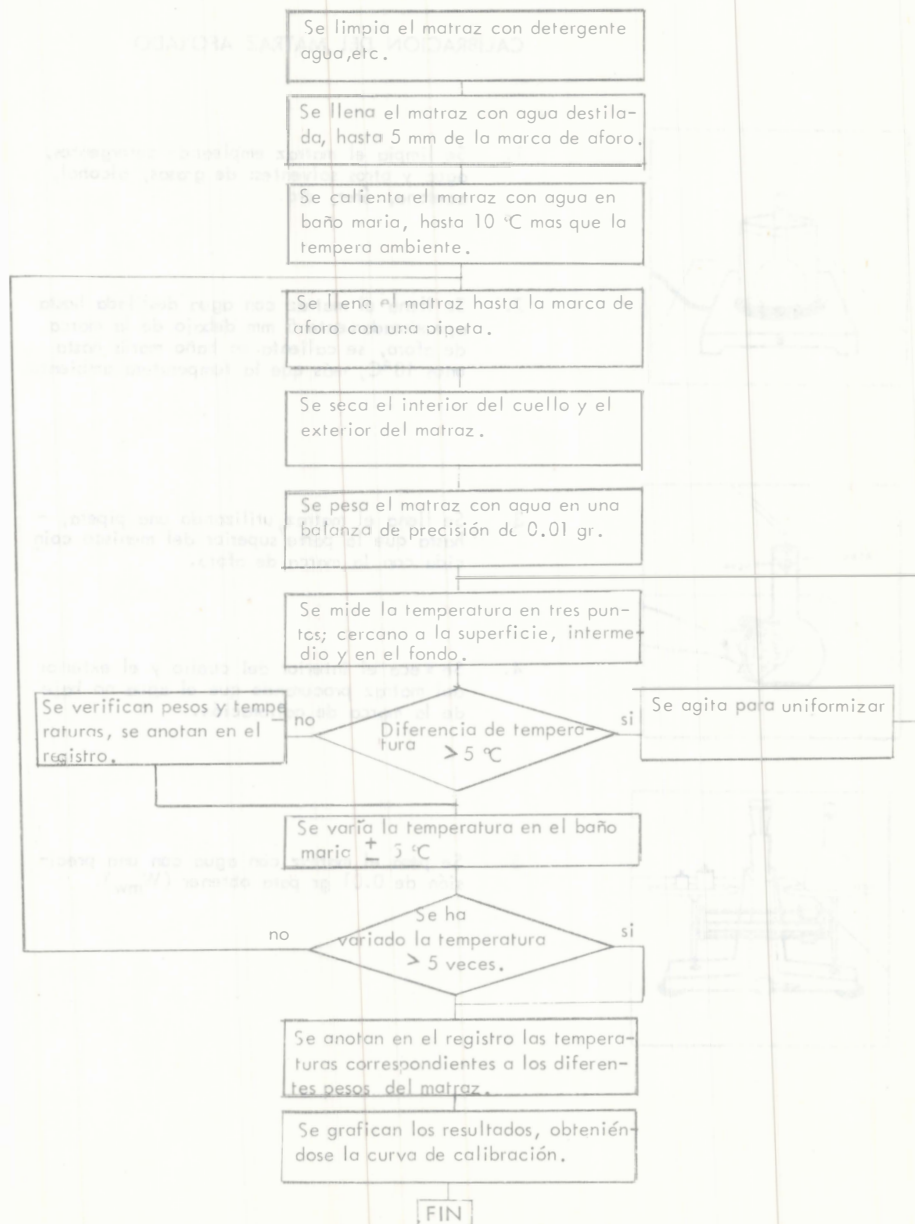


m) Sistema de vacío: bomba mecánica con trampa de agua.

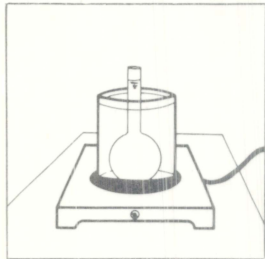


n) Estufa de parrilla.

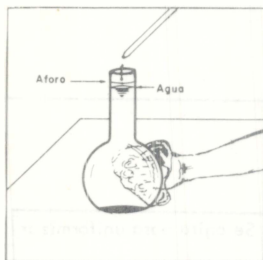
CALIBRACION DEL MATRAZ



CALIBRACION DEL MATRAZ AFORADO



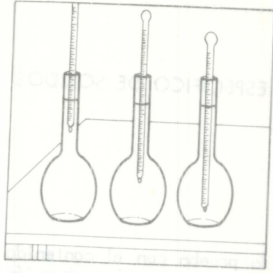
1. Se limpia el matraz empleando detergentes, agua y otros solventes: de grasas, alcohol, acetona, éter, etc.
2. Se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente 5 mm debajo de la marca de aforo, se calienta en baño maría hasta unos 10°C , más que la temperatura ambiente.



3. Se llena el matraz, utilizando una pipeta, - hasta que la parte superior del menisco coincide con la marca de aforo.
4. Se seca el interior del cuello y el exterior del matraz procurando que el agua no baje de la marca de calibración.



5. Se pesa el matraz con agua con una precisión de 0.01 gr para obtener (W_{mw}).



6. Se mide la temperatura en tres puntos (cerca de la superficie, al centro y cerca del fondo). Si las diferencias exceden de 0.5°C se vuelve a agitar para uniformizar.

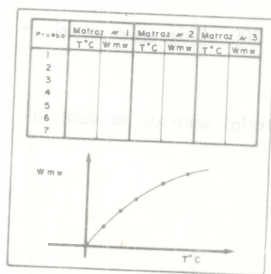
7. Se hace una determinación adicional del peso y la temperatura para verificar resultados y se anotan en el registro.

8. Se repiten los pasos 2 a 7 utilizando agua a una temperatura diferente a la medida en el paso 6 ($\pm 5^{\circ}\text{C}$).

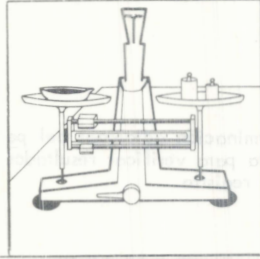
9. Se repite el paso 8 varias veces para obtener el número de datos deseado (en general bastan 6 o 7 puntos).

10. Las temperaturas y los pesos del matraz con agua, se anotan en el registro de "calibración del matraz".

11. Se construye la curva de calibración.

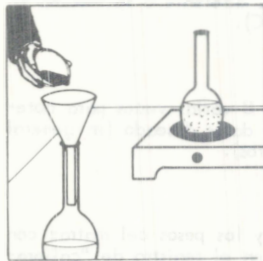


OBTENCION DEL PESO ESPECIFICO DE SOLIDOS

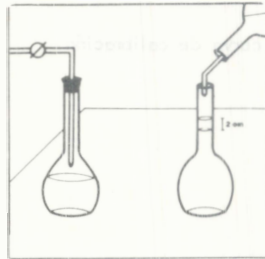


1. Conviene realizar la prueba con el contenido de agua natural que tenga el suelo, obteniéndose el peso de la muestra seca al finalizar la prueba.

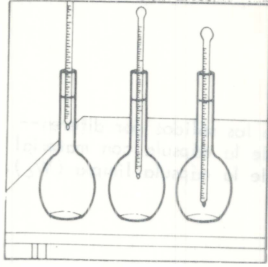
Pesar 500 gr del material que ha pasado la malla No. 4 en una cápsula.



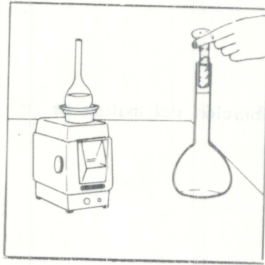
2. Poner alrededor de 300 cl de agua en el matraz.
3. Vaciar todo el material seco de la cápsula en el matraz.
4. Calentar el matraz.



5. Aplicar vacío al matraz para extraer el aire no disuelto.
6. Agregar con cuidado agua destilada hasta 2 cm debajo de la marca de aforo.



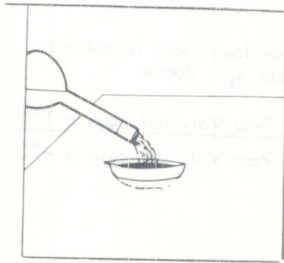
7. Agitar el matraz y medir la temperatura en el centro y en otros puntos de la suspensión.



8. Agregar agua destilada hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración.

9. Secar el interior del cuello del matraz.

10. Pesar el matraz con suelo y agua, con precisión de 0.01 gr anotándolo en el renglón W_{mws} del registro.



11. Verter el contenido del matraz en una cápsula y enjuagar el matraz para recuperar todo el material y poner la cápsula a secar 24 horas a 100°C.

$$W_s = W_{cm} - W_c$$

12. Obtener el peso de los sólidos por diferencia entre el peso de la cápsula con material (W_{cm}) y el peso de la cápsula limpia (W_c).

13. De la curva de calibración del matraz se obtiene W_{mw} .

$$S_s = \frac{W_s}{W_{mw} + W_s - W_{mws}} K$$

14. El peso específico de los sólidos se obtiene con la expresión para S_s donde:

$$K = \frac{\gamma_w}{\gamma_o} = \frac{\text{Peso Vol. del agua a } T^\circ\text{C}}{\text{Peso Vol. del agua a } 4^\circ\text{C}}$$

U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA

OBRA: _____
UBICACION: _____
SCNDEC: _____

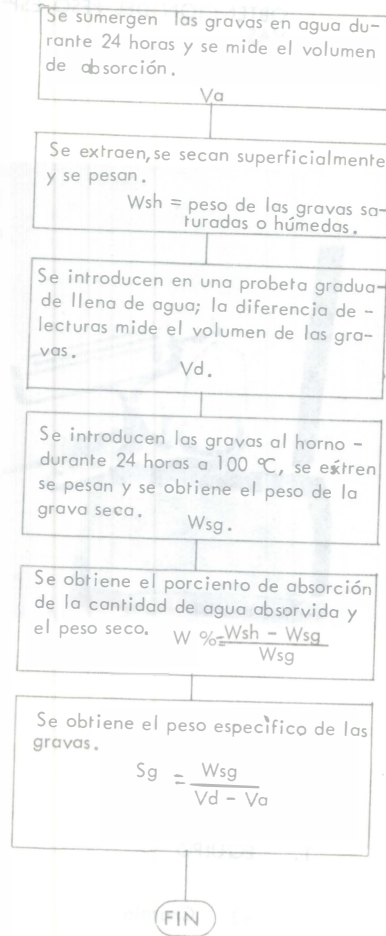
FECHA: _____
OPERADOR: _____

PESOS ESPECIFICOS

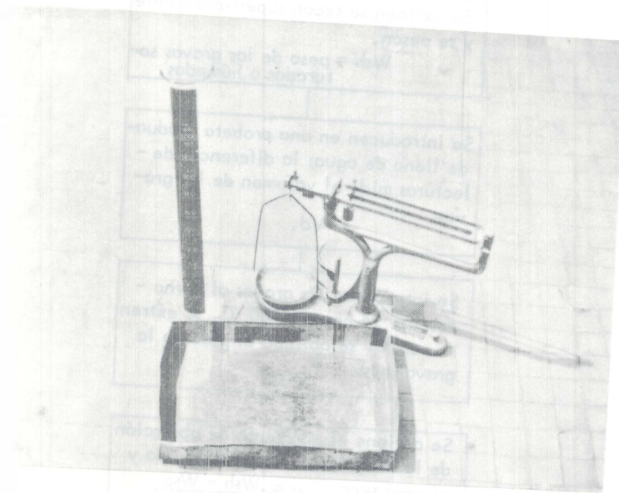
MUESTRA N°	PROFUNDIDAD m	MATRAZ	TEMP. (T) °C N°	PESO MAT. + AGUA a T °C. (Calibración) W _{mw}	PESO MAT. + AGUA + SUELO a T °C. (Calibración) W _{mws}	PESO SECO W _s	VOLUMEN DE SOLIDOS $V_s = W_{wo} = W_{mw} + W_s$ $- W_{mws}$	PESO ESPECIFICO S _s . (a temperatura de la prueba)

ERRORES POSIBLES QUE SE PUEDEN COMETER EN LA REALIZACION DE LA PRUEBA PARA LA OBTENCION DE LOS PESOS ESPECIFICOS.

1. Remoción incompleta del aire no disuelto.
2. Secado deficiente del interior del cuello o del exterior del matraz
3. Mala precisión en las pesadas
4. Mal llenado hasta la marca de aforo
5. Temperatura no uniformizada
6. Pérdidas de material durante la prueba
7. Mala limpieza del matraz
8. Empleo de agua con sólidos sueltos



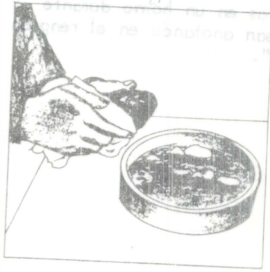
OBTENCION DEL PESO ESPECIFICO DE LAS GRAVAS



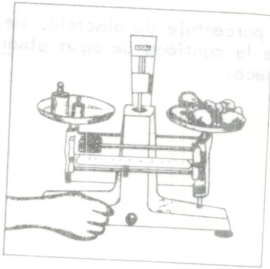
1. EQUIPO

- a) Charola
- b) Probeta graduada
- c) Balanza con precisión de 0.1 gr.

OBTENCIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LAS GRAVAS

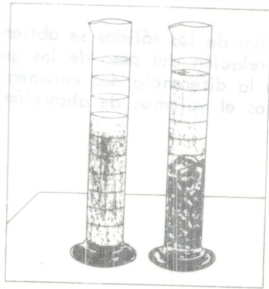


1. Se sumergen las gravas en agua durante 24 horas para que se saturen; se sacan del agua y se secan superficialmente.

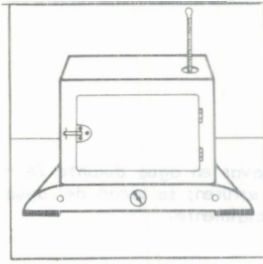


2. Se pesan las gravas saturadas y secadas superficialmente en las balanzas de precisión y se anotan en el registro como:

"Peso grava húmeda"



3. Se determina el volumen de las gravas, introduciéndolas en una probeta graduada que contenga un volumen conocido de agua, la diferencia en la lectura, será el volumen de las gravas.



4. Se secan las gravas en un horno durante - 24 horas y se pesan anotando en el renglón "Peso grava seca".

$$\%abs = \frac{W_{gh} - W_{gs}}{W_{gs}} 100$$

W_{gh} = Peso grava húmeda

W_{gs} = Peso grava seca

5. Se determina el porcentaje de absorción de la relación entre la cantidad de agua absorbida y el peso seco.

$$S_s = \frac{W_{gs}}{V_d - V_w}$$

V_d = Volumen desalojado

V_w = Volumen de absorción

$$V_w = \frac{W_{gs}}{\gamma_w} \frac{\%abs}{100}$$

6. El peso específico de los sólidos se obtiene a partir de la relación del peso de las gravas secas entre la diferencia del volumen desalojado menos el volumen de absorción.

- III. CLASIFICACION
- IIIa. Granulometría
- IIIa.1 Análisis Mecánico
- IIIa.2 Análisis Hidrométrico

- IIIb. Límites de consistencia
- IIIb.1 Límite Líquido
- IIIb.2 Límite Plástico
- IIIb.3 Límite de Contracción

- IIIc. Clasificación de Suelos

III. CLASIFICACION

La clasificación del suelo puede hacerse basándola exclusivamente en las características que sean apropiadas para un problema dado o bien en forma general en base a las características de trabajo del suelo.

En forma general, los sistemas de clasificación se apoyan en el análisis granulométrico y en los límites de consistencia. En este capítulo se describe la forma de hacer el análisis granulométrico y como se obtienen los límites de consistencia.

Análisis Granulométrico

IIIa.1 Análisis Mecánico

IIIa.2 Análisis Hidrométrico

Límites de Consistencia

- IIIb.1 Límites Líquido
- IIIb.2 Límite Plástico
- IIIb.3 Límite de Contracción

Formalmente la división de los suelos se hace en dos grupos, gruesos y finos e idealmente se pueden tipificar en : ARENAS y ARCILLAS, el primero típico de los materiales de granos gruesos y el segundo típico de los materiales de granos finos.

Es difícil encontrar suelos típicamente Arenosos o Arcillosos, en la realidad sólo existen suelos con gran variedad de combinaciones de tamaños de granos y la división ideal solo es útil para clasificarlos.

Las características de las arenas y arcillas "ideales" son las siguientes:

<u>Arenas</u>	<u>Arcillas</u>
Grano grande e baja	Grano pequeño e alta
Límites de Atterberg. No se puede obtener	Se obtiene límites
Cohesión nula	Cohesión alta y depende del contenido de agua
Fricción interna alta	Fricción interna nula
No es plástico	Es plástica
Poco compresible	Muy compresible

<u>Arenas</u>	<u>Arcillas</u>
Permeabilidad alta	Permeabilidad baja
Se deforma rápidamente	Se deforma lentamente *

Tabla 7

El material con características intermedias entre las arcillas y las arenas se denomina Limo. Es necesario insistir que esta clasificación es teórica y sólo se usa para facilitar la descripción de los suelos en que aparecen materiales clasificados como Arenas, Limos Arcillas e indicar cualitativamente las propiedades de ellos.

* Tomada de :- Capper and Cassie. The Mechanics of Engineering Soils.

IIIa. GRANULOMETRIA

El análisis granulométrico del suelo, tiene el propósito de determinar la relación entre los tamaños de las partículas sólidas que lo constituyen y el porcentaje del peso total que representa cada porción de un mismo tamaño. El tamaño se fija por una longitud representativa del grano, a la cual se denomina diámetro. El porcentaje se obtiene relacionando el peso de todo el material menor que cierto diámetro con el peso total de la muestra que se analiza.

En los estudios de Mecánica de Suelos se ha supuesto que las propiedades mecánicas del suelo dependen directamente de la relación entre diámetros y el porcentaje de cada tamaño, es decir, de la granulometría de las partículas, sin embargo, empíricamente se ha encontrado que ésta relación sólo es válida cualitativamente en los suelos cuyo tamaño puede determinarse por medio de mallas y para mate--

riales térreos de la misma región geográfica. La distribución de tamaños tiene relación cualitativa con algunas de las propiedades mecánicas del material; así, existen correlaciones empíricas entre parámetros obtenidos de la curva granulométrica y la permeabilidad de los suelos con granos de diámetros comprendidos entre 0.42 mm y 2 mm clasificados como arenas. También la granulometría se ha relacionado con poca aproximación con el ángulo de fricción interna de las arenas.

La permeabilidad, reviste principal interés en el diseño y construcción de filtros para presas, en la selección de materiales para la construcción de muros, bordos y terraplenes de caminos, en el abatimiento del nivel freático en suelos arenosos y en la explotación de acuíferos; pero la permeabilidad determinada empíricamente con la granulometría es sólo aproximada y proporciona un valor cualitativo del comportamiento posible del suelo y no debe tomarse para diseño definitivo de la obra.

Es decir, la granulometría del suelo es sólo una de las propiedades índices e indica su posible comportamiento pero no fija parámetros de diseño.

Por otra parte, todos los sistemas de clasificación basados solamente en la granulometría pueden conducir a errores graves; pues si bien la granulometría de los materiales gruesos tiene relaciones aproximadas con las propiedades de trabajo del suelo, en los suelos finos tiene relaciones más remotas e intervienen factores ajenos al diámetro de los granos, como la forma y estructuración de los granos.

La representación más usual del análisis granulométrico es en gráficas originando curvas que llegan a tener cualquier forma de las que se observan en la fig (8).

En esta figura, en el eje de las abscisas en escala logarítmica, se representa el tamaño del diámetro de las partículas y en el eje de las ordenadas, el porcentaje en peso de los granos menores que el tamaño indicado por la abscisa. La representación gráfica se realiza en ejes semilogarítmicos por que permite mayor amplitud en la representación de los diversos tamaños; gruesos, finos y muy finos.

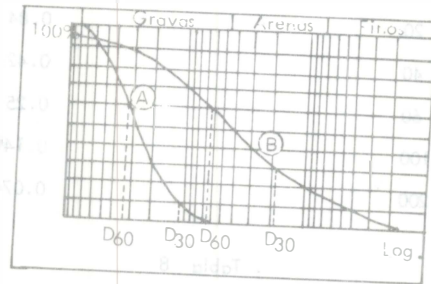


Fig. 8

El estudio granulométrico del suelo grueso se realiza con técnicas diferentes a las que se usan para analizar al suelo fino.

a) Suelo grueso .- El examen del suelo grueso se hace con el análisis mecánico; por medio de mallas de diferentes aberturas. En este trabajo se emplea

rán las mallas del U.S. Bureau of Standards. A continuación se muestra el número de las mallas con la abertura correspondiente.

<u>Malla</u>	<u>Abertura</u>
4	4.76 mm
10	2.00 mm
20	0.84 mm
40	0.42 mm
60	0.25 mm
100	0.149 mm
200	0.074 mm

Tabla 8

- b) Suelo fino.-El de suelos finos por medio del análisis hidrómetro, usando un densímetro.

A pesar de las limitaciones implícitas en las pruebas granulométricas ya señaladas, la clasificación de suelos basada en ellas se utiliza frecuentemente en descripciones preliminares del material que se pretende usar.

En base al tamaño de las partículas, se clasifica al suelo en Gruesos o Fino; los suelos gruesos a su vez se dividen en Gravas y Arenas y los suelos finos en Limos y Arcillas.

A continuación se presentan algunos de los criterios establecidos para clasificar los suelos en función de los tamaños de los granos: Tabla 9, la más usual; fig. 9, otras clasificaciones; fig. 10 clasificación combinando diferentes tamaños.

MATERIAL	CARACTERISTICAS	TAMAÑO mm
Piedra	—	Mayor de 70 mm
Grava	Gruesa	30 a 70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2
Polvo	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra-Arcilla	—	0.0002 a 0.0002

Tabla 9

Tomada del Libro de Mecánica de Suelos, Tercera Edición Tomo I.-Juárez Badillo, Ing. Rico Rodríguez.

Tamaño de Partículas	Milímetros			Micrones			Milimicrones			
	100	75	4.75	7500	475	75	7500	475	75	
Pureza	Grava			arena	lmo	Arcilla				
1890 - 90				1	0.05	0.005 mm				
Alteración	Grava			arena	lmo	Arcilla				
1890 - 90				2.0	0.2	0.02	0.002 mm			
M. I.	Grava			arena	lmo	Arcilla				
Terminología	2.0			0.075	0.002 mm					
Descripción	Macroscópica			Microscópica			Submicroscópica			
	Meso			Fino			Muy fino			
Lim. D (mm)	-	0	7.5	75	750	7500	75000	750000	7500000	

**

Fig. 9

En el sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS), las mallas indican los límites entre los diferentes suelos: así la malla No. 4 retiene el material que corresponde a las Gravas, el material que pasa por dicha malla y es retenido en la malla No. 200, es el correspondiente a las Arenas, el material que pasa la malla No. 200, es el material fino y este se divide en Limos y Arcillas.

Tomando en cuenta las arcillas, limos, arenas y gravas ya definidos y las diferentes porciones en que se pueden encontrar en los suelos, éstos se clasifican de la siguiente manera: fig. 10, pág. 123.

** Karl Terzaghi - Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica Editorial El Ateneo. Segunda Edición.

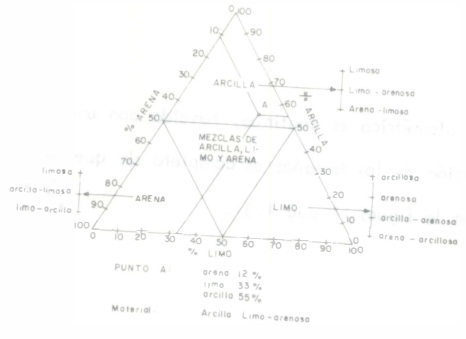


Fig. 10

Otra forma de emplear la curva de granulometría es utilizando la forma geométrica que tiene; la siguiente figura muestra varias curvas típicas; fig. 11.

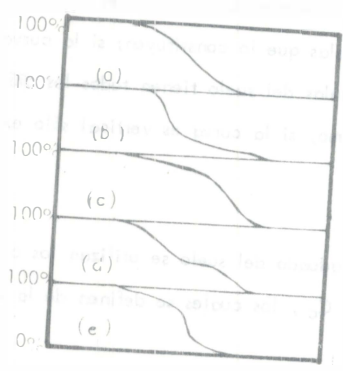


Fig. 11

Para interpretar la forma geométrica de la curva de granulometría se definen los conceptos de suelo bien graduado o suelo mal graduado.

Suelo bien graduado

Cuando la curva granulométrica es continua, tendida con una inclinación de 0 a 40 grados y la variación de los tamaños es completo sin que falte ningún diámetro intermedio (a en la figura 11 pág.123).

Suelo mal graduado

Cuando la curva no es tendida (tiene fuertes pendientes), su inclinación es mayor de 40 grados y se asemeja a una línea recta; por consiguiente faltan tamaños intermedios (e en la figura 11 pág. 123).

La pendiente de la curva granulométrica indica si el suelo existe una distribución uniforme o no de las partículas que lo constituyen; si la curva de granulometría es casi horizontal las partículas del suelo tienen todos los diámetros posibles entre los extremos máximo y mínimo, si la curva es vertical sólo existe un diámetro del tamaño de las partículas.

Para fijar lo bien o mal graduado del suelo se utilizan los coeficientes de uniformidad C_u y de curvatura C_c , los cuales se definen de la siguiente manera:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

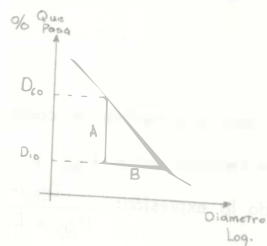
donde:

D_{10} = Diámetro tal que las partículas de tamaños menores o iguales que él representa el 10 % en peso del suelo, es llamado diámetro efectivo o de Hazen.

D_{30} = Diámetro tal que las partículas de tamaño menor o igual que el representan el 30 % en peso del suelo.

D_{60} = Diámetro tal que el 60% en peso del suelo tiene tamaño menor que él.

La pendiente de la curva granulométrica entre los puntos que representa el 60 y el 10 % en peso del material que pasa, se obtiene de la siguiente manera:



$$\tan \alpha = \frac{A}{B} = \frac{0.6 - 0.1}{\log D_{60} - \log D_{10}}$$

de donde $\log \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.5}{\tan \alpha} \dots (III)$

Fijando como suelo uniforme aquel con distribución de tamaños de partículas cuya pendiente varía de 0 a 40°, en la ecuación No. (III), se obtiene para 0 grados:

$$\log \frac{D_{60}}{D_{10}} = \infty \quad ; \quad \frac{D_{60}}{D_{10}} = \infty$$

Para 40 grados

$$40^\circ = 0.84 = \frac{0.5}{0.84} = 0.60$$

$$\therefore \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{anti Log } 0.60 = 4$$

Por consiguiente se especifica que un suelo cuya relación $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ tiene una distribución de tamaños uniforme, esta especificación se ha modificado para las arenas donde dicha relación es mayor que 6, lo cual da un ángulo de inclinación de 32.5 grados.

Posteriormente se definió el coeficiente de curvatura como una medida de comprobación de la continuidad de la curva en el ciclo comprendido entre D_{60} y D_{30} y además entre el D_{30} y D_{10} dando como resultado la expresión: $\frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$; cuyos valores deben estar entre 1 y 3 para una buena curvatura.

La combinación de estos dos parámetros (C_u y el C_c) sirven para identificar si un suelo es mal o bien graduado dependiendo de sus valores, pero para que un suelo sea bien graduado debe de cumplir con las dos especificaciones a la misma vez.

La combinación de los diferentes valores de los coeficientes de uniformidad y de curvatura se resumen a continuación.

Expresión	Suelo bien graduado	Suelo mal graduado
$C_c = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	> 6 > 4 (arenas) (gravas)	< 6 < 4 (arenas) (gravas)
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$	$1 < C_c < 3$	$3 < C_c < 1$

IIIa.1 ANALISIS MECANICO

El análisis mecánico se realiza pasando una muestra de suelo seco a través de un juego de mallas de abertura cuadrada para separar las partículas por tamaños.

La prueba granulométrica determina el porcentaje del peso total de partículas de tamaños fijos que se encuentran en una muestra de suelo, lo cual permite clasificarlo y así preveer su posible comportamiento mecánico.

La cantidad de muestra usada para la prueba es de 500 gramos en suelos finos y hasta de 2 kilogramos en suelos gruesos; entendiéndose por suelo grueso aquel con alto contenido de gravas y arenas y por suelos finos los constituidos fundamentalmente por limos y arcillas.

Los suelos gruesos que tienen partículas finas se deben labrar sobre la malla 200 de modo que se separen los suelos gruesos de los finos.

La clasificación en tamaños se definen con la separación entre los alambres de las mallas y el porciento en peso que se retiene en cada una de ellas.

Procedimiento de ejecución

La muestra ya limpia de finos se seca y se pasa a través del juego de mallas o cribas de aberturas cuadradas; el peso del material separado en cada malla se anota de la siguiente manera: (tabla 10).

1 Malla No.	2 Abertura (mm)	3 Peso retenido en cada malla	4 % retenido	5 % que pasa en cada malla

Tabla 10

La suma de todos los pesos retenidos (columna No. 3) debe ser igual al peso total de la muestra (W_s). Si la suma es diferente en más de 5 % debe realizarse nuevamente la prueba.

En las dos columnas primarias se anotan las mallas y sus respectivas aberturas, en este trabajo como se dijo anteriormente se usan las mallas del U.S. Bureau of

Standards (pág. No.120) Los valores de la columna 3 se obtienen de la siguiente manera:

1. Las mallas se ordenan de mayor a menor abertura. Se coloca el material en la malla mayor y con el conjunto de ellas se somete a cribado; manual o mecánico; la vibración manual debe durar aproximadamente 30 minutos, la mecánica 15.
2. Terminado el vibrado se pesa cada una de las mallas con el material retenido en ella (W_{mar}); a este peso se le resta el de la malla (W_{ma}) y se obtiene el peso del suelo retenido (W_r).

$$W_r = W_{mar} - W_{ma}$$

El peso de suelo retenido se apunta en la columna 3 cuya suma debe ser igual al peso total de la muestra (W_s).

$$W_s = \sum_{r=1}^4 W_r$$

r = charola

En la columna 4 se anota el porcentaje retenido total en cada malla calculado con la siguiente expresión.

$$\% \text{ retenido en malla 60} = \frac{\sum_{r=1}^{r=\text{malla 60}} W_r}{W_s} \cdot 100$$

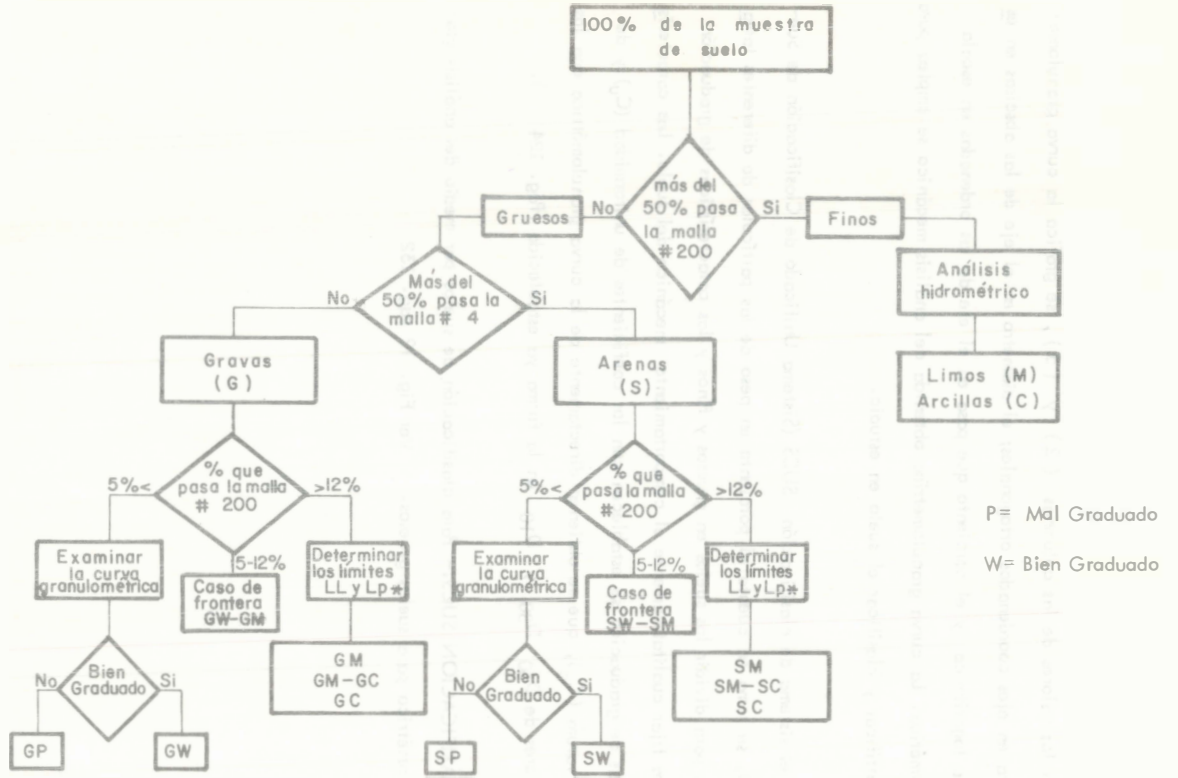
En la columna 5 se obtiene el porcentaje que pasa, restando al 100 %, el porcentaje retenido (columna 4).

Con los valores de las columnas (2) y (5) , se grafica la curva granulométrica en ejes coordenados ortogonales; el diámetro en el eje de las abscisas en escala logarítmica y el porcentaje que pasa en el eje de las ordenadas en escala aritmética. La curva granulométrica obtenida del análisis mecánico se emplea para identificar y clasificar el suelo en estudio.

En el sistema de clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), se toma en cuenta el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños para dividir los suelos en gruesos y finos y las características de graduación para fijar cualitativamente el comportamiento mecánico del suelo. Las características de graduación se establecen con los coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c), que se obtienen directamente de la curva granulométrica con los valores de D_{60} , D_{30} y D_{10} en la forma ya establecida (Pág. 124).

CLASIFICACION SUCS.- Para clasificación de suelos por medio del análisis granulométrico para suelos gruesos. Ver Fig. 12 pag. 132

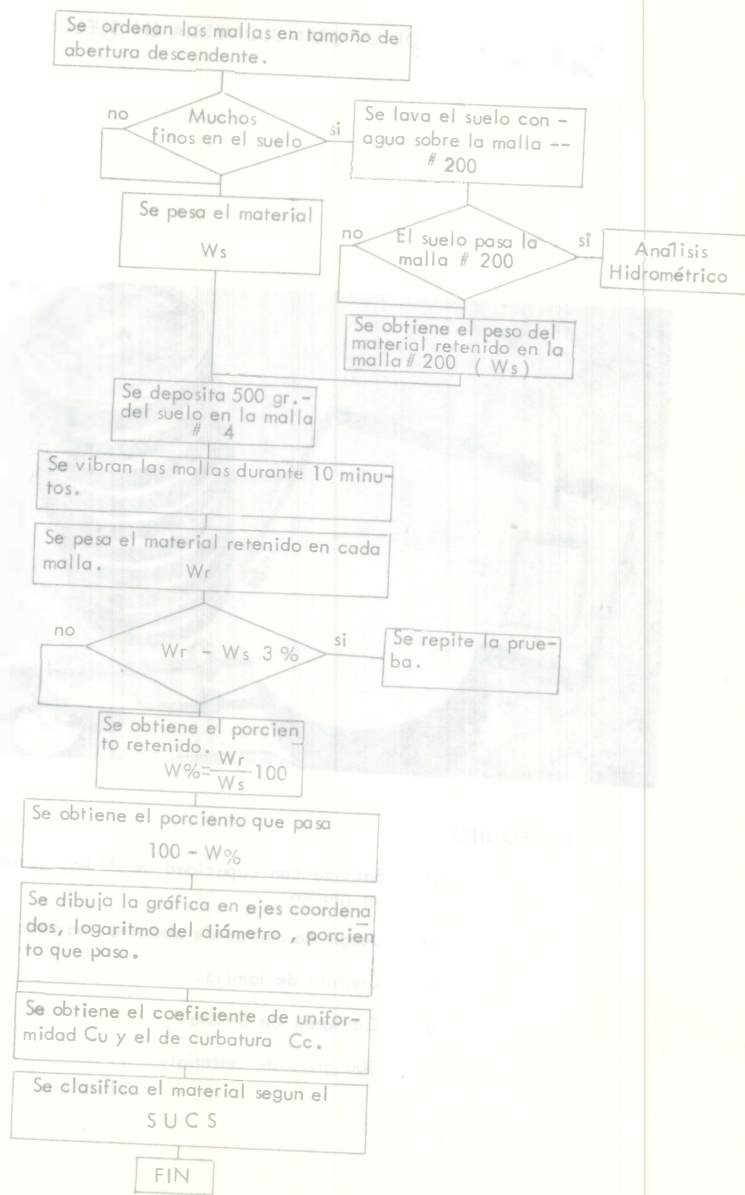
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



P= Mal Graduado
W= Bien Graduado

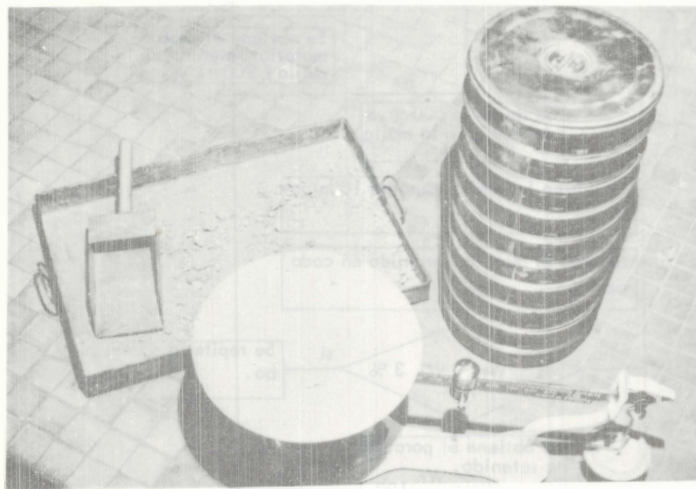
* Análisis posterior

Fig. 12



OBTENCION
GRUESOS

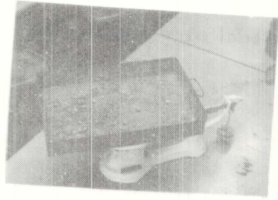
DE LA GRANULOMETRIA EN SUELOS -



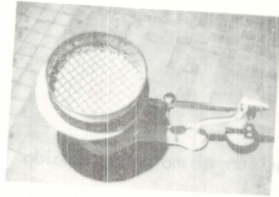
1. EQUIPO

- a) Balanza con capacidad de 20 kg, sensible a un gramo.
- b) Juego de mallas de abertura cuadrada.
- c) Charola de lámina.
- d) Cucharón de lámina.
- e) 500 grs., de material.

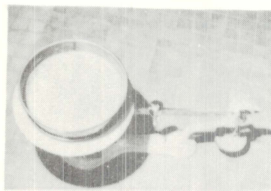
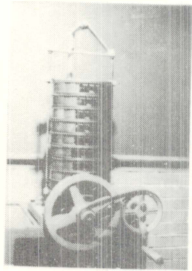
OBTENCION DE LA GRANULOMETRIA EN SUELOS GRUESOS



1. Obtener el peso del material que se empleará



2. Tarar las mallas en la báscula W_{ma}



3. Ordenar las mallas en forma descendente según la abertura.

4. Depositar el material en el juego de mallas.



5. Agitar las mallas, manual o mecánico, durante 30 ó 15 minutos respectivamente.



6. Pesar las mallas con el material retenido W_{mar}

$$W_{mar} - W_{ma} = W_r$$

7. Al peso de la malla con el material retenido (W_{mar}) se le resta el peso de la malla (W_{ma}) y se obtiene el peso del material retenido.

$$\sum W_r = W_s$$

8. La suma de todos los pesos retenidos ($\sum W_r$) debe ser igual al peso total de la muestra (W_s), si difieren en un 3 a 5 %, se repite la prueba.

$$\% \text{ Ret.} = \frac{W_r}{W_s} 100$$

9. Calcular el porcentaje retenido en cada malla.

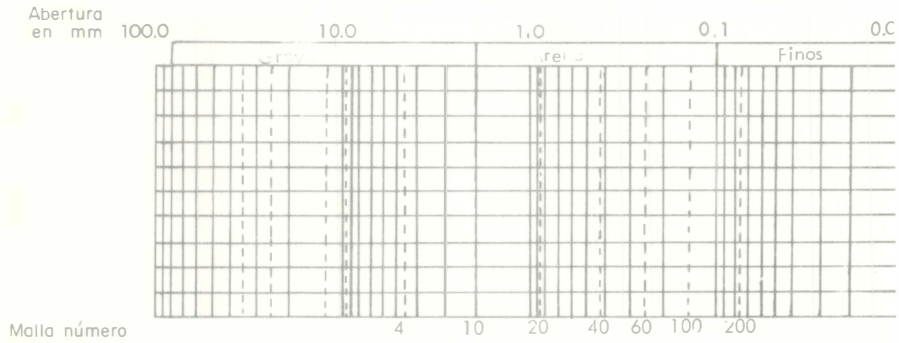
UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
EN CIENCIAS DEL SUELO

13. Clasificar al suelo en función del sistema de clasificación "SUCS". (pag. 132).

GRANULOMETRIA
PCR MALLAS

CUBA: _____	Fecha: _____
Localización: _____	Operador: _____
Ensaye No.: _____	_____
Muestra No.: _____ Prof. _____	Calculo: _____
Peso de la muestra: _____	_____

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Por ciento retenido (%)	Por ciento que pasa (%)	Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	Por ciento retenido (%)	Por ciento que pasa (%)
2	50.80				10	2.00			
1.1/2	36.10				20	0.84			
1	25.40				40	0.42			
3/4	19.05				60	0.25			
1/2	12.70				100	0.149			
3/8	9.52				200	0.074			
No 4	4.76				Pasa 200				
Pasa No 4					Suma				
Suma									



$D_{10} =$ _____ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$ _____ $F =$ _____ %
 $D_{30} =$ _____ $C_c = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}} =$ _____ $S =$ _____ %
 $D_{60} =$ _____

Clasificación SUCS. _____
 OBSERVACIONES. _____

DURANTE LA OBTENCION DE LA GRANULOMETRIA POR MALLAS
SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. Tiempo insuficiente en el agitado de las mallas
2. Sobrecarga de las mallas
3. Estado defectuoso de las mallas
4. Existencia de residuos de material que obstruyan la pasada del material
5. Realizar malas pesadas de las mallas solas y las mallas con material retenido.

IIIa.2 ANALISIS HIDROMÉTRICO

La granulometría de los suelos finos (suelos que pasan la malla No. 200) se establece con el análisis hidrométrico y por medio de él los suelos finos con respecto al tamaño de las partículas que los constituyen, se dividen en Limos y Arcillas.

En esta prueba se utiliza el hidrómetro o densímetro, dispositivo que permite determinar el peso volumétrico del líquido en el cual se sumerge. La prueba se efectúa sedimentando una suspensión de suelo fino en agua destilada y midiendo la variación del peso volumétrico, de la suspensión, con respecto al tiempo a medida que se asientan los granos del suelo. Proporciona los datos necesarios para determinar el diámetro máximo de las partículas en suspensión y el peso de ellas.

Con el análisis hidrométrico se calcula el diámetro de una esfera equivalente que cae dentro del agua con velocidad igual a la del grano del suelo, es decir, el diámetro atribuido al grano de suelo es el obtenido suponiendo una esfera que cae dentro del agua con velocidad igual a la del grano, aún cuando la forma de este no sea ni remotamente esférica.

El concepto de diámetro en esta prueba es diferente del establecido en el análisis granulométrico mecánico ya que en este último se fija como tamaño del diámetro de la partícula sólida, el de la abertura de la malla que le permite pasar (abertura cuadrada).

La obtención del diámetro equivalente en esta prueba se hace en función de la ley de STOKES, referente a la velocidad caída (de una sola esfera) en un medio viscoso.

La ley de Stokes permite obtener el diámetro máximo equivalente de las partículas que al sedimentarse todavía se encuentran a la altura del centro de carena del bulbo del hidrómetro y por consiguiente afectan las lecturas obtenidas de él.

Al caer un objeto dentro de un fluido el peso de él provoca un movimiento acelerado, pero el fluido opone resistencia que crece con la velocidad (ley de Lamb); al igualarse el peso y la resistencia, la aceleración se anula y el objeto cae con velocidad constante. La ley de Stokes se deriva de la condición de movimiento constante y queda expresada en la siguiente forma:

$$D = \sqrt{\frac{18 \eta v}{\gamma_s - \gamma_o}} \quad \dots \quad (III 2)$$

V	=	Velocidad de caída uniforme
γ	=	Peso volumétrico de la esfera equivalente
γ_s	=	Peso volumétrico del agua
η	=	Viscosidad del fluido
D	=	Diámetro de la esfera

Esta expresión es válida como norma de comparación entre suelos, ya que la resistencia que se opone a que descienda la esfera equivalente, se deriva en un fluido semi infinito y una sola esfera, no sucede así en la prueba donde el líquido es sólo un litro de agua, en una probeta de seis centímetros de diámetro y se sedimentan una multitud de granos, todo lo cual hace que el uso de la prueba sea válida solamente como medio de comparar los suelos finos y además se limita para ensayos de partículas de tamaños comprendidos entre 0.1 a 0.0005 mm.

En la ecuación (II 2) se necesita determinar la velocidad de caída (V) de la partícula de diámetro (D); esta velocidad, como se dijo antes, inicialmente es acelerada, pero al cabo de pocos segundos se hace uniforme y se cuantifica conociendo el tiempo que la partícula de diámetro D , tarda en recorrer la distancia H que hay desde la superficie del líquido en que está en suspensión hasta el centro de carena del hidrómetro y se expresa:

$$V = \frac{H}{t}$$

donde :

- V = Velocidad de caída
 H = Altura de la superficie del líquido al centro de carena del hidrómetro
 t = Tiempo transcurrido

Con la velocidad (V) y los parámetros γ_0 y h del agua a la temperatura de la prueba se obtiene D , faltando calcular el peso del suelo más fino que este diámetro y que está todavía en suspensión.

El peso (W_s) de las partículas más pequeñas que las de diámetro D se mide directamente en la escala del hidrómetro, que está calibrado para determinar la cantidad de sólidos que tiene un litro de agua a la altura de su centro de inmersión (carena); por consiguiente la lectura es directamente W_s , el peso de la partícula de diámetro menor que el diámetro D obtenido en la ecuación (III 2).

Con W_s y D se puede continuar la gráfica de la granulometría iniciada con el análisis mecánico.

Si la muestra por analizar contiene suelos gruesos y suelos finos se pasa por la malla 200 para separar los gruesos y los finos y se analizan independientemente; los primeros (suelos gruesos) por medio de mallas y los segundos (suelos finos) con el hidrómetro, graficándolos en una misma curva granulométrica que contenga ciclos logarítmicos que abarquen los tamaños correspondientes a las gravas, arenas, limos y arcillas.

El Hidrómetro

Dispositivo que sirve para calcular los pesos volumétricos de las sustancias líquidas.

El hidrómetro colocado dentro de un líquido se hunde hasta que su peso se equilibra con el del líquido desplazado.

El hidrómetro mide así el peso volumétrico de la solución y además se puede graduar de modo que las lecturas en él indiquen el peso en gramos de sólidos en suspensión en un litro de agua.

Para que el hidrómetro proporcione los datos para calcular el diámetro máximo de las partículas en suspensión es necesario calibrarlo, la calibración consiste en:

- a) Comprobación de la graduación de la escala, dado que ella puede desplazarse dentro del vástago.
- b) La corrección por temperatura, puesto que la calibración se hace para una temperatura estándar 20°C.
- c) La distancia efectiva de caída en función de las lecturas en él, tomando en cuenta la inmersión.
- d) La modificación de la lectura por la formación de menisco y por el cambio de densidad debido al defloculante.

Obtención de la granulometría de los suelos finos por medio de hidrómetro

1. Se hace una mezcla usando cincuenta gramos de suelo, los que se unen con 300 cm^3 de agua destilada y 0.5 cm^3 de un defloculante (Hexametafosfato de sodio en suelos alcalinos $\text{ph} > 7$ y silicato de sodio en suelos básicos)
2. La mezcla se coloca en una bureta de 1000 cm^3 , la cual posteriormente se llena de agua destilada hasta la marca de calibración, se agita y se coloca en una mesa horizontal; inmediatamente se introduce el hidrómetro fig. 13 y se inician lecturas en él, así se registra la variación del peso de sólidos en suspensión con el tiempo. A las 24 horas o cuando la variación del peso volumétrico es casi nula, se determina el peso de los sólidos del suelo contenidos en la suspensión (W_s) secándola al horno durante 24 horas.

Con el peso de los sólidos (W_s) y las lecturas del hidrómetro que proporcionan los pesos en suspensión, se obtiene el porcentaje más fino que el tamaño que ya se asentó.

$$W \% = \frac{W_d}{W_s} \times 100$$

donde:

$W \% =$ Porcentaje en peso más fino de los sólidos

$W_d =$ Peso de suspensión

$W_s =$ Peso de la muestra seca

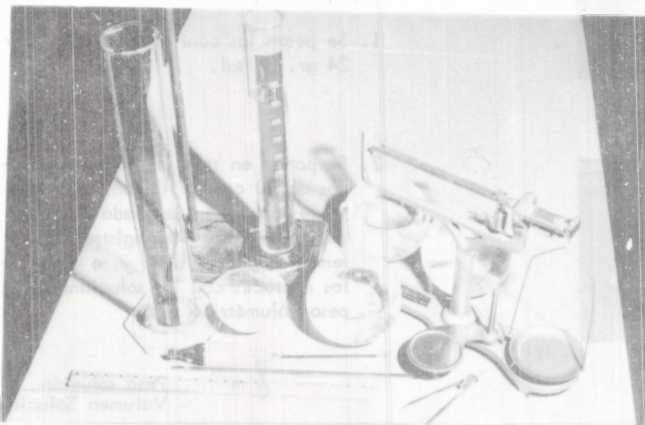
El diámetro máximo de las partículas asentadas para cada lectura se obtiene de la ley de Stokes, empleando el nomograma de Casagrande, que proporciona el diámetro de las partículas en función del peso específico de los sólidos (S_s), de la temperatura en el momento de la lectura y de la velocidad de caída de las partículas de un diámetro dado, obtenida de dividir la distancia, de la superficie de la suspensión, al centro del hidrómetro, para cada lectura, entre el tiempo que se registra en dicha lectura. El porcentaje en peso (W %) y el diámetro respectivo obtenido se grafica en la curva granulométrica a continuación de la mecánica.



HIDROMETRO

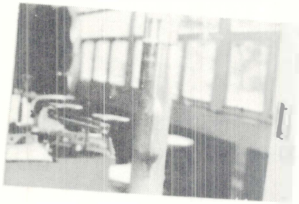
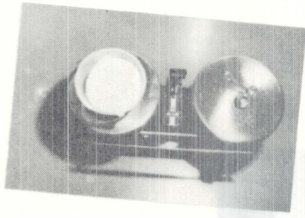
Fig. 13

CALIBRACION DEL HIDROMETRO



1. EQUIPO

- a) Probetas graduadas de 500 y 1000 ml
- b) Balanza de precisión
- c) Matraces calibrados
- d) Sal
- e) Hidrómetro
- f) Regla de medir
- g) Compás de punta
- h) Termómetro



Calibración del Hidrómetro

a) Comprobación de la escala del hidrómetro. En algunas ocasiones la escala del hidrómetro esta incorrecta por lo que hay que comprobarla.

1. Se pesan las cantidades de 8, 16 y 24 gr. de sal.

2. Se ponen en tres matraces calibrados de 50 cm. se llenan los matraces con agua destilada hasta la marca de aforo, se registran las temperaturas del agua y se pesan los matraces con las soluciones; el peso volumétrico será:

$$\gamma_m = \frac{\text{Peso solución}}{\text{Volumen Solución}}$$

3. Se pasa una de las soluciones a una probeta de 500 cc. y se introduce el hidrómetro y se hace la lectura W_s .

4. Se repite la operación anterior para cada una de las soluciones y para agua destilada sola.

5. Se calculan las lecturas que el hidrómetro debería dar si su escala estuviera correcta

$$L = \frac{1000 (\gamma_a - 1) S_s}{S_s - 1}$$

L - Lectura en gr / lt que debería leerse.

γ_a - Peso volumétrico aparente de la solución, tomando en cuenta los cambios de temperatura.

S_s - Peso específico, valor constante en todos los hidrómetros (2.65).

6. Peso volumétrico aparente se obtiene a partir del peso volumétrico calculado y de la corrección por temperatura (pag. 152)

$$\gamma_a = \frac{\gamma_m}{1 + \gamma_t - \frac{\gamma_c - mt}{10^3}}$$

γ_t - Peso volumétrico del agua T °C

γ_c - Peso volumétrico del agua a 20 °C.

mt - Corrección por temperatura

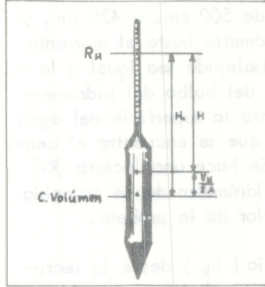
- b) Corrección por temperatura.- m_t ; se dan los valores en la tabla adjunta, se supone que la calibración del hidrómetro es hecha a la temperatura de 20°C y cualquier cambio en la temperatura altera el peso volumétrico en más o menos según la tabla (11).

Se anotan los resultados en el primer cálculo de la página 15B, registro 8.

CORRECCION POR TEMPERATURA					
T °C	m_t	T °C	m_t	T °C	m_t
14.0	-0.9	20.0	0.0	26.0	1.3
14.5	-0.8	20.5	0.1	26.5	1.4
15.0	-0.8	21.0	0.2	27.0	1.5
15.5	-0.7	21.5	0.3	27.5	1.6
16.0	-0.6	22.0	0.4	28.0	1.8
16.5	-0.6	22.5	0.5	28.5	1.9
17.0	-0.5	23.0	0.6	29.0	2.1
17.5	-0.4	23.5	0.7	29.5	2.2
18.0	-0.4	24.0	0.8	30.0	2.3
18.5	-0.3	24.5	0.9	30.5	2.5
19.0	-0.2	25.0	1.0	31.0	2.6
19.5	-0.1	25.5	1.1		

Tabla 11

c) Calibración de la distancia de caída.



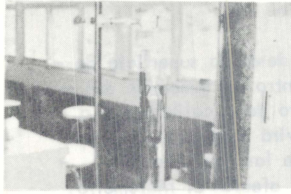
H = Altura de caída real.

H_1 = Distancia de una lectura R_H al centro del volumen del hidrómetro.

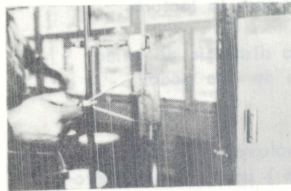
La distancia (H) desde la superficie de la suspensión al centro de inmersión del bulbo del hidrómetro debe calibrarse. La distancia (H) servirá para calcular la velocidad de caída de las partículas más gruesas que todavía afectan el hidrómetro, al dividir la distancia (H) entre el tiempo transcurrido desde que se dejó de agitar la suspensión hasta hacer la lectura.

La calibración de la distancia de caída (H) puede hacerse de este modo:

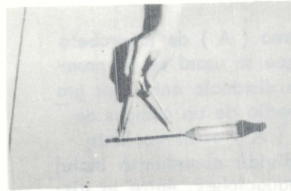
1. Determinar el volumen del bulbo del Hidrómetro (V_h) por cualquier método.
2. Determinar el área (A) de la probeta de 1000cm^3 , que se usará en la prueba, midiendo la distancia entre dos graduaciones por medio de un compás de puntas. El área (A) es el cociente que resulta de dividir el volumen incluido entre las graduaciones, entre la distancia medida con el compás.



3. Atorar la probeta de 500 cm. a 420 cm. y se sumerge el hidrómetro hasta el momento en que el agua desalojada sea igual a la mitad del volumen del bulbo del hidrómetro; en este momento la superficie del agua indica la altura a que se encuentra el centro del volumen. Se hace una lectura (R_k) en la escala del hidrómetro donde coincida con el borde superior de la probeta.



Se mide la distancia (h_k) desde la lectura (R_k) al nuevo nivel del agua, el valor de (h_k) dá la distancia del centro del volumen del hidrómetro hasta la lectura R_k .



Para referir las distancias h_j de cada lectura R_j del vástago al centro del volumen, se mide la distancia entre R_j y R_k , dependiendo si R_j es mayor o menor que R_k se suma o se resta esta distancia al valor h_k .

5. La altura de caída corregida será:

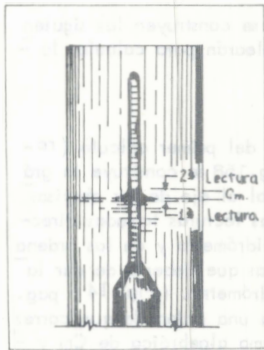
$$H_i = h_i - V_H/2A$$

H_i - Distancia medida para cada lectura al centro de volumen.

V_H - Volumen del hidrómetro

A - Área de la probeta

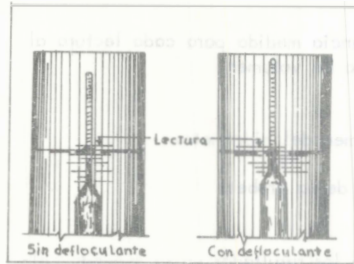
Se anotan los resultados en el segundo cálculo del registro 8 , pag. 158



d) Corrección por menisco

Se limpia completamente el cuello del hidrómetro y se sumerge en agua destilada haciendo dos lecturas: una en la parte superior del menisco y la otra en la superficie horizontal del agua, la diferencia de las dos lecturas será la corrección por menisco (C_m), la cual debe sumarse a la efectuada durante la prueba; Se anotan los resultados en el tercer cálculo del registro 8 , pag. 158.

e) Corrección por defloculante.



Al agregar un defloculante a la suspensión se aumenta la densidad de esta, por lo que debe hacerse una corrección (Cd).

Se sumerge el hidrómetro en agua limpia y se hace una lectura en la escala, después se añade la cantidad de defloculante que se vaya a usar en la prueba, se sumerge el hidrómetro y se hace la lectura, la diferencia de lecturas dará la corrección por defloculante (Cd) esta corrección es negativa, se anotan los resultados en el cuarto cálculo del registro 8 pag. 158.

Con los datos obtenidos se construyen las siguientes gráficas; que se emplearán para calcular la granulometría.

1. Con los datos del primer cálculo (registro 8) pag.158 se construye la gráfica en la cual al eje de las abscisas corresponde las lecturas tomadas directamente del hidrómetro y en las ordenadas las lecturas que debería de dar la escala del hidrómetro. (Fig. 14 pag. 159). Se fija una ordenada que corresponda a la suma algebraica de C_m y $-C_d$ y se traza una paralela de la gráfica a partir de este punto.

Con estos nuevos datos se construye un nomograma que tenga en uno de los lados la lectura del hidrómetro sobre me nisco con defloculante y en el otro la

do la lectura del hidrómetro bajo el menisco, sin defloculante., (Fig.14)

Con los valores del segundo cálculo del registro 8 pág. 158, se construye una gráfica en la que el eje de las abscisas represente la lectura del hidrómetro R_i y en el de las ordenadas la altura de caída H_i corregidas, posteriormente se corrige por menisco en la misma forma que la gráfica anterior y se traza un nomograma que tenga en un lado los valores correspondientes a H_i y en el otro lado los de R_i corregidos (Fig. 15 pág. 159).

Los nomogramas de las figuras 14 y 15 se usaron en el cálculo del peso de los sólidos (Fig. 16 pág. 168) y en la determinación del diámetro del suelo en suspensiones (Fig. 17 pág. 169).

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL
GECTECNIA

CALIBRACION DEL HIDROMETRO

Hidrómetro No. _____	Cperó: _____
Probeta No. _____	V_H _____
Probeta Graduada No. _____	Fecha : _____

(1)

Matraz No.	Tara	Sal en gr.	Peso Sólido Tara	Peso Solución	Volumen Solución	γ_m	Lectura Hidrómetro	L
Agua destilada	-	-	-	-	-	-	-	-

(2)

R_i	h_i	H_i

(3)

Corrección por menisco	$C_m (+)$
Lectura Inferior	
Lectura Superior	
C_m	

(4)

Corrección por defloculante	$C_d (-)$
Lectura agua + defloculante	
Lectura agua	
C_d	
Defloculante usado :	

Observaciones : _____

Conclusiones : _____

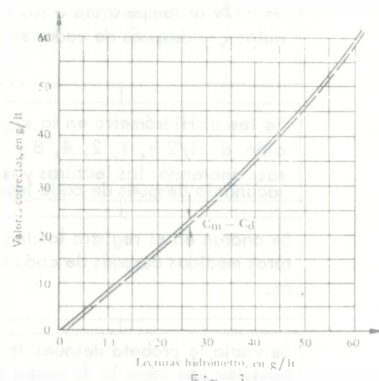


Fig. 1

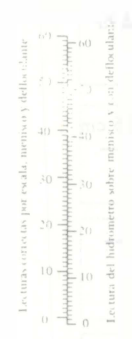
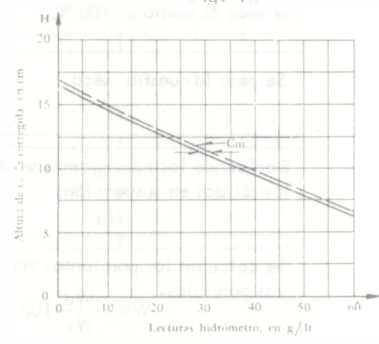
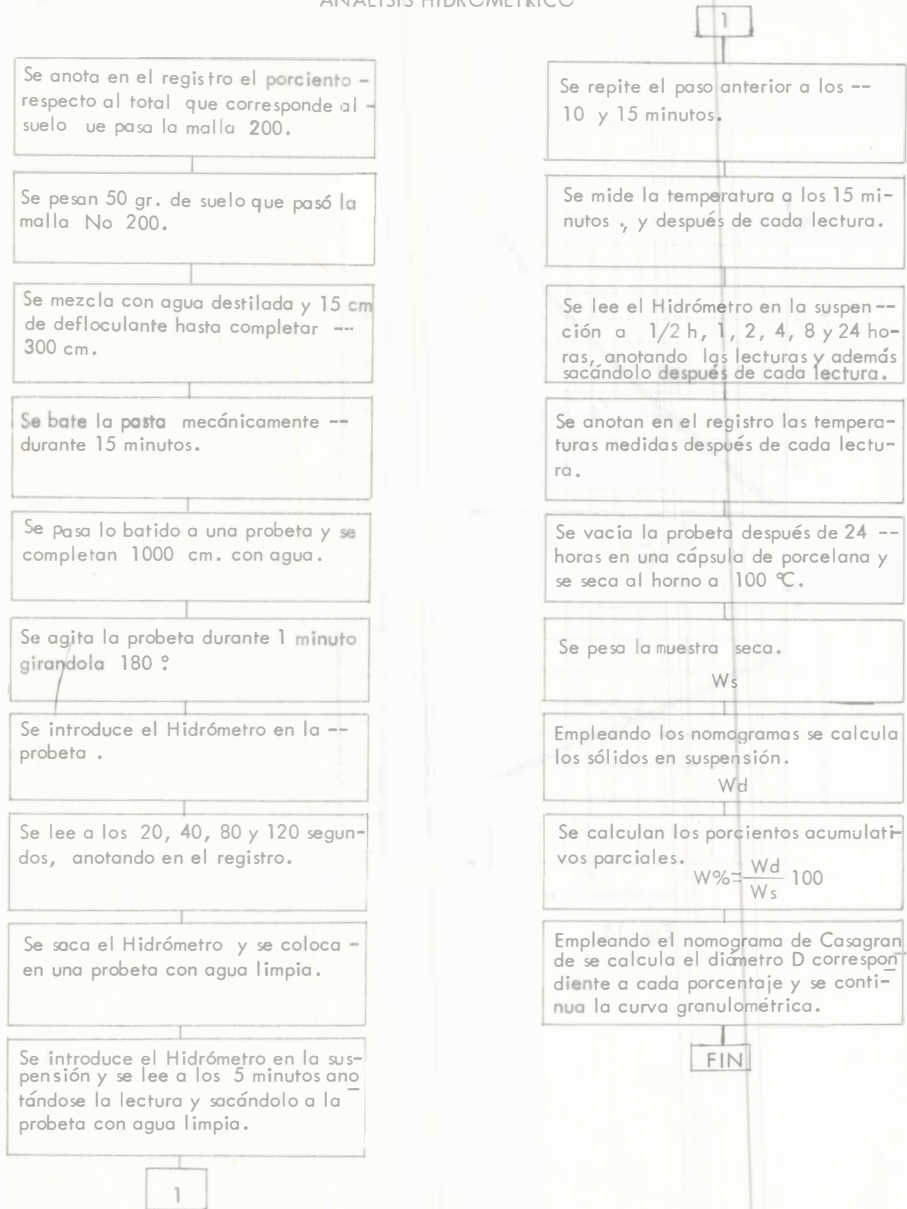
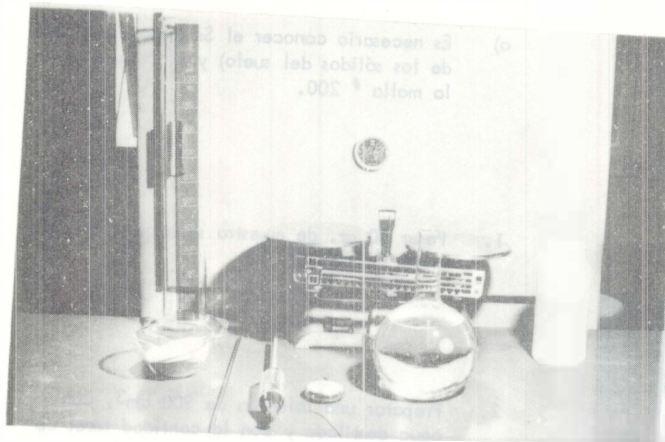


Fig. 15



OBTENCION DE LA PRUEBA GRANULOMETRICA
POR MEDIO DEL HIDROMETRO.

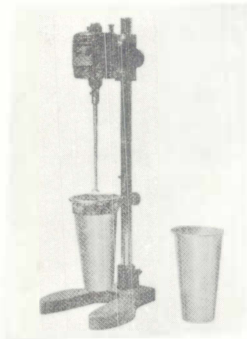
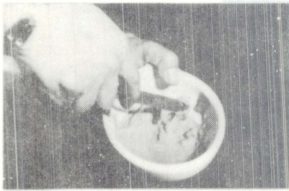


1. EQUIPO

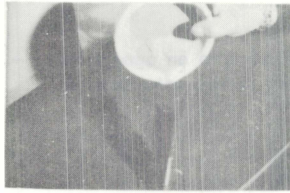
- a) Hidrómetro
- b) Defloculante
- c) Probeta
- d) Cronómetro
- e) Termómetro
- f) Horno
- g) Batidos mecánico
- h) Balanza
- i) Muestra de suelo
- j) Agua destilada
- k) Nomogramas

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

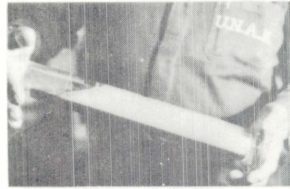


- a) Es necesario conocer el S_s (peso específico de los sólidos del suelo) y el % que pasó la malla # 200.
1. Pesar 50 gr. de muestra seca que pasó la malla # 200.
 2. Preparar una solución de 900 cm³, con agua destilada y con la cantidad total de defloculante que se empleará en la suspensión y mezclar una parte con el suelo, lo necesario para formar una pasta suave.
 3. Pasar la pasta fabricada a un batidor mecánico, añádase otra parte de la solución preparada en el paso 2, hasta formar 300 cm³ y bátase durante 15 minutos.

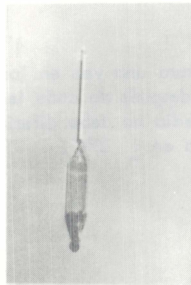
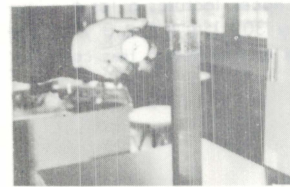


4. Pasar la solución de suelo preparada a una probeta graduada (1000 cm³), se añade el resto de la solución y agua destilada hasta completar los 1000 cm³.

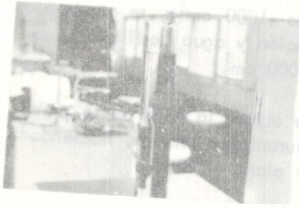
Con la mano se obtura la boca de la probeta y se agita durante un minuto, haciendo lo girar 180° en plano vertical.



5. Se coloca la probeta inmediatamente en una mesa fija y se echa andar el cronómetro; - introducir el hidrómetro hasta un poco más de su nivel de flotación, soltarlo posteriormente y hacer lecturas en él a 20, 40, 80 y 120 segundos



6. Sacar el hidrómetro y sumergirlo en agua - limpia para quitar las partículas que se han agregado a él y secarlo con un paño.

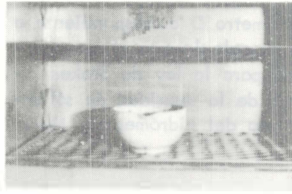


7. Introducir el hidrómetro en agua limpia -
mientras se hace la siguiente lectura.

8. Repetir el mismo procedimiento señalado en 5, 6, 7, para hacer lecturas a los 5 minutos, 10, 15 y 30, 1, 1/2, 2, 3 y 24 horas, retirándose el hidrómetro tras cada lectura.



9. Medir la temperatura una vez en los primeros 15 minutos y después de cada lectura.-
La temperatura media no debe diferir de -
una lectura a otra en $\pm 2^{\circ}\text{C}$.



10. Ya concluida la prueba se determina el peso del suelo seco contenido en la suspensión, pasándola a un recipiente y secarla al horno hasta que haya perdido totalmente el agua (generalmente 24 horas a 100°C).

$$W_s$$

11. Empleo de los nomogramas.

- a) De las lecturas del hidrómetro para distintos tiempos a diferentes temperaturas, se calculan los sólidos en suspensión empleando el nomograma de la pag. 168 a partir de la temperatura de la prueba y de la densidad de sólidos; los valores obtenidos (W_d) se anotan en el registro, donde W_d es el peso de todas las partículas menores que el diámetro D (paso C).
- b) Se calculan los porcentajes acumulados parciales

$$W\% = \frac{W_d}{W_s} \cdot 100$$

W_s - peso total de sólidos

Para el porcentaje acumulativo total se multiplica el parcial por el porcentaje que pasó la malla # 200, dividiendo entre 100.

c) El cálculo del diámetro D correspondiente a cada porcentaje se calcula con el nomograma de Casagrande para la ley de Stokes - (pag.169) a partir de la densidad de sólidos, temperatura, lectura del hidrómetro y tiempo correspondiente.

d) Los datos obtenidos sirven para continuar la curva granulométrica del análisis mecánico, empleando los porcentajes acumulativos totales.

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL
 GEOTECNIA
 PRUEBA HIDROMETRICA

Procedencia : _____	Cuerpo : _____
Banco : _____ Pozo : _____	Profundidad : _____
Peso (Ws) : _____ Ss : _____	Fecha : _____

HIDROMETRICO No. _____

Hora	Tiempo	Lectura Hidrómetro	Temperatura	Peso Sólido en Suspensión Wd	% acumulativo $Wp = \frac{Wd}{Ws} \cdot 100$		Velocidad de Caída. (m/t)	Diámetro D
					Parcial	Total		
	20 seg							
	40 seg							
	1,20 min							
	2,50 min							
	5 min							
	10 min							
	15 min							
	20 min							
	25 min							
	30 min							
	1 h							
	1 1/2 h							
	2 h							
	3 h							
	24 h							

H.- Altura de caída.

Ws.- Peso total de los sólidos.

t.- Tiempo.

Wd.- Peso de los sólidos en suspensión.

Observaciones : _____

Conclusiones : _____

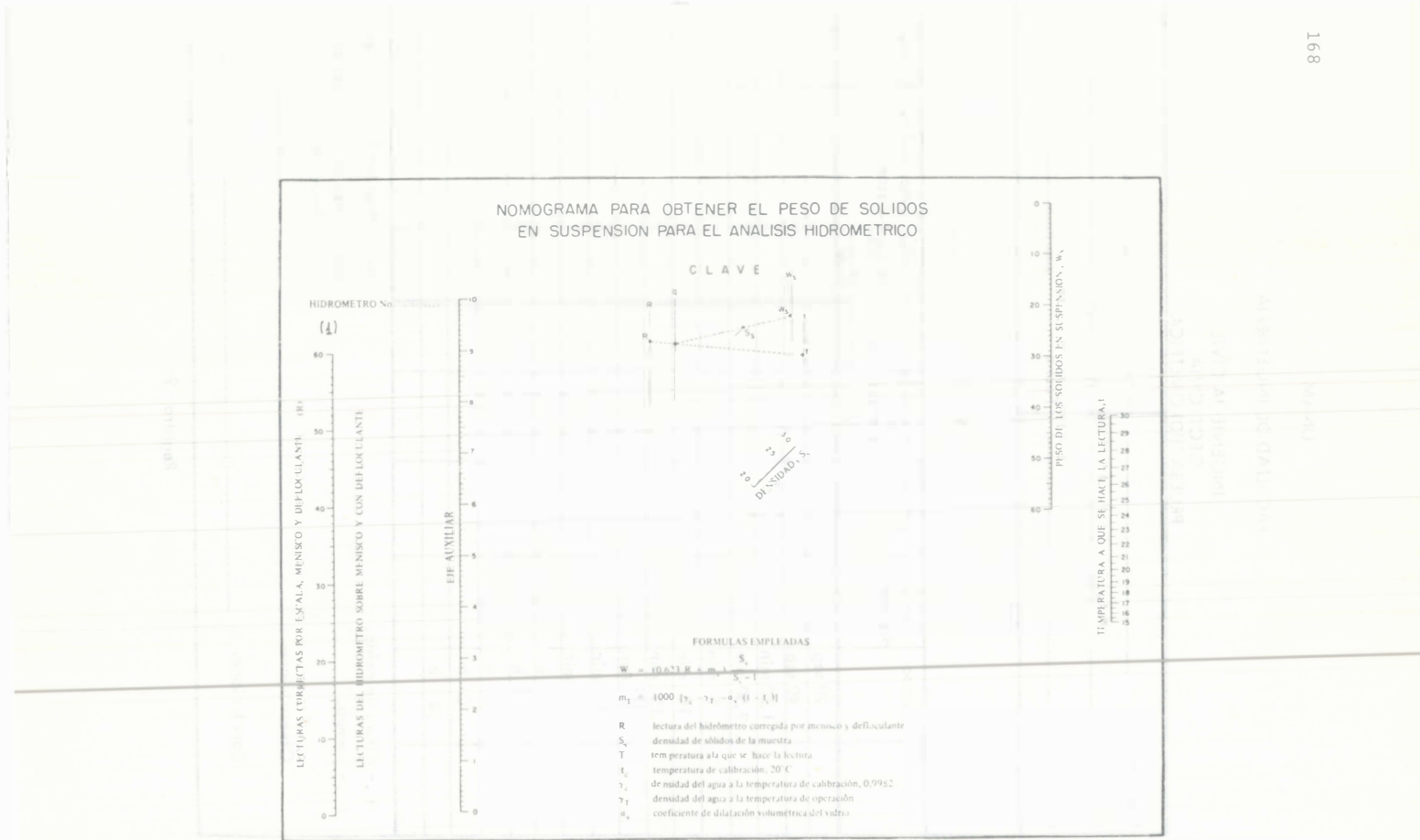


Fig. 16

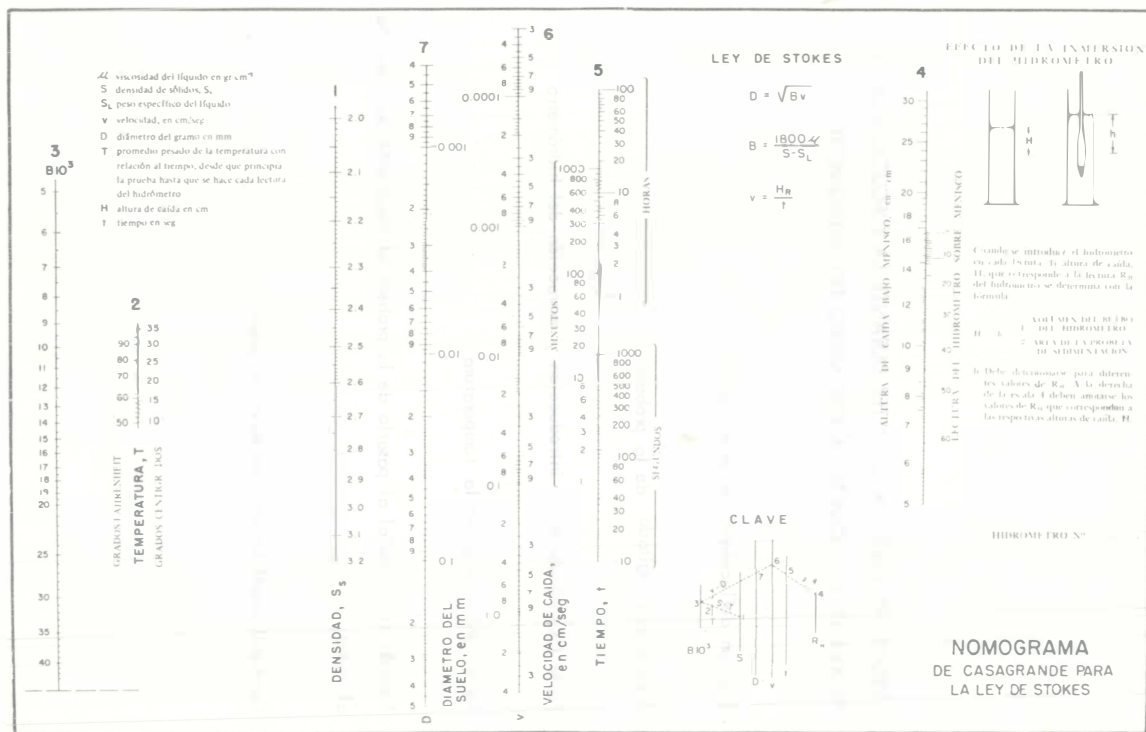


Fig. 17

ERRORES POSIBLES DE COMETER DURANTE LA EJECUCION DE LA PRUEBA GRANULOMETRICA POR MEDIO DEL HIDROMETRO.

1. Usar un defloculante no adecuado
2. Insuficiente agitado de la probeta
3. Falta de cuidado en la introducción y extracción del hidrómetro
4. La no uniformidad en la temperatura
5. Pérdida del material al pasarlo de la probeta al recipiente para secarlo al horno.
6. Cantidad insuficiente o excesiva de suelo

111b. LÍMITES DE ATTERBERG

El comportamiento mecánico del suelo es función del contenido de agua que tiene; en términos generales el suelo fino con mayor contenido de agua es más deformable y menos resistente.

La plasticidad es otra de las características del suelo fino que se modifica con el contenido de agua; la plasticidad es la propiedad de un material de deformarse - sin cambiar el volumen ni agrietarse o desmoronarse; la magnitud de la deformación no es directamente proporcional al esfuerzo que recibe, permaneciendo deformado el suelo al reducirse el esfuerzo.

La relación entre la plasticidad y el contenido de agua, así como entre éste último y las características mecánicas del suelo, permite usar la plasticidad como una medida de las condiciones de trabajabilidad del suelo.

En el año de 1911, al estudiar la plasticidad de las arcillas para ser usadas, en alfarería, Atterberg propuso estados de consistencia o de firmeza que pueden presentarse los suelos finos (arcillas y limos) al variar el contenido de agua. En función de la plasticidad que presentan definió cuatro fases o estados por los que pasa el suelo al disminuir el contenido de agua, estos estados son:

1. Estado líquido

Con las propiedades y apariencia de una suspensión.

2. Estado plástico

El suelo se comporta plásticamente

3. Estado semisólido

El suelo tiene la apariencia de un sólido pero aún disminuye su volumen al estar sujeta a secado.

4. Estado sólido

Se presenta cuando el volumen de sólido no varía con el secado

La variación cualitativa de la consistencia del suelo con el contenido de agua, se muestra en la figura No. 18, en ella también se ha dibujado cualitativamente la relación entre el contenido de agua y la resistencia del suelo, resistencia que puede ser a las deformaciones o a los esfuerzos.

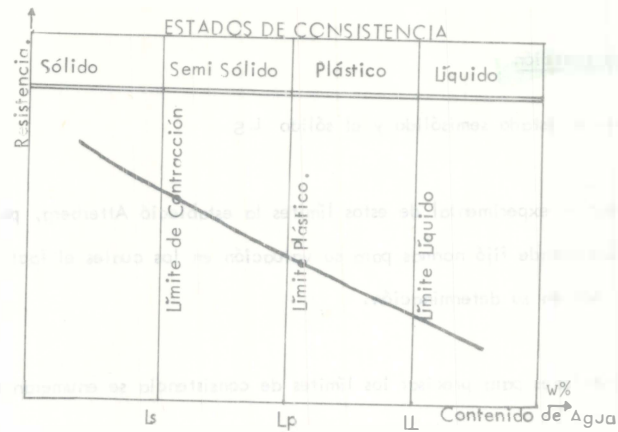


Fig. 18

Resistencia: Medida de la capacidad de soportar deformaciones o esfuerzos.

$w\%$: Contenido de agua

Para precisar el contenido de agua que marca el lindero entre los estados de consistencia o de plasticidad se han establecidos contenidos de agua que marcan las fronteras entre estos cuatro estados mencionados, estos contenidos de agua se conocen como "Límites de Consistencia".

Límite líquido

Frontera entre el estado líquido y el plástico L_L

Límite plástico

Contenido de agua que marca el paso del estado plástico al semisólido L_p

Límite de contracción

Límite entre el estado semisólido y el sólido L_S

La determinación experimental de estos límites la estableció Atterberg, posteriormente A. Casagrande fijó normas para su valuación en los cuales el factor humano influye poco en su determinación.

Las especificaciones para precisar los límites de consistencia se enumeran a continuación:

Límite líquido (LL)

Contenido de agua que tiene el suelo remoldado que en la copa de Casagrande necesita 25 golpes para que se cierre una ranura de forma y dimensión ya establecidas. (ver Figura No. 19).

La copa de Casagrande es un recipiente de bronce o latón que por medio de una manija y un excéntrico se levanta un centímetro y cae golpeando contra la base de hule duro o micarta (Fig. 20) .

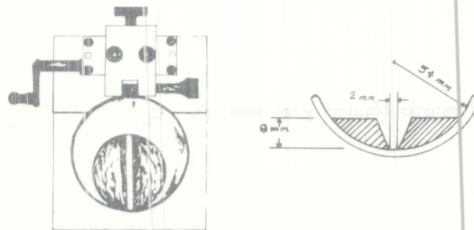


Fig. 19

CAPSULA DE CASAGRANDE

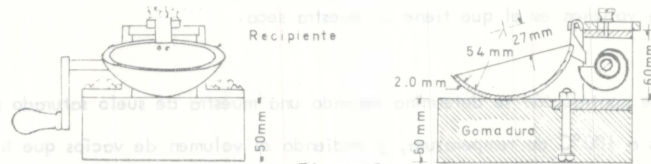
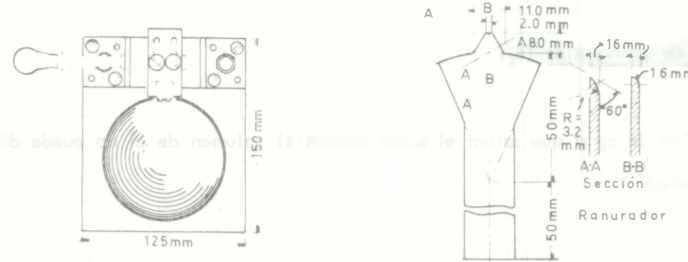


Fig. 10

Todos los suelos remoldeados con contenido de agua igual al límite tiene igual resistencia al corte (27 gr/cm) debido a que la ranura de dimensiones estándar, se cierra en todos los suelos con la misma energía: 25 golpes proporcionados con el mismo peso y cayendo desde un centímetro.

Límite plástico (L_p)

Contenido de agua con el que se empieza a agrietar un cilindro de suelo cuando tiene 3.2 mm de diámetro y 10 cm de longitud, el cual ha sido formado con la palma de la mano sobre un vidrio plano sin pulir. Este límite indica aproximadamente el contenido de agua con que es más fácil compactar el suelo.

Límite de contracción (L_s)

Contenido de agua que satura el suelo cuando el volumen de él no puede disminuirse al secado.

Cuando el material pierde agua su volumen disminuye debido a las fuerzas de tensión capilar producidas por el agua intersticial, pero llega a un volumen A , que no disminuye al secarlo por que las fuerzas de tensión capilar ya no pueden deformarlo, este volumen es el que tiene la muestra seca.

El límite de contracción se determina secando una muestra de suelo saturado durante 24 horas a 100°C de temperatura, y midiendo el volumen de vacíos que tiene el suelo seco. Si este volumen de vacíos se supone lleno de agua se tiene el peso del agua que tendría el suelo saturado al secarse y llegar al volumen A ; la relación entre este peso de agua y el peso del suelo seco fija el límite de contracción.

Este límite es el único de los de consistencia que no está fijado arbitrariamente, si no por un fenómeno físico bien definido.

De los límites de consistencia (L_L , L_p , L_s), se derivan relaciones que muestran cualitativamente características mecánicas de los suelos, algunas de ellas son:

Índice de plasticidad (I_p)

Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (L_p). Representa el rango de variación del contenido de agua dentro del cual el suelo se comporta plásticamente.

$$I_p = L_L - L_p$$

Índice de fluidez (F_w)

Pendiente de la curva de fluidez en un ciclo logarítmico (F_w). La curva de fluidez resulta de graficar los valores del contenido de agua y el número de golpes para obtener el límite líquido.

$$F_w = \frac{w_{100} - w_{10}}{\log. 100 - \log 10} = \frac{w_{100} - w_{10}}{1}$$

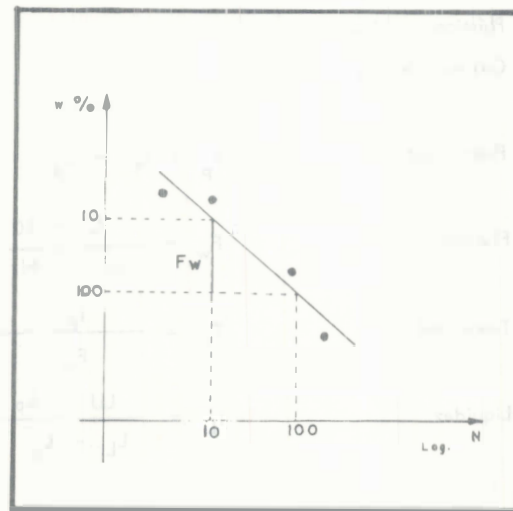


Fig. 21

El índice de fluidez es la variación del contenido de agua en un ciclo logarítmico.

RECAPITULACION

Propiedades

Estados
 Líquido
 Plástico
 Semisólidos
 Sólido

Límites
 Líquido L_L
 Plástico L_P
 Contracción L_S

Indices

Plasticidad $I_p = L_L - L_P$

Fluidez $F_w = \frac{C - 10}{\log N}$

Tenacidad $T_w = \frac{I_p}{F_w}$

Liquidez $I_L = \frac{W - P}{L_L - L_P} \times 100$

Usos de los Límites de Consistencia

Los límites son empleados para clasificar los suelos finos y estimar la calidad de sus propiedades mecánicas y así prever su posible comportamiento.

Con la carta de la plasticidad se clasifican los suelos finos en función del límite líquido y el índice plástico (ver pág. 217 Cap. III).

El Límite Líquido

Indica la cantidad de agua necesaria para que el suelo remoldeado tenga una resistencia al corte mínima, por consiguiente un límite líquido alto indica que el suelo se le debe agregar una gran cantidad de agua para degradar su resistencia hasta la mínima; dado que la resistencia al corte depende del área de contacto de los granos, un límite líquido alto muestra que se necesita mucha agua para separar unos granos de otros y por consiguiente el suelo es muy fino y tenaz para bajar su resistencia.

El Límite Plástico

Señala la cantidad de agua necesaria que debe agregarse al suelo a fin de que sea trabajable; y el índice plástico es el rango en que el suelo es fácilmente laborable, así un índice plástico pequeño lo tiene un material que varía con facilidad del estado líquido al plástico.

El Límite de Contracción

Si un suelo en estado natural tiene una humedad menor que el límite, indica la

posibilidad de que al agregar agua al suelo in situ se presentan expansiones y un decrecimiento importante en la resistencia, al pasar del estado sólido al semisólido.

Estas son indicaciones generales para los suelos finos remoldeados, pero hay que hacer notar que los suelos en estado natural muestran una resistencia al corte totalmente diferente que la del material remoldeado; así por ejemplo, en la ciudad de México, los valores medios del límite líquido y el contenido de humedad natural son respectivamente 295 % y 290 % es decir prácticamente iguales, sin embargo, el suelo de la ciudad de México presenta una resistencia media al corte de 500 gr/cm² y no 27 gr/cm² que tiene cuando se remoldea; la resistencia del suelo se debe a la estructuración de la arcilla.

<p>LIMITE LIQUIDO</p>
$W \Rightarrow \tau = 27 \text{ gr/cm}^2$

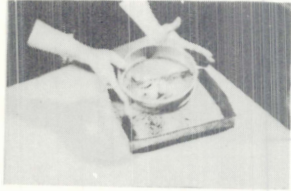
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

Se define como el contenido de agua que tiene un suelo remoldeado cuando muestra una resistencia al esfuerzo cortante incipiente (27 gr/cm^2).

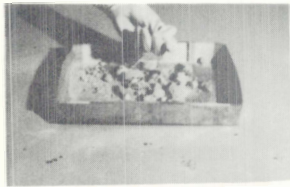
Se mide como el contenido de agua del suelo, que en la copa de Casagrande resiste 25 golpes para que se cierre una ranura de tamaño fijo, con ancho de 2mm.

La ranura generalmente se cierra antes o después de los 25 golpes por lo que la prueba se ejecuta varias veces obteniéndose puntos que deben estar situados antes y después de los 25 golpes, y se construye una gráfica del contenido de agua y el logaritmo del número de golpes con los cuales la ranura se cerró, dando por resultado la curva de fluidez; de esta curva a los 25 golpes se obtiene el contenido de agua, el valor obtenido es el Límite Líquido (L_L) que tiene el suelo.

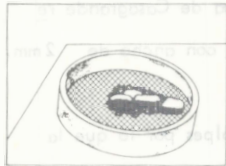
PREPARACION DEL MATERIAL
PARA LA OBTENCION DE LOS LIMITES



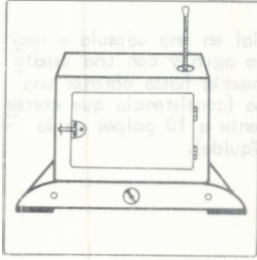
1. Se toma una muestra de suelo de 500 gr y se pasa por la malla No. 4



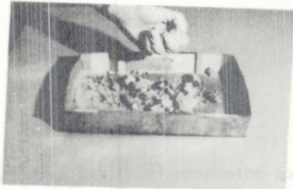
2. Del material que pasó la malla No. 4 se se paran aproximadamente 200 gr y se disgrega con la mano enguantada cuidando de no romper los granos.



3. El material disgregado se pasa por la malla No. 40 y se retira de la prueba aquel que queda retenido.



4. El material que pasa por la malla No. 40 se seca al horno durante 24 horas y se elige el método de preparación del material en función de su resistencia en estado seco.

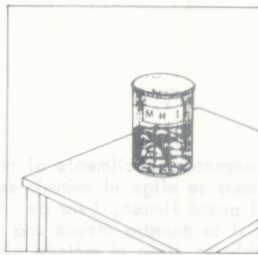


5. Si el material se desmorona fácilmente al presionarlo con los dedos se elige el método seco, ya que es material areno limoso, (ver de 6 - 8) En cambio si la muestra ofrece una resistencia apreciable se elige el método húmedo (ver de 9 - 10).

METODO SECO



6. Se coloca el material en una cápsula o recipiente, se le agrega agua y con una espátula de cuchillo se mezcla hasta obtener una pasta suave y espesa (consistencia que corresponde aproximadamente a 10 golpes en la prueba del límite líquido).



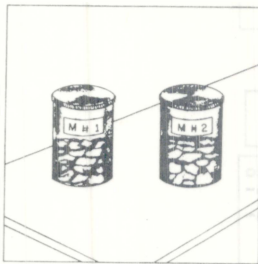
7. Se guarda la muestra húmeda en un frasco de vidrio hermético durante 24 horas para que la humedad se distribuya uniformemente.

8. Se repiten los pasos anteriores (6,7) reduciendo la cantidad de agua agregada para obtener una segunda muestra con contenidos de agua diferentes mayor que en 7, cercanos al límite líquido.

MÉTODO HUMEDO

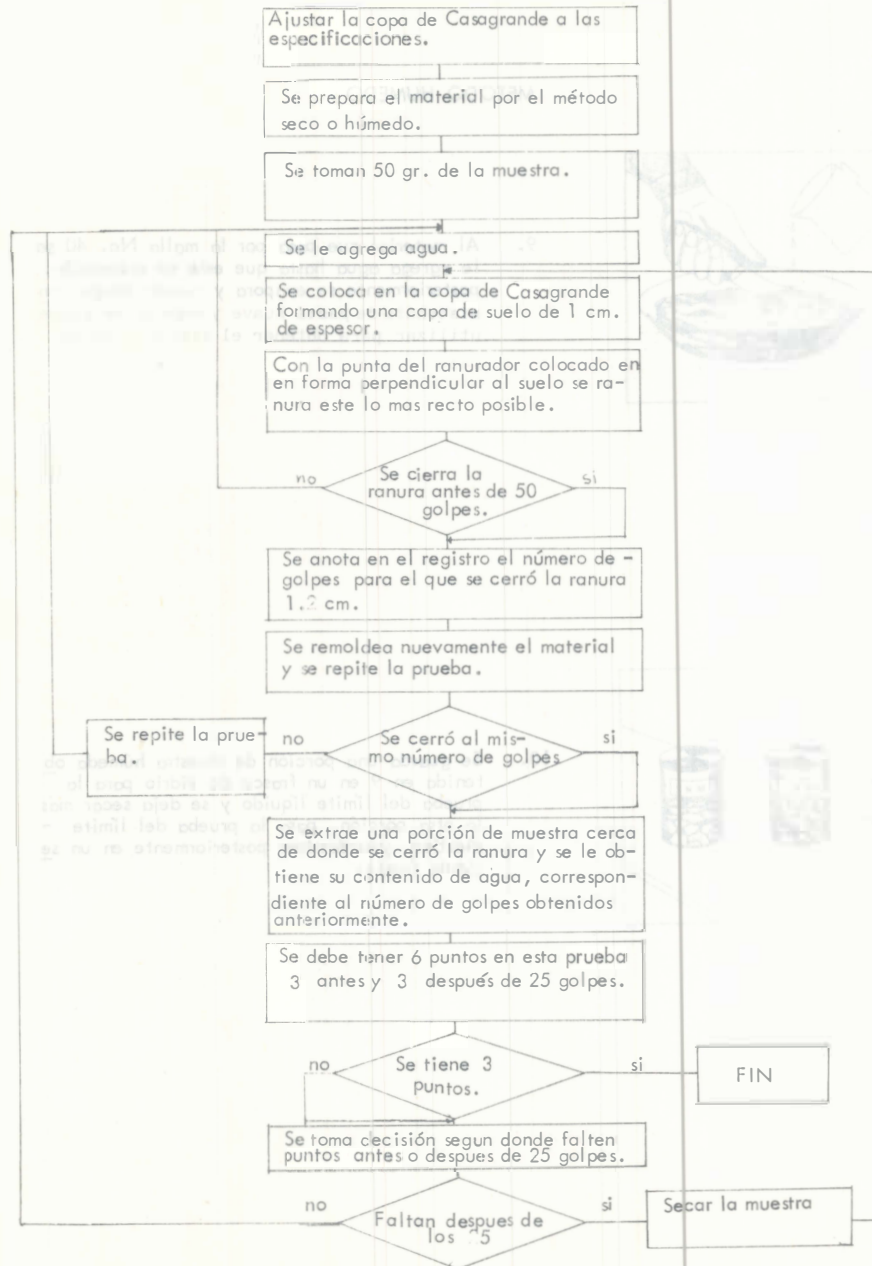


9. Al material que pasa por la malla No. 40 se le agrega agua hasta que este en suspensión, posteriormente se evapora y cuando tenga consistencia de pasta suave y espesa, se puede utilizar para obtener el límite Líquido.



10. Se guarda una porción de muestra húmeda obtenida en 9 en un frasco de vidrio para la prueba del límite líquido y se deja secar más la otra porción, para la prueba del límite plástico, guardándose posteriormente en un segundo frasco.

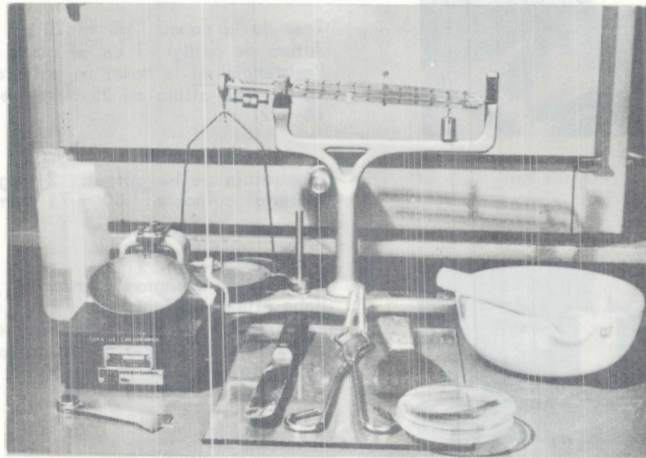
OBTENCION DEL LIMITE LIQUIDO



OBTENCION DEL LIMITE LIQUIDO

PREPARACION DEL MATERIAL

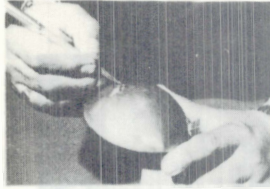
Se obtiene con el método seco o con el húmedo que ya se explicaron.



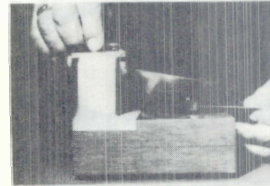
1. EQUIPO

- a) Dispositivo de A. Casagrande para determinar límite líquido, incluyendo solera plana de un centímetro de espesor y el ranurador.
- b) Espátula
- c) Cápsula de porcelana
- d) 6 Vidrios de reloj, 1 mortero y 1 pipeta
- e) Horno de secado a temperatura constante a -110°C
- f) Balanza de precisión con aproximación de -0.01 gr.

DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DE LA COPA DE CASAGRANDE



Peso de la copa: 200 ± 20 gr
Altura de caída: 1 cm al punto de impacto
Resistencia de la base: un balón de 2 gr dejado caer a una altura de 25 cm debe rebotar de 18 - 21 cm.

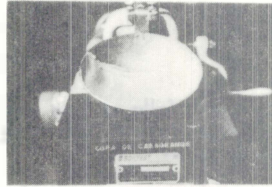


Frecuencia de los golpes: 2/ segundo
Material colocado: 50 - 75 gramos

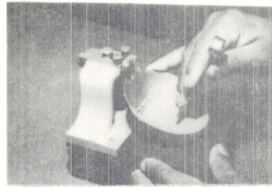
La copa de Casagrande antes de poder usarla se debe ajustar perfectamente a las especificaciones de la altura de caída, verificar el punto de percusión o la distancia de este a la base, teniendo todo esto se puede ya realizar la prueba.

REALIZACION DE LA PRUEBA

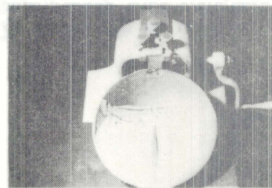
La prueba debe realizarse de preferencia en un cuarto húmedo para evitar el secado no controlado de las muestras.



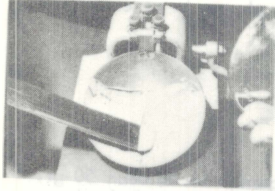
1. En la copa de Casagrande se colocan 50 gr. (aproximadamente) y con una espátula de chillo se forma dentro de la cápsula de bronce, una capa de suelo con un grueso máximo de 1 cm.



2. Con la punta del ranurador colocado en forma perpendicular al suelo se ranura este, lo más recto posible.

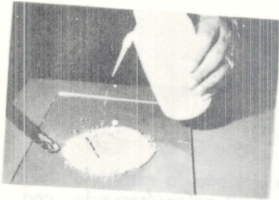


3. Hecha la ranura se acciona la manivela del dispositivo a razón de 2 golpes/segundo, contando cuantos son necesarios para que se cierre la ranura en una longitud de 1.2 cm.

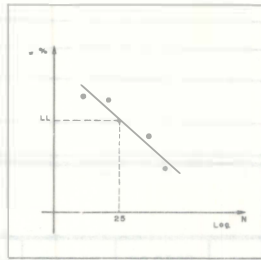


4. Se retira el material de la copa y se repiten los pasos del 1 al 3 hasta que el número de golpes entre un ensayo y otro sea igual o difiera en sólo un golpe en dos pruebas sucesivas.

5. En la parte cercana a la falla se toma una muestra de 10 gr aproximadamente para determinar el contenido de agua.



6. Los pasos anteriores del 1 - 5 se repiten agregando agua o secando según el caso hasta obtener cuando menos 4 determinaciones diferentes de número de golpes, las cuales deben ser 2 mayores de 25 y 2 menores de 25. Se agrega o disminuye agua dependiendo del proceso de preparación de la muestra húmedo o seco.



7. De las muestras tomadas en 5, para cada ensaye se obtienen los contenidos de agua (w%) con este valor y el número de golpes correspondiente, se dibuja la curva de fluidez, en coordenadas semilogarítmicas, en las ordenadas el contenido de agua y en las abscisas en escala logarítmica el número de golpes.

El límite líquido se obtiene graficando la curva de fluidez y es el contenido de agua que corresponde a 25 golpes.

METODO EMPIRICO ALTERNATIVO

Para el cálculo de L_L , por este método es necesario conocer un punto de la gráfica de fluidez localizado entre 20 y 30 golpes y se obtiene de la relación empírica siguiente:

$$L_L = W_n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.12}$$

L_L = Límite líquido

W_n = Humedad con N número de golpes, en %

N = Número de golpes

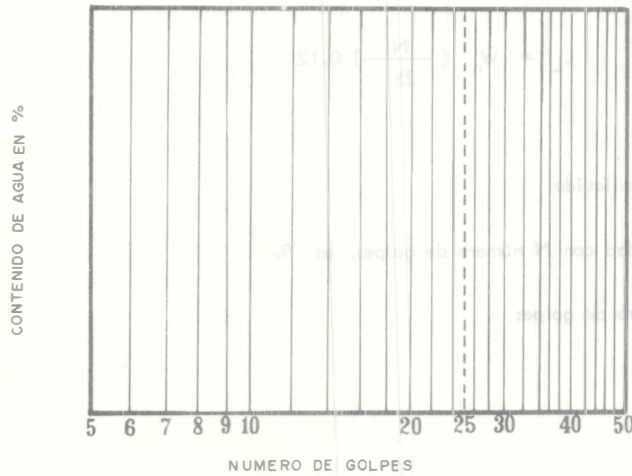
LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

OBRA: _____	FECHA: _____
LOCALIZACION: _____	OPERADOR: _____
SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: _____	_____
MUESTRA N°: _____ PROF.: _____	CALCULO: _____
DESCRIPCION: _____	_____

Límite Líquido

PRUEBA N°	CAPSULA N°	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA

Límite Plástico



LL = _____

LP = _____

I_p = _____

F_w = _____ %

$T_w = \frac{I_p}{F_w} =$ _____

CLASIF. SUCS = _____

OBSERVACIONES: _____

DURANTE LA PRUEBA DEL LIMITE LIQUIDO SE PUEDEN COMETER
LOS SIGUIENTES ERRORES

1. No preparar adecuadamente las muestras
2. No ajustar la copa a las especificaciones
3. Colocar y ranurar mal el material en la copa
4. No dar el número de golpes por segundo según lo especificado
5. Permitir que los distintos puntos lo realicen personas diferentes
6. Obtener malas pesadas al calcular el contenido de agua (W %)

DETERMINAR EL LIMITE PLASTICO

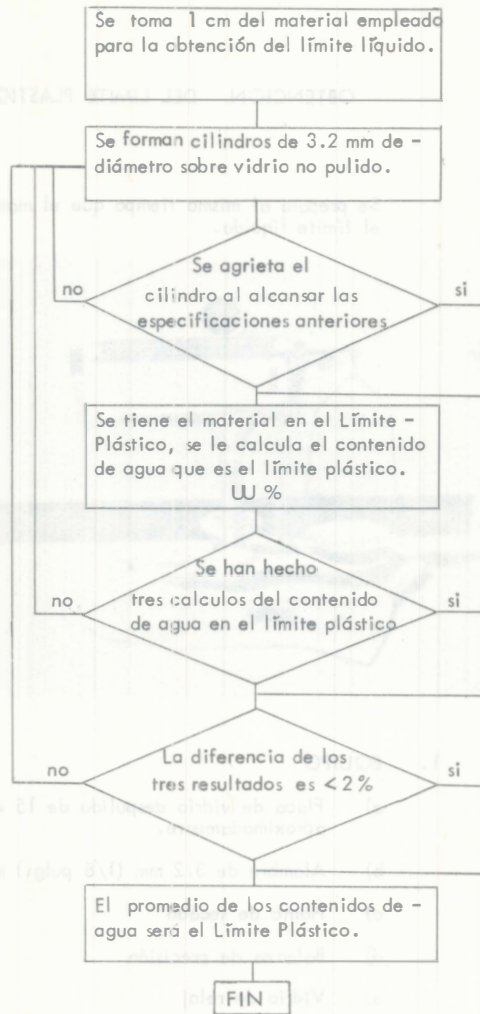
El límite plástico se define como el contenido de agua que tiene el suelo cuando al elaborar con el cilindro de 3.2 mm de diámetro y 10 cm de largo empieza a agrietarse.

Se determina con 1 cm³ de suelo húmedo, que se amasa para formar un rollo de 3.2 mm de diámetro rodándolo con la mano sobre vidrio sin pulir o papel, permitiendo que se evapore el agua que contiene.

Si el cilindro mide 3.2 mm de diámetro en el momento que aparecen las primeras grietas de secado, se encuentra en el límite plástico.

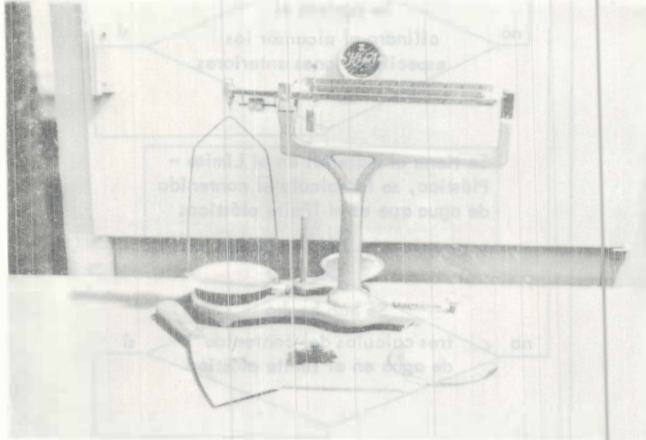
Se cuantifica obteniendo el contenido de agua del suelo que forma el cilindro.

LIMITE PLASTICO



OBTENCION DEL LIMITE PLASTICO

Se prepara al mismo tiempo que el material para el límite líquido.



1. EQUIPO

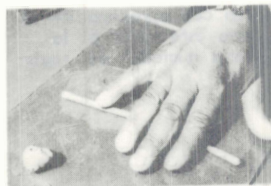
- a) Placa de vidrio despulido de 15 x 15 cm - aproximadamente.
- b) Alambre de 3.2 mm (1/8 pulg.) de diámetro
- c) Homo de secado
- d) Balanza de precisión
- e) Vidrio de reloj
- f) Registro para el L_p

OBTENCION DEL LIMITE PLASTICO PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

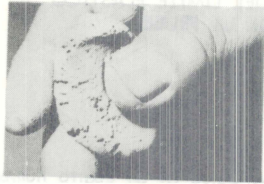
La prueba ha de realizarse en un cuarto húmedo para evitar el secado superficial de la muestra.- Si no se cuenta con cuarto húmedo, se deberán tomar todas las precauciones posibles para reducir la evaporación,



1. Se toma un centímetro cúbico de la muestra aproximadamente y se rueda sobre una placa de vidrio despulido o de cerámica microporosa, para extraerle el agua en exceso dejando la muestra con una consistencia cercana al límite plástico, que se va a determinar volviendo a formar una pequeña pelota.

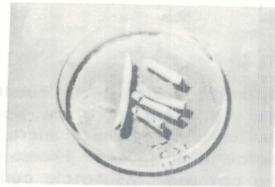


2. Se rueda la muestra sobre la placa de vidrio despulido, bajo la palma de la mano, hasta formar un cilindro de aproximadamente 3.2 mm de diámetro y 10 cm de largo. El rollito así obtenido se compara con el alambre de 1/8" de diámetro que sirve de patrón.

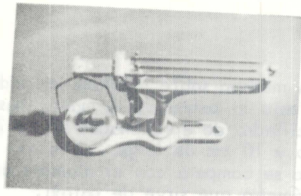


3. Se pliega el cilindro, se amasa y se vuelve a rodar hasta que se forme nuevamente un cilindro de 3.2 mm de diámetro, con el objeto de que pierda agua por evaporación.

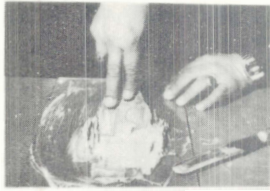
Cuando el cilindro se agriete y se empiece a romper en pequeños fragmentos, se dice que el suelo ha llegado a su "LÍMITE PLÁSTICO".



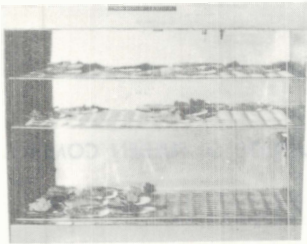
4. Se ponen los pedazos de cilindro entre dos vidrios de reloj y se fijan con un broche. Los vidrios de reloj con el broche previamente se han pesado y anotado su peso en el registro respectivo.



5. Se pesa en la balanza con aproximación de 0.001 gr y se registra este valor en la columna "tara + muestra húmeda" del registro.



6. Se repite los pasos 1 a 5, con otra porción de la muestra, para corroborar la determinación anterior. Los resultados obtenidos se anotan en el registro.



7. Se ponen las muestras a secar en el horno durante 24 horas, al sacarla se pesan. Los resultados se anotan en la columna "tara + muestra seca".

$$\omega_{\%} = \frac{W_w}{W_s} 100$$

8. Con los datos así obtenidos, se calculan los contenidos de agua. Si la diferencia de los resultados no es mayor del 2 %, se considera que el promedio de los dos contenidos de agua es el "LIMITE PLASTICO". Este valor se redondea al entero más cercano.

Para suelos con L_p inferior a 20, la tolerancia puede ser ligeramente mayor.

... para ... de ...

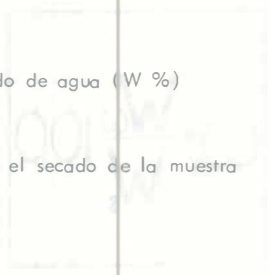


... durante la prueba del límite plástico se pueden cometer los siguientes errores



DURANTE LA PRUEBA DEL LIMITE PLASTICO SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. En la preparación de la muestra
2. En el grueso del rollo del material
3. En las pesadas para obtener el contenido de agua (W %)
4. Al usar papel absorbente para acelerar el secado de la muestra



• DETERMINAR EL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

El límite de contracción (como se menciona antes) a diferencia de los límites señalados con anterioridad, es fijado por fenómenos físicos. En este límite no intervienen reglas arbitrarias, se utilizan fuerzas capilares que reducen el volumen del suelo hasta un valor mínimo permitido por el propio suelo, el contenido de agua que satura este volumen mínimo, es el que se conoce como límite de contracción y se representa (L_s) (del inglés shrinkage contracción).

Obtención del Límite de Contracción

Una muestra de suelo con volumen V_1 y peso W_1 y en estado completamente saturado (ver figura No. 22) estado 1, se introduce al horno a 110°C ; al evaporarse el agua se producen presiones capilares que reducen el volumen a V_2 (fig No. 22), estado 2.

El contenido de agua que tiene el suelo en ese momento, si está saturado el material, es el llamado límite de contracción, para cuantificarlo se termina de secar el suelo estado 3; (Fig. No. 22) al continuar el secado se conserva el volumen V_2 como se explicó anteriormente; se pesa la muestra, se conoce así el peso de los sólidos W_s . El peso total del agua se obtiene restando del peso total (W_1) el peso de los sólidos del estado 3 (W_c) = W_3

$$W_w = W_1 - W_s$$

Para obtener el peso del agua que saturaría el material en el estado 2, W_{w2} , al agua total W_{w1} se resta la diferencia de volúmenes inicial y final $V_1 - V_2$ multiplicado por el peso volumétrico del agua; $(W_1 - W_s) - (V_1 - V_2) \gamma_w = W_{w2}$

Dividiendo ésta cantidad de agua, W_{w2} , entre el peso de los sólidos W_s se tiene el límite de contracción.

$$L_s = \frac{(W_1 - W_s) - (V_1 - V_2) \gamma_w}{W_s}$$

La obtención del límite de contracción también se puede hacer de otra forma, usando un molde de volumen conocido V_1 .

Con una muestra de suelo saturada, se llena el molde y se pesa (W_t), restando el peso del molde W_m se tiene el peso del suelo W_1 , se seca al horno y se obtiene el volumen V_2 y el peso W_s de la muestra.

El límite de contracción se define:

$$L_s = \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2) \gamma_w}{W_s}$$

$$L_s = \frac{W_1 - W_s}{W_s} - \frac{V_1 - V_2}{W_s} \gamma_w$$

expresión igual a la anterior; es de hacer notar que

$$L_s = \omega_i - \frac{V_1 - V_2}{W_s} \gamma_w$$

donde ω_i = contenido de agua inicial de la muestra saturada.

y $\frac{V_1 - V_2}{W_s} \gamma_w$ cantidad de agua que se evapora al estar en proceso de contracción.

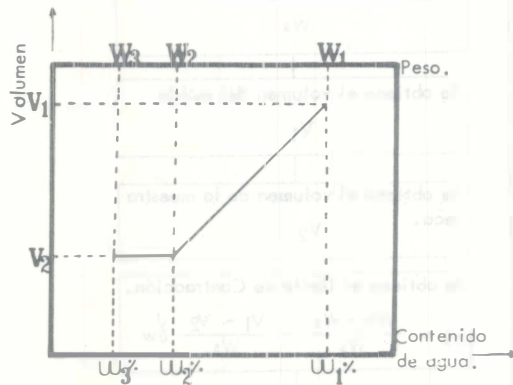
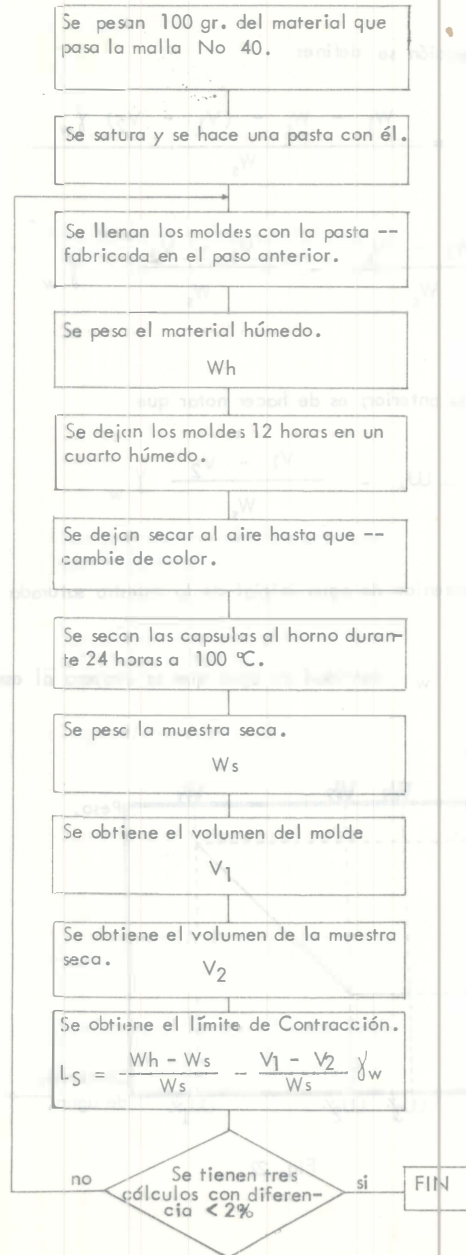


Fig. 22

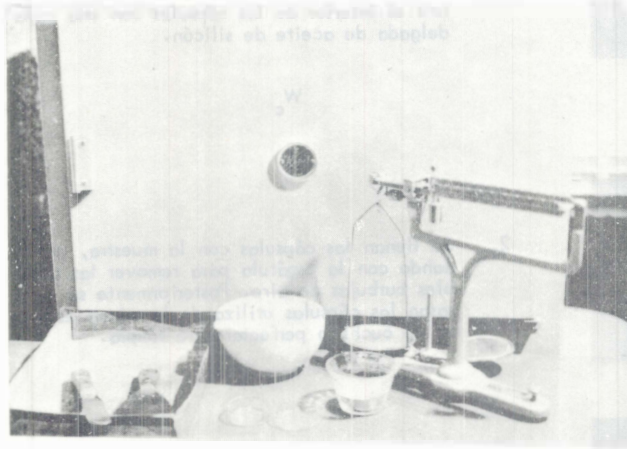
LIMITE DE CONTRACCION



OBTENCION DEL LIMITE DE CONTRACCION

Preparación de la muestra

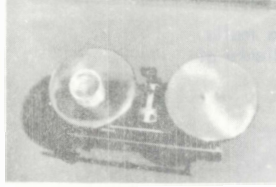
Se usan 100 gr de material que pasa la malla No. 40 con una consistencia correspondiente al límite plástico, el suelo esta saturado.



- a) Horno a temperatura cte. 100°C
- b) Mercurio
- c) Cápsulas Petri-usada como molde
- d) Charola de plástico
- e) Balanza de precisión
- f) Cápsula de porcelana
- g) Espátula

OBTENCION DEL LIMITE DE CONTRACCION

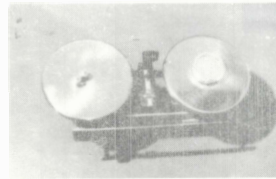
METODO DEL MERCURIO



1. Se pesan tres cápsulas Petri vacías y se anotan los valores en la columna correspondiente del registro. Posteriormente se procede a cubrir el interior de las cápsulas con una capa delgada de aceite de silicón.

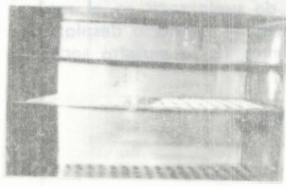
$$W_c$$


2. Se llenan las cápsulas con la muestra, presionando con la espátula para remover las posibles burbujas de aire. Posteriormente se enrasan las cápsulas utilizando la misma espátula de cuchillo perfectamente limpia.

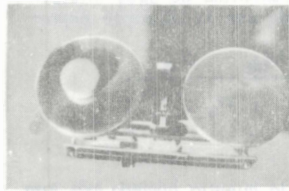


3. Se pesan las cápsulas Petri con el material.

$$W_{ch}$$



4. Se meten los especímenes a un cuarto húmedo, a las doce horas se sacan, y se dejan secar al aire hasta que cambie marcadamente su color y posteriormente se meten en el horno durante 24 horas. Todo el proceso anterior es con el fin de evitar agrietamiento en las muestras durante el secado.



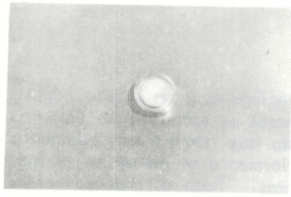
5. Al sacar las cápsulas del horno, se pesan éstas con las muestras secas y se anotan los resultados en la columna correspondiente del registro, W_{cs}

Se obtiene el peso seco de la muestra

$$W_s = W_{cs} - W_c$$

6. Para determinar el volumen interior de los moldes Petri, se llenan éstos de mercurio hasta derramarlo y se enrasa con una placa de lucita. El peso del mercurio que llena la cápsula, dividido entre su densidad (13.55 gr/cm³), es el volumen interior de la cápsula o sea el volumen de la muestra húmeda.

$$V_1$$



$$\omega_{\%} = \frac{W_{\omega}}{W_s} 100$$

$$L_s = \omega_i - \frac{V_1 - V_2}{W_s} \gamma_w$$

7. Se determina el volumen de la muestra seca, llenando un recipiente con mercurio hasta - derramarlo y posteriormente se enrasa. Se sumerge la pastilla de suelo seco en el recipiente y el volumen de mercurio desplazado representa el volumen de la muestra seca.

 V_2

8. Se determina el contenido de agua inicial que tenían el suelo con la siguiente expresión:

$$\omega_i = \frac{W_{ch} - W_{cs}}{W_s}$$

donde:

W_{ch} = Peso de la muestra húmeda más tara

W_{cs} = Peso de la muestra seca más tara

W_s = Peso de la muestra seca

ω_i = Contenido de agua inicial

9. Se determina el límite de contracción mediante la fórmula que se muestra, donde:

L_s = Límite de contracción en %

ω_i = Contenido de agua del suelo antes de contraerse.

V_1 = Volumen inicial de la pastilla

V_2 = Volumen final de la pastilla

W_s = Peso de los sólidos

METODO EMPIRICO

El límite de contracción, también puede obtenerse en función de los límites líquido plástico, ya que no es independiente de ellos. Esta relación que da una aproximación bastante aceptable, se muestra en el cuadro adjunto, en donde:

$$L_s = \frac{50 L_p}{50 + I_p}$$

L_s = Límite de contracción

L_p = Límite plástico

I_p = Índice de plasticidad (límite líquido - Límite plástico)

DURANTE LA PRUEBA DEL LIMITE DE CONTRACCION SE PUEDEN COMETER LOS SIGUIENTES ERRORES

1. La muestra puede no estar saturada, ni llenar completamente el recipiente Petri.
2. La balanza puede estar mal calibrada o puede haber equivocaciones en las pesadas.
3. Al calcular el volumen de la muestra,
4. Puede no estar suficientemente seca la muestra al salir del horno.

DETERMINACION DE LOS INDICES DE CONSISTENCIA

Los índices de consistencia ayudan a comprender y evaluar las propiedades del suelo. Estos índices están en función de los límites líquido, plástico y de contracción, y son:

$$I_p = LL - LP$$

1. El índice de plasticidad, que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$F_w = \frac{W_{100} - W_{10}}{\text{Log. } 100 - \text{Log. } 10}$$

2. El índice de fluidez " F_w ", que se define como la pendiente de la curva de fluidez y es igual a la variación del contenido de agua correspondiente a un ciclo de la escala logarítmica.

IIIc. CLASIFICACION DE SUELOS

La clasificación del suelo debe ser suficiente para inferir los problemas que pueden presentarse en una obra de tierra, permitiendo su estimación cualitativamente y de ella decidir si es posible utilizar el material en alguna forma.

A fin de establecer los problemas a que puede dar origen el uso de un suelo dado, es indispensable fijar sus características del trabajo, por lo que es necesario:

- IIIc a. Juzgar su origen geológico y proceso de formación.
- IIIc b. Conocer sus relaciones volumétricas y gravimétricas.
- IIIc c. Determinar la relación entre el tamaño de sus partículas y el porcentaje del peso total que representa cada porción de un mismo tamaño.

- IIIc d. Obtener sus límites de Atterberg o de consistencia
- IIIc e. Adoptar un criterio de clasificación en el que se tomen en cuenta las características ya expuestas.

IIIc a1. Información Geológica

De la observación detallada del lugar, deberán obtenerse las condiciones estratigráficas y la posición del nivel de aguas freáticas.

IIIc b1. Información de las propiedades volumétricas y gravimétricas

Se obtiene conociendo:

Relación de vacíos e

Porosidad n

Compacidad relativa C_r

Grado de saturación G_w

Contenido de agua W %

Pesos volumétricos γ_s

Pesos específicos S_s

Utilizándolos como se explicó anteriormente (cap. No. 2).

IIIc c1. Información Granulométrica

En el sistema SUCS la información obtenida de la curva granulométrica permite dividir el suelo en grueso y fino; y el suelo grueso a su vez en grava (G) y arena (S). En este sistema los suelos finos no

se subdividen en base al tamaño de los granos si no atendiendo a las propiedades plásticas.

IIIc el. Información de los Límites de Consistencia

A los suelos gruesos (gravas y arenas) no se les puede determinar los límites de consistencia, en cambio en los finos se utiliza para subdividirlos en función del Límite Líquido y el Índice Plástico; dividiéndolos en Limos y Arcillas, como se vé en la carta de la plasticidad (fig.23), donde cada par de estos valores clasifica un suelo.

Carta de Plasticidad

El profesor A. Casagrande atendiendo a la mineralogía, origen geológico e información física general del suelo, clasificó los finos utilizando los límites de consistencia, para lo cual diseñó la carta de plasticidad (fig.23). Casagrande encontró que la relación entre el Límite Líquido y el Índice Plástico es una función lineal que tiene por ecuación:

$$I_p = 0.73 (L_L - 20)$$

Esta función en ejes coordenados tales que la abcisa representa el Límite Líquido y la ordenada el índice plástico, corresponde una línea llamada A. En los materiales finos del subsuelo de la ciudad de México los profesores Marsal y Mazari encontraron que la línea A tiene una ecuación ligeramente diferente de la establecida por Casagrande.

$$I_p = 0.83 (L_L - 38)$$

La diferencia entre estas dos funciones se debe a que los materiales estudiados del subsuelo de la ciudad de México son extraordinariamente finos, con un origen geológico determinado y relaciones gravimétricas limitadas a una sola región; y los utilizados por Casagrande para determinar la línea A son representativos de muchos orígenes geológicos y con diferentes relaciones gravimétricas.

La línea A de Casagrande divide el plano de ejes coordenados en dos partes y en términos generales en la de abajo se definen los Limos y en las de arriba las Arcillas.

En los ejes coordenados establecidos por la línea A, Casagrande fijó como lindero entre los materiales de alta plasticidad y de baja plasticidad la línea de $L_L = 50\%$ denominada línea B y finalmente se ha establecido otra frontera en el $L_L = 30\%$ que separa, dentro de los materiales de baja plasticidad, aquellos que tienen muy baja cohesión.

Al comparar suelos de un mismo límite líquido pero de diferente índice plástico se nota que si se aumenta, aumenta también la dureza y la resistencia del suelo seco, bajando en cambio la permeabilidad.

En las figuras (23, 24) se muestra la clasificación de los suelos finos en el sistema SUCS.

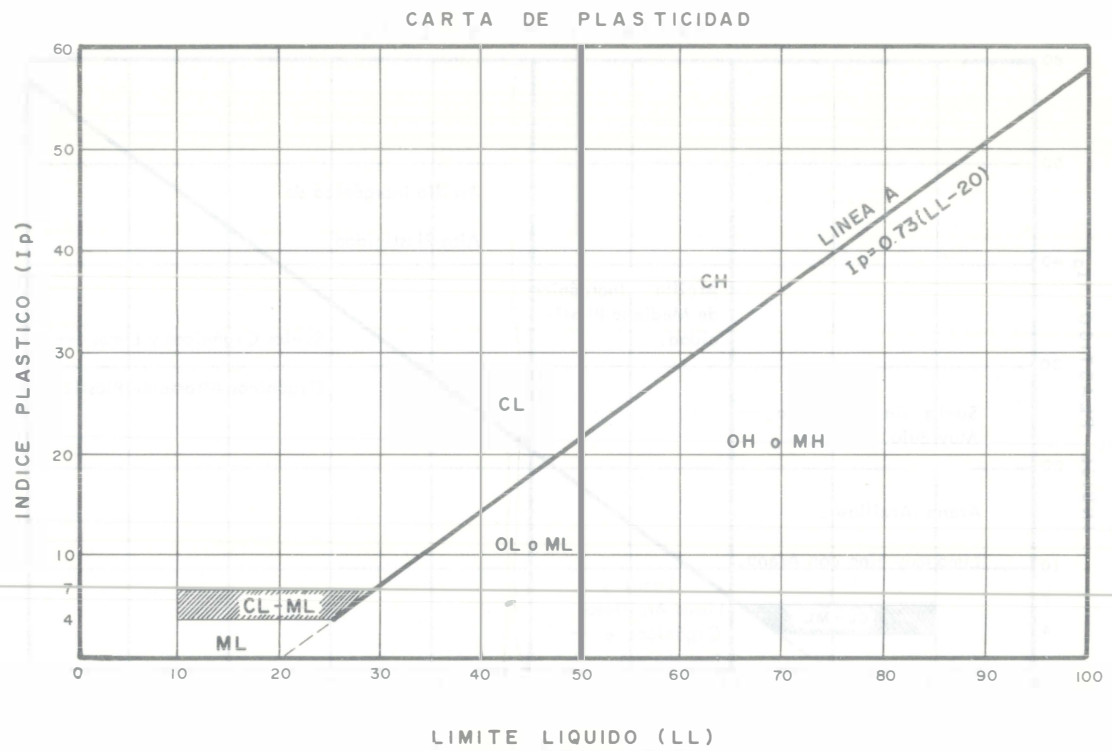


Fig. 23

CARTA DE PLASTICIDAD

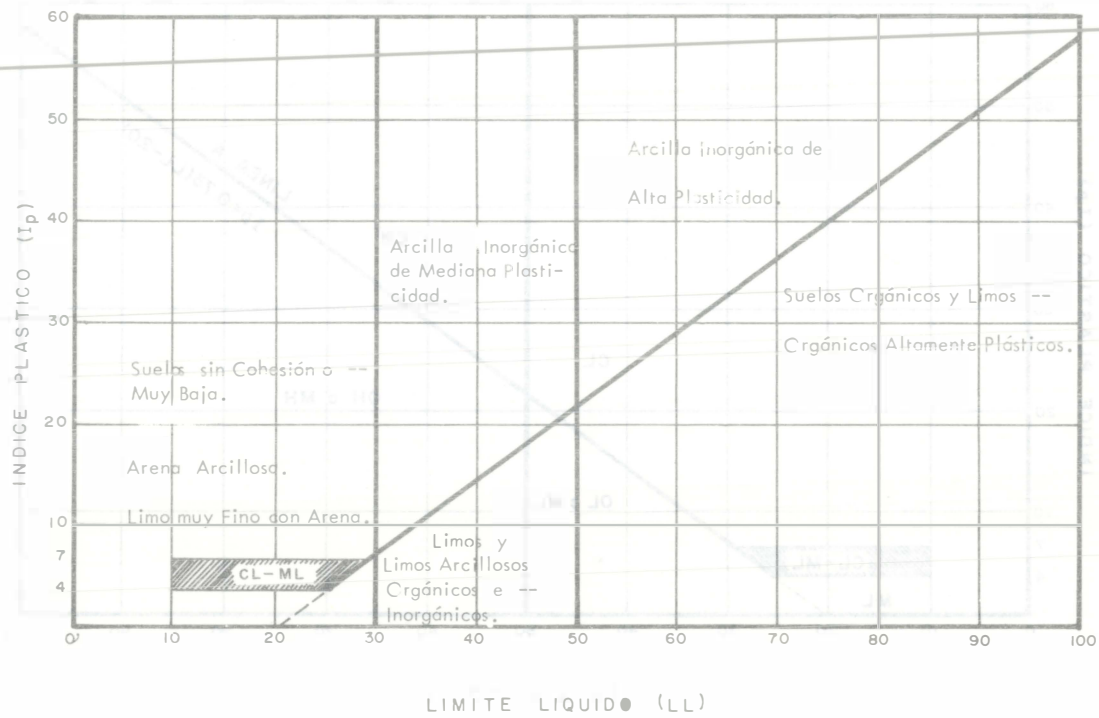


Fig. 24

La clasificación del suelo debe hacerse en dos partes, la preliminar en el campo utilizando técnicas someras que se explicarán a continuación, la definitiva en el laboratorio con los resultados de las pruebas ya establecidas con anterioridad en este trabajo.

Clasificación preliminar

En el campo se determina de un modo aproximado el material que es retenido en la malla No. 200 (0.074 mm), las partículas más pequeñas apreciables a simple vista; este material es el grueso y se subdivide en arena y grava dependiendo de que más de la mitad de él pase por la malla No. 4 (4.76 mm) el que no pase es grava.

El sistema SUCS, necesita para la clasificación de los suelos finos en el campo la obtención de la dilatancia, resistencia en estado seco y la tenacidad del suelo que se analiza.

Dilatancia

Se obtiene preparando la muestra con la parte del suelo que pasa la malla No. 40 en un volumen de 10^3 cm³ agregando el agua necesaria para que el suelo este suave pero no pegajoso, la pastilla así formada se coloca en la palma de una mano y se golpea de canto con la otra, procurando que salga agua a la superficie de la pastilla; el valor de la reacción del suelo al golpe es su dilatancia, e indicará la clase de suelo de que se trate dependiendo de que la dilatancia sea rápida, - lenta muy lenta o nula, la clasificación se obtiene de la carta del SUCS fig.30 (pág. 226) y de la figura 25 (pág. 220)

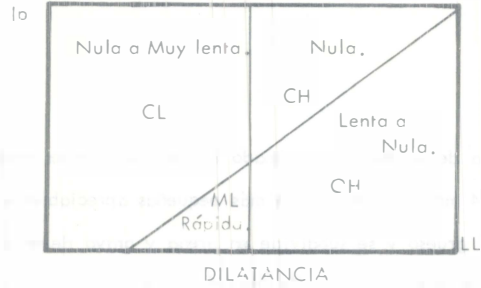


Fig. 25

Resistencia en estado seco

Se realiza también con material que ha pasado la malla No. 40, moldeándolo con agua hasta formar una masilla que se deja secar al sol, cuando está interiormente seca se rompe y desmorona entre los dedos; la resistencia nula indicará que el material es un limo de baja plasticidad, si es muy alta será una arcilla de alta plasticidad. La resistencia varía de nula a ligera, de ligera a media, de media a alta y de alta a muy alta, fijando tipos de suelos como se observa en la fig 26 pág.222 adjunta.



9 -

Tenacidad

Se determina en una pastilla de suelo que ha pasado la malla No. 40 con la cantidad de agua suficiente para que al formar cilindros de 3 mm de diámetro este se agriete (como en el Límite Plástico), con esta humedad se amasa nuevamente y se repite el procedimiento formando cilindros hasta llegar al agrietamiento; se ejecuta nuevamente la operación tantas veces como sea necesario hasta que no se puedan formar cilindros.

La tenacidad varía de nula - ligera - media y alta, en la figura adjunta y en la carta SUCS (fig. 30, pág. 226) se clasifica un suelo dependiendo de la tenacidad que el

tenga, por ejemplo una alta tenacidad es representativa de una arcilla de alta plasticidad.

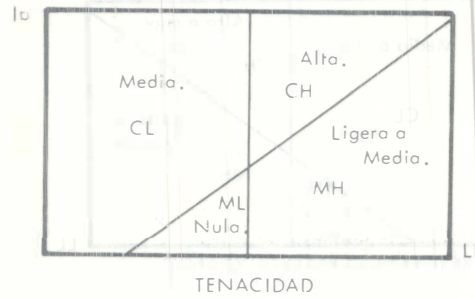


Fig. 27

La carta de clasificación SUCS permite identificar los suelos conforme las relaciones del tamaño de sus partículas y relaciones entre ellas y el agua, falta todavía para una clasificación completa establecer el origen geológico, el proceso de formación y las relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo en estudio, los cuales no se incluyen en este trabajo porque no se han establecido.

La variación de las características de trabajo del suelo con las empleadas para su clasificación se resumen en la siguiente forma:

- a) Si los suelos son arenas o arcillas tendrán como extremos los elementos que se establecieron en la **Tabla 7** (Páa. 115-116) y que se reproducen aquí como resumen.

<u>Características</u>	<u>Arenas</u>	<u>Arcillas</u>
Tamaño del grano	Grande	Pequeño
Relación de vacíos	Baja	Alta
Límites de Atterberg	No	Si
Cohesión	Nula	Alta
Fricción interna	Alta	Nula
Plasticidad	No	Si
Compresibilidad	Baja	Alta
Se deforma	Rápidamente	Lentamente

- b) Variación de las características en los suelos finos

<u>Características</u>	$\frac{L}{I_p}$ constante creciente	$\frac{I}{LL}$ constante creciente
Compresibilidad	Práct. cte.	Crece
Permeabilidad	Decrece	Crece
Cambio volumétrico	Decrece	--
Resistencia en estado seco	Crece	Decrece
Tenacidad	Crece	Decrece
Dilatancia	--	--

Tabla 12

III f Interpretación de la información

Con los datos obtenidos en el campo y en el Laboratorio se clasifica el suelo en el sistema SUCS como se muestra a continuación.

		Símbolo	Nombre	
Suelos ----- Gruesos Más del 50 % no pasa la malla # 200	Más del 50% se retiene en la malla # 4	Grava Limpia Menos del 5 % pasa la malla # 200.	GW Grava Bien Graduada. GP Grava Mal Graduada.	
		Grava con Finos Más del 12 % pasa la malla # 200.	GM Grava Limosa. GC Grava Arcillosa.	
			Más del 50 % pasa la malla # 4	Arena Limpia Menos del 5 % pasa la malla # 200.
		Arena con Finos Más del 12 % pasa la malla # 200.		SM Arena Limosa. SC Arena Arcillosa.
	Suelos ----- Finos Más del 50 % pasa la malla # 200	LL < 50 %	ML Limo de Baja Compresibilidad.	
			CL Arcilla de Baja Compresibilidad. CL Suelo Orgánico de Baja Compresibilidad.	
			LL > 50 %	MH Limo de Alta Compresibilidad. CH Arcillas de Alta Compresibilidad. CH Suelo Orgánico de Alta Compresibilidad.
		Suelos Muy Orgánicos (Turba)		P _t

Fig. 28

IIIel. CRITERIO DE CLASIFICACION

No existe un sistema de clasificación de suelos establecido que tome en cuenta las cuatro características mencionadas anteriormente, por lo que es necesario al hacer la clasificación del suelo, establecer independientemente su origen, proceso de formación y las relaciones volumétricas y gravimétricas que tiene en el sitio. En cuanto a las relaciones de tamaño y de consistencia se han utilizado para formar diversos sistemas de clasificación. El más usado actualmente es el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo) propuesto por A. Casagrande en 1942. Este sistema proporciona una simbología que facilita y define con precisión la descripción del suelo en base a la granulometría y los límites de consistencia, figs. 2º y 3º.

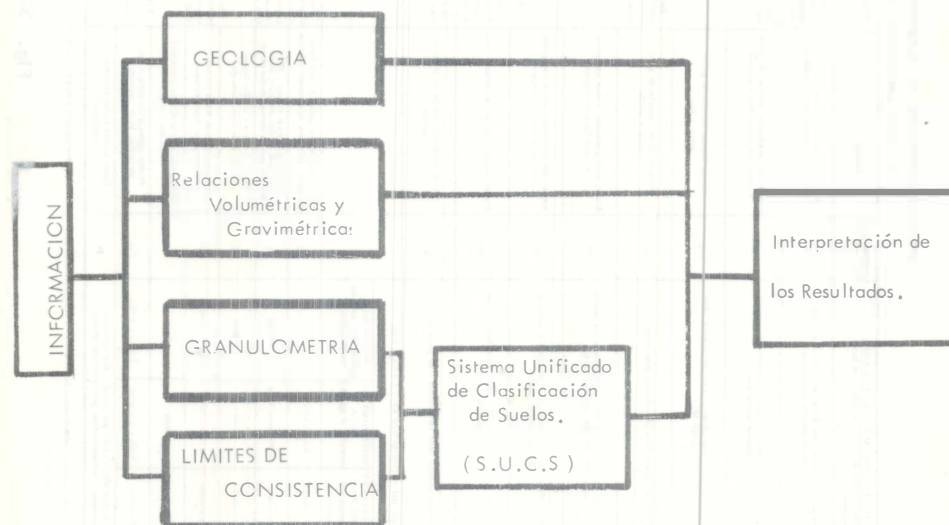


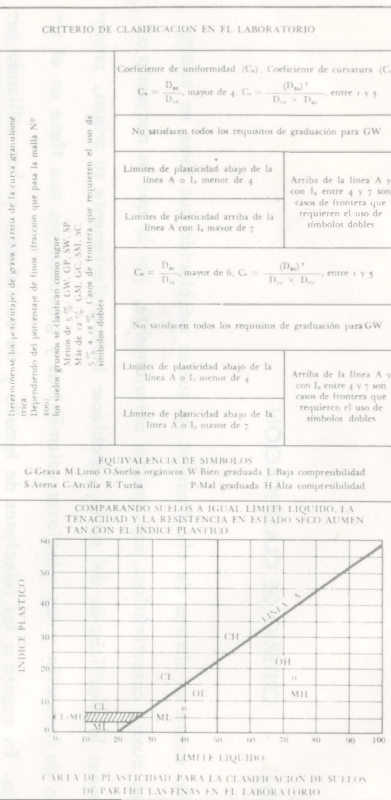
Fig. 29

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIONES DE SUELOS
(INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION)

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Se excluyen las partículas mayores de 7.6 cm (3 pulg.) y se basan las fracciones en pesos estimados)		SÍMBOLOS DEL GRUPO (*)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTICULAS GRANULOSAS Más de la mitad del material es retenido por la malla N° 60 y menos de 5% pasa la malla N° 200. Para clasificación de suelos de este tipo, véase el capítulo 10.	GRAVAS Más de 60% de las partículas gruesas es retenida en la malla N° 10 y menos de 5% pasa la malla N° 4.	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con pocos finos o ninguno	Dese el nombre típico, indiquese los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la su superficie y dureza de las partículas gruesas, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. EJEMPLO Arenas limosas con grava, con 20% de grava de partículas duras, angulosas y de 1/8 cm de tamaño máximo, arena gruesa o fina de partículas redondeadas o subangulosas, alrededor de 15% de finos finos plásticos de baja resistencia en estado seco, compacta y húmeda en el lugar, arena aluvial. (SM)	Coeficiente de uniformidad (Cu), Coeficiente de curvatura (Cc) $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 4, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, entre 1 y 3
	ARENAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con pocos finos o ninguno		Si no satisfacen todos los requisitos de graduación para GW
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material es retenido por la malla N° 60 y menos de 5% pasa la malla N° 200. Para clasificación de suelos de este tipo, véase el capítulo 10.	ARENAS LIMPAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Dese el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre la estructura, grado de acción, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limos arcillosos, café, ligeramente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, número de agua por volumen de raíces, firme y seco en el lugar, limo. (ML)	Limites de plasticidad abajo de la línea A o L, menor de 4
	ARENAS LIMPAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		Limites de plasticidad arriba de la línea A con L, mayor de 7
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material es retenido por la malla N° 60 y menos de 5% pasa la malla N° 200. Para clasificación de suelos de este tipo, véase el capítulo 10.	ARENAS LIMPAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o ninguno	Dese el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre la estructura, grado de acción, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limos arcillosos, café, ligeramente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, número de agua por volumen de raíces, firme y seco en el lugar, limo. (ML)	Coeficiente de uniformidad (Cu), Coeficiente de curvatura (Cc) $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 6, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, entre 1 y 3
	ARENAS LIMPAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con pocos finos o ninguno		Si no satisfacen todos los requisitos de graduación para GW
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material es retenido por la malla N° 60 y menos de 5% pasa la malla N° 200. Para clasificación de suelos de este tipo, véase el capítulo 10.	ARENAS LIMPAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Dese el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre la estructura, grado de acción, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limos arcillosos, café, ligeramente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, número de agua por volumen de raíces, firme y seco en el lugar, limo. (ML)	Limites de plasticidad abajo de la línea A o L, menor de 4
	ARENAS LIMPAS Para clasificación de este tipo, véase el capítulo 10.	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		Limites de plasticidad arriba de la línea A con L, mayor de 7
PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 60					EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G-Grava M-Limo O-Suelos orgánicos W-Bien graduada L-Baja compresibilidad S-Arena C-Arcilla R-Turba P-Mal graduada H-Alta compresibilidad
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material es retenido por la malla N° 60 y menos de 5% pasa la malla N° 200. Para clasificación de suelos de este tipo, véase el capítulo 10.	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (a tracción o al rompimiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)	TENACIDAD (consistencia cruda del límite plástico)	Dese el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre la estructura, grado de acción, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limos arcillosos, café, ligeramente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, número de agua por volumen de raíces, firme y seco en el lugar, limo. (ML)	COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO
	Nula o ligera	Rápida a lenta	Nula		
Media o alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Dese el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre la estructura, grado de acción, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limos arcillosos, café, ligeramente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, número de agua por volumen de raíces, firme y seco en el lugar, limo. (ML)	CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO
Ligera a media	Lenta	Ligera	OL		
Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Dese el nombre típico, indiquese el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguese información sobre la estructura, grado de acción, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limos arcillosos, café, ligeramente plásticos, porcentaje reducido de arena fina, número de agua por volumen de raíces, firme y seco en el lugar, limo. (ML)	CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO
Muy alta	Nula	Alta	CH		
Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH		
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material es retenido por la malla N° 60 y menos de 5% pasa la malla N° 200. Para clasificación de suelos de este tipo, véase el capítulo 10.	Facilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa	Pr	Turba y otros suelos altamente orgánicos		

* Entre comillas se muestra. Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan combinando dos símbolos. Por ejemplo, GW-GC, mezcla de grava y arena bien graduada con cemento arcillosa.
 † Todos los tamaños de las mallas son los U.S. Standard.

Fig. 30



CONCLUSION.-

En la explicación de como realizar las diferentes pruebas comprendidas en este trabajo, y de la relación de los posibles errores que se anotan en cada prueba, se concluye que es muy importante tener atención cuidadosa al proceso de la prueba y a todos sus detalles.

RECOMENDACION.-

Es deseo de los que colaboraron en este trabajo que sirva como guía para la obtención de características de los suelos por medio de pruebas y se considere solamente como una contribución al proceso de preparación del Ingeniero Civil.

BIBLIO

1. Apuntes de Mecánica de Suelos (sin editar) Ing. Francisco Zamora
2. Mecánica de Suelos Tomo I. Ings. Eulalio Juárez B., Alfonso Rico R.
3. Principio de Geología y Geotecnia para Ingenieros. D.P. Krinine, WR Judd.
4. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Terzaghi Ralph B. Peck
5. The Mechanics of Engineering Soil. Capper and Cassie
6. Foundation Analysis and Design. J. Bowles
7. Theoretical Soil Mechanics. Terzaghi
8. Fundamentals of Soil Mechanics. W.D. Taylor
9. Soil Mechanics. T. William Cambe and Robert V. Whitman
10. Soil Mechanics Foundation and Earth Structures. Tschebotarioff
11. Clasification and Identification of Soils, by Arthur Casagrande

12

604621



13

CAJA
100
APUNTES

14

UNAM
(G.) FACULTAD DE INGENIERIA

604621



604621