

RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS



Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



Organización de la clase:

- ✓ INTRODUCCIÓN
- ✓ RELACIONES DE PESOS Y VOLÚMENES
- ✓ RELACIONES FUNDAMENTALES
- ✓ RELACIONES DE VACÍOS Y POROSIDAD
- ✓ HUMEDAD (ω), GRADO DE SATURACIÓN (S) y CONTENIDO DE AIRE (A).
- ✓ FACTORES QUE AFECTAN A_e y γ
- ✓ VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BÁSICAS
- ✓ ENSAYOS DE LABORATORIO
- ✓ EJEMPLOS PRACTICOS

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



INTRODUCCIÓN

El suelo es un material constituido por el esqueleto de partículas sólidas rodeado por espacios libres (vacíos), en general ocupados por agua y aire .

En el suelo se distinguen tres fases :

Sólida: formada por partículas minerales del suelo, incluyendo la Capa sólida adsorbida (*).

Líquida : generalmente agua (específicamente agua libre), aunque pueden existir otros líquidos de menor significación.

Gaseosa: comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases (vapores de sulfuro, anhídridos carbónicos, etc)

Geotecnia I
26/03/2014

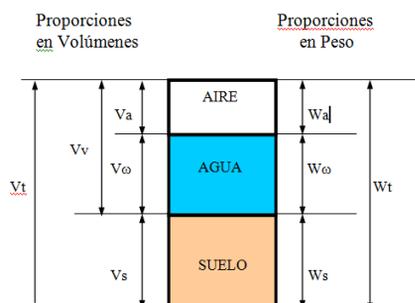


Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



INTRODUCCIÓN

Las fases **líquida y gaseosa** conforman el Volumen de Vacíos
La fase **sólida** constituye el Volumen de Sólidos.



Un suelo está totalmente saturado, cuando todos sus vacíos están ocupados únicamente por agua; en estas circunstancias consta, como caso particular, de sólo dos fases: la sólida y la líquida.

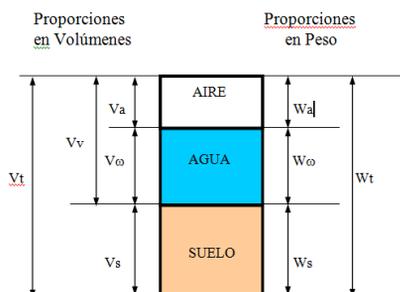
Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



INTRODUCCIÓN



$$\begin{aligned} V_v &= V_w + V_a \\ V_t &= V_v + V_s \\ V_t &= V_w + V_a + V_s \end{aligned}$$

Proporciones en Volumen

- V_t : volumen total de la muestra del suelo.
(volumen de la masa)
- V_s : volumen de la fase sólida de la muestra
(volumen de sólidos)
- V_w : volumen de la fase líquida
(volumen de agua)
- V_a : volumen de la fase gaseosa
(volumen de aire)
- V_v : volumen de vacíos de la muestra de suelo
(volumen de vacíos)

Proporciones en Peso

- W_t : Peso Total de la muestra de suelo.
(Peso de la Masa).
- W_s : Peso de la fase sólida de la muestra.
- W_w : Peso de la fase líquida
(peso del agua).
- W_a : Peso de la fase gaseosa,
(considerado como nulo en Geotecnia)

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

RELACIONES DE PESOS Y VOLUMENES

Pesos Específicos

Se define al peso específico relativo como la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua destilada a 4º C sujeta a una atmósfera de presión.

γ_o : Peso específico del agua destilada, a 4º C. y a la presión atmosférica correspondiente al nivel del mar. $\gamma_o = 1,000 \text{ gr/cm}^3$

γ_w : Peso específico del agua en condiciones reales de trabajo, su valor difiere un poco del γ_o , en la práctica se toma igual que γ_o .

γ_s : Peso específico, también llamado peso volumétrico de los sólidos.

para materiales en Geotecnia	
Arenas	Arcillas
2,7	2,5 a 2,9

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

RELACIONES DE PESOS Y VOLUMENES

Pesos Específicos

para algunos suelos	
Arena de cuarzo	2,64 – 2,66
Limo	2,67 – 2,73
Arcillas	2,70 - 2,90
Yeso	2,60 - 2,75
Loes	2,65 – 2,73
Turba	1,30 – 1,90

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



RELACIONES DE PESOS Y VOLUMENES

Densidad o Peso por Unidad de Volumen.

Con una humedad diferente a la correspondiente a su saturación

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + V_w + V_a}{V_s + V_v} = \frac{W_s + V_w}{V_s + V_v}$$

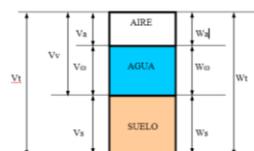
$$W_a = 0$$

Para $w = w_{sat}$ ($V_a = 0$) (saturado)

$$\gamma_{at} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + V_w}{V_s + V_v}$$

Cuando $w = 0$ (seco)

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V_v}$$



$$\gamma = \frac{W_t}{V_t}$$



$$\gamma_d < \gamma_h < \gamma_{sat}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



RELACIONES DE PESOS Y VOLUMENES

Densidad o Peso por Unidad de Volumen de los Suelos Sumergidos

Los cuerpos sumergidos en agua (en este caso los suelos) pesan menos que en el aire, a causa del efecto del empuje dado por la ley de Arquímedes.

$$\text{Peso sumergido} = W_s - V_s \cdot \gamma_w$$

$$\gamma' = \frac{W_s - V_s \cdot \gamma_w}{V_t} \quad \text{Sumando y restando } (V_w \cdot \gamma_w) \quad \rightarrow \quad \gamma' = \frac{W_s - V_s \cdot \gamma_w + V_w \cdot \gamma_w - V_w \cdot \gamma_w}{V_t}$$

$$\rightarrow \gamma' = \frac{(W_s + V_w) - (V_s + V_w) \cdot \gamma_w}{V_t} \quad \rightarrow \quad \gamma' = \frac{W_s + V_w}{V_t} - \frac{(V_s + V_w) \cdot \gamma_w}{V_t}$$

$$\gamma' = \gamma_{at} - \gamma_w$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



9

RELACIONES FUNDAMENTALES

Relaciones de vacíos "e" y porosidad "n"

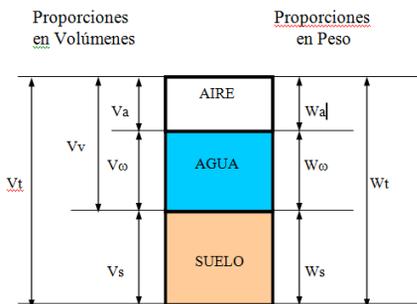
Ambos parámetros representan la proporción de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad n = \frac{V_v}{V_t}$$

Ambas propiedades, e y n son parámetros adimensionales, y con frecuencia n se expresa en porcentaje.

"e" vincula el volumen de vacíos con una magnitud constante, para un determinado tipo de suelo, en el tiempo.

"n" lo hace con un valor que varía en el tiempo (por cargas, desecamiento, o humectación).



$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V_t - V_v} \quad \rightarrow \quad e = \frac{V_v}{1 - \frac{V_v}{V_t}} \quad \rightarrow \quad e = \frac{n}{1 - n} \quad n = \frac{e}{1 + e}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



RELACIONES FUNDAMENTALES

“e” y “n” en suelos granulares y cohesivos



Suelo granular ideal de partículas esféricas, ordenadas en un arreglo cúbico con puntos de contacto por esfera.

máximo $e = 0,91$ máximo $n = 47,6\%$



Suelo granular ideal de partículas esféricas, ordenadas en un arreglo rómbico doce puntos de contacto.

mínimo $e = 0,35$ mínimo $n = 26,0\%$

Los valores extremos que se obtienen en la práctica:

	e	n
arenas bien graduadas	0,43 - 0,67	30 % - 40 %
arenas de tamaño uniforme	0,51 - 0,85	34 % - 46 %
Suelos cohesivos	0,55 - 5,00	35 % - 85 %

actividad electroquímica asociada con las partículas de mineral de arcilla

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



RELACIONES FUNDAMENTALES

“e” y “n” en suelos granulares → Densidad relativa

Es claro que el conocimiento de la relación de vacíos de un suelo en su estado natural no proporciona en sí mismo una información suficiente para establecer si el suelo se encuentra en su estado suelto o denso .

Esta información puede obtenerse sólo si la relación de vacíos e in situ se compara con la relación de vacíos máxima y mínima e_{max} y e_{min} que pueden obtenerse con ese suelo.

Aquí aparece la Densidad Relativa D_r del depósito de suelo, la cual se define como:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad 0 \leq D_r \leq 1.$$

Valores bajos de D_r indican estado suelto , valores altos indican estado denso .

Otra forma de expresar la Densidad Relativa es haciendo uso de los pesos por unidad de volumen secos en estado natural , en estado suelto , y en estado de máxima densidad, como se indica a continuación :

$$D_r = \frac{\left[\frac{\gamma_s}{\gamma_{s, min}} - 1 \right]}{\left[\frac{\gamma_s}{\gamma_{s, min}} - 1 \right]} \frac{\gamma_{s, max}}{\gamma_s}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



RELACIONES FUNDAMENTALES

Humedad(w), Grado de saturación (S) y Contenido de aire(A).

Contenido de Agua o la Humedad de un suelo es la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de la fase sólida.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

La proporción de vacíos ocupada por el agua se expresa en términos del Grado de Saturación es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$$

El contenido de aire, Grado de Aireación, expresa la proporción de aire presente en un elemento de suelo . Es una magnitud de escasa importancia práctica respecto a las anteriores.

$$A(\%) = \frac{V_a}{V_v} \cdot 100$$

Geotecnia I
26/03/2014

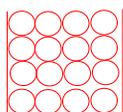


Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



RELACIONES FUNDAMENTALES

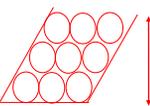
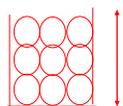
Factores que afectan a "e" y "γ" .



"γ" y "e" no dependen del diámetro de las partículas Siempre que sean uniformes y conserven la misma disposición.

$$e_1 = e_2 \quad \text{y} \quad \gamma_1 = \gamma_2$$

En los dos casos , el V_s es el mismo y el V_t también.



e y γ son función de la disposición de las partículas.

$$e_1 > e_2 \quad \text{y} \quad \gamma_1 < \gamma_2$$

Dado que para la segunda disposición, con un mismo V_s se reducen V_v y V_t .



e y γ son función de la graduación en el tamaño de las partículas .

$$e_1 > e_2 \quad \text{y} \quad \gamma_1 < \gamma_2$$

Pues el V_t se mantiene constante y en el segundo caso, el V_v es menor .

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos no saturados

Peso de las Partículas Sólidas, en función de W_t y ω

$$W_s = \frac{W_t}{1 + \omega}$$

Donde ω está dado en forma decimal. Esta expresión es válida para cualquier tenor de humedad; pero si el suelo está saturado se usa la expresión siguiente.

$$W_s = \frac{W_t}{1 + \omega_s}$$

Relación de Vacíos y Porosidad

En función de γ_s y γ_d

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$$

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$$

En función de γ_s ; γ y ω .

$$n = \frac{\gamma - \gamma_d}{(1 + \omega)\gamma_d}$$

$$e = \frac{(1 + \omega)\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$$

Geotecnia I
29/03/2009



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos no saturados

Grado de Saturación

En función de γ_d ; γ_s y ω .

$$S = \frac{\gamma_d \cdot \gamma_s \cdot \omega}{(\gamma_s - \gamma_d) \cdot \gamma_d}$$

Para obtener S (%), ω se debe expresar en %

En función de γ ; γ_d ; y γ_s

$$S(\%) = \frac{(\gamma - \gamma_d) \cdot \gamma_s}{(\gamma_s - \gamma_d) \cdot \gamma_d}$$

En función de γ ; γ_s ; y ω .

$$S = \frac{\gamma \cdot \gamma_s \cdot \omega}{(1 + \omega) \cdot (\gamma_s - \gamma_d) \cdot \gamma_d} \cdot 100$$

La humedad debe expresarse en decimal.

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos no saturados

Densidad Relativa .

En función de γ_d .

$$D_r = \left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d\min}}{\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}} \right] \frac{\gamma_{d\max}}{\gamma_d}$$

En Funcion de "e"

$$D_r(\%) = \left[\frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \right] \times 100$$

Geotecnia I
26/03/2014



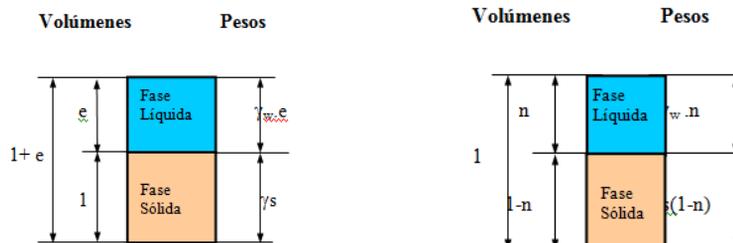
Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos **saturados**

Relación de Vacíos y Porosidad



está formado a partir de la adopción del valor unidad para el volumen de sólidos, es decir $V_s = 1$

se tomó como unitario el volumen de la masa total $V_t = 1$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos saturados

Relación de Vacíos y Porosidad

En función de γ_{sat} y γ_s .

Se conoce que :

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \frac{W_s}{V_s} \\ \gamma_{at} &= \frac{W_t}{V_t} \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} V_s = 1 \\ V_t = 1 + e \\ W_t = W_w + W_s \\ W_t = \gamma_w \cdot e + 1 \cdot \gamma_s \end{array} \rightarrow \left. \begin{aligned} \gamma &= \gamma_s \\ \gamma_{at} &= \frac{\gamma_w \cdot e + \gamma_s}{1 + e} \end{aligned} \right\}$$

$$(1 + e) \cdot \gamma_{at} = \gamma_w \cdot e + \gamma_s \rightarrow \gamma_{at} + e \cdot \gamma_{at} = \gamma_w \cdot e + \gamma_s \rightarrow e \cdot (\gamma_{at} - \gamma_w) = \gamma_s - \gamma_{at}$$

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_{at}}{\gamma_{at} - \gamma_w}$$

$$n = \frac{\gamma_{at} - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos saturados

Relación de Vacíos y Porosidad

En función de ω_{sat} y γ_s

$$e = \frac{\omega_{sat} \cdot \gamma_s}{\gamma_w - \gamma_{sat}}$$

En función de γ_{sat} y γ_d

$$e = \frac{\gamma_{sat} \cdot \gamma_d}{\gamma_s - \gamma_{sat} \cdot \gamma_d}$$

En función de γ_d y ω_{sat}

$$e = \frac{\gamma_d \cdot \omega_{sat}}{\gamma_s - \gamma_d \cdot \omega_{sat}}$$

En función de γ_{sat} y ω_{sat}

$$e = \frac{\gamma_{sat} \cdot \omega_{sat}}{\omega_{sat} (\gamma_s - \gamma_{sat}) + \gamma_s}$$

En función de γ_s y γ_d

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$$

$$n = \frac{\gamma_d \cdot \omega_{sat}}{\gamma_s \cdot \omega_{sat} + \gamma_s}$$

$$n = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_d}{\gamma_s}$$

$$n = \frac{\gamma_d \cdot \omega_{sat}}{\gamma_s}$$

$$n = \frac{\gamma_{sat} \cdot \omega_{sat}}{(1 + \omega_{sat}) \cdot \gamma_s}$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



20

VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos **saturados**

Peso Específico

En función de γ_{sat} y γ_d

$$\gamma_s = \frac{\gamma_d \cdot \gamma_{sat}}{\gamma_d - \gamma'_{at} + \gamma'_s}$$

En función de γ_d y ω_{sat}

$$\gamma_s = \frac{\gamma_d \cdot \gamma'_s}{\gamma'_s - \gamma'_s \cdot \omega_{sat}}$$

En función de γ_{sat} y ω_{sat}

$$\gamma_s = \frac{\gamma_{at} \cdot \gamma'_s}{\gamma'_s + (\gamma'_s - \gamma'_{at}) \cdot \omega_{sat}}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos **saturados**

Peso por Unidad de Volumen Seco.

En función de γ_s y γ_{sat}

$$\gamma'_s = \frac{(\gamma_{sat} - \gamma'_s) \cdot \gamma_s}{\gamma_s - \gamma'_s}$$

En función de γ_s y ω_{sat}

$$\gamma'_s = \frac{\gamma_s \cdot \gamma'_s}{\gamma'_s + \gamma'_s \cdot \omega_{sat}}$$

En función de γ_{sat} y ω_{sat}

$$\gamma'_s = \frac{\gamma_{at}}{1 + \omega_{sat}}$$

Esta expresión es válida para cualquier tenor de humedad

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos **saturados**

Contenido de Agua

En función de γ_s y γ_d

$$\omega_{wt} = \frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_d} \cdot \gamma_w$$

En función de γ_s y γ_{sat}

$$\omega_{wt} = \frac{(\gamma - \gamma_{at}) \cdot \gamma_w}{\gamma_d (\gamma_{at} - \gamma_d)}$$

En función de γ_d y γ_{sat}

$$\omega_{wt} = \frac{\gamma_{at} - \gamma_d}{\gamma_d}$$

Esta expresión es válida para cualquier tenor de humedad

Formulas mas útiles referidas a suelos no saturados

Contenido de Agua

$$\omega_{wt} = \frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_d}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos **Suelos Sumergidos**

Peso por Unidad de Volumen Sumergido

El peso por unidad de volumen sumergido

$$\gamma' = \gamma_{at} - \gamma_w$$

En función de γ_s y γ_d

$$\gamma' = \gamma_s \frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_d}$$

En función de γ_s y ω_{sat}

$$\gamma' = \gamma_s \frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_d \omega_{sat} + \gamma_d}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



VINCULACIONES ENTRE LAS RELACIONES BASICAS

Formulas mas útiles referidas a suelos **Suelos Sumergidos**

Peso por Unidad de Volumen Sumergido

En función de γ_d y e_{sat} .

$$\gamma' = \gamma_s(1 + e_{sat}) - \gamma_w$$

los suelos se consideran saturados $\rightarrow \gamma = \frac{\text{Peso de las partículas sólidas} - \text{Empuje}}{\text{Volumen total}}$

$$\gamma = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} \rightarrow \gamma_s = \frac{W_s}{V_t} = \frac{W_s}{V_v + V_s} = \frac{\gamma}{1 + e} \rightarrow \gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s} \cdot \gamma_s$$

$$1 + e = \frac{\gamma}{\gamma_s}$$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



25

Determinación de algunos parámetros:

- 1) Humedad de un suelo
- 2) Peso específico de las partículas de un suelo (γ_s)
 - 1) Método de desplazamiento
 - 2) Método del picnómetro
- 3) Densidad de un suelo en laboratorio (γ_h y/o γ_d)
 - 1) Sumersión en mercurio
 - 2) Sumersión en agua
- 4) Densidad de un suelo in-situ (γ_d in situ)
 - 1) Método del cono de arena
 - 2) Método del anillo de Oroville
- 5) Relación de vacíos
 - 1) Relación de vacíos máxima (e_{max})
 - 2) Relación de vacíos mínima (e_{min})

En geotecnia se define el peso específico como el peso por unidad de volumen, mientras que la densidad de un suelo se toma como la relación entre la masa y la unidad de volumen.

Geotecnia I
26/03/2014

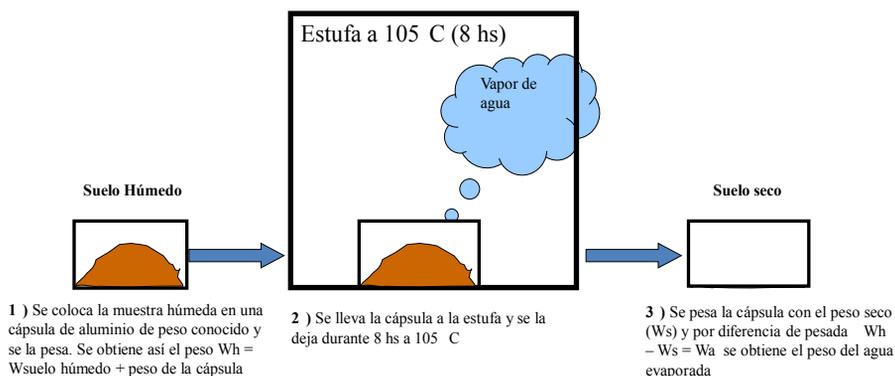


Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



1) Humedad del suelo

La humedad del suelo representa en forma porcentual, la cantidad de agua que tiene una masa de suelos comparada con el peso seco de la misma.



Porcentaje de humedad $\rightarrow w(\%) = \frac{W_a}{W_s} 100$



Muestras de suelo antes del secado



Muestras de suelo posterior al secado

2) Peso específico de las partículas de un suelo

1) Método de desplazamiento

Se emplea para determinar el peso específico de gravas gruesas y rodados. Se utiliza un recipiente cilíndrico con un tubo de desborde. Se llena el recipiente con agua hasta que desborde por el tubo. Una vez que se estabiliza el nivel, se tapona el tubo.

Las partículas de la muestra deben estar lavadas y saturadas para desalojar el aire de los poros, para lo cual se las sumerge durante 24 hs en agua; se las retira, se seca su superficie con un paño y se determinan su peso saturado a superficie seca (W_{sat})

Se coloca la muestra en el recipiente, se quita el tapón del tubo de desborde y se recoge el agua en una probeta graduada que nos dará el volumen del agua desplazada (V_w). Este volumen incluye el volumen del agua contenido en los poros de las partículas y por lo tanto deberá ser descontado al efectuar los cálculos.

Finalmente, se retira la muestra y se seca en horno para determinar el peso seco (W_s).



Donde:

W_s = peso de la muestra secada en horno

W_{sat} = peso de las partículas saturadas a superficie seca

V_w = volumen de agua desplazada

γ_w = peso específico del agua

29

2) Peso específico de las partículas de un suelo

1) Método de desplazamiento (gravas)



- 1) Pesamos la muestra a utilizar saturada a superficie seca (W_{sat})
- 2) Llenado del recipiente hasta el desborde
- 3) Muestra colocada en el recipiente
- 4) Agua que se recoge por desborde (V_w)
- 5) Secamos la muestra en el horno (W_s)



2) Peso específico de las partículas de un suelo

1) Método de desplazamiento (arenas)



- 1) Pesamos la muestra a utilizar saturada a superficie seca (W_{sat})
- 2) Llenado la probeta con agua, conocemos el volumen
- 3) Muestra colocada en la probeta
- 4) Por diferencia de lecturas obtenemos el volumen (V_w)
- 5) Secamos la muestra en el horno (W_s)



2) Peso específico de las partículas de un suelo

2) Método del picnómetro (limos y arcillas)

En este procedimiento el volumen de las partículas se determina por diferencia entre el peso de un recipiente lleno de agua hasta el enrase y el peso del mismo conteniendo la muestra sumergida con el nivel de agua también hasta el enrase.

La muestra se seca en horno y se determina su peso seco. Se vierte en el picnómetro agua hasta completar aproximadamente la mitad de su volumen y se agrega la muestra mezclando bien el conjunto. Se puede colocar la muestra también con su humedad natural, determinando al final del ensayo su peso seco por evaporación del agua.

Para eliminar las burbujas de aire que se puedan incorporar al agregar la muestra, se conecta el picnómetro a una bomba de vacío. También se pueden eliminar las burbujas colocando el picnómetro en un baño de agua hirviendo.

Luego se agrega agua hasta enrasar el picnómetro y se coloca el mismo en baño termométrico para estabilizar la temperatura del agua, la cual se toma colocando el termómetro en el interior del picnómetro. Se retira, se seca exteriormente y se pesa.



Donde:

P_1 = peso del picnómetro con agua hasta enrase $T^\circ\text{C}$, obtenido de la curva de calibración

P_2 = Peso del picnómetro con la muestra y lleno de agua hasta el enrase, a $T^\circ\text{C}$

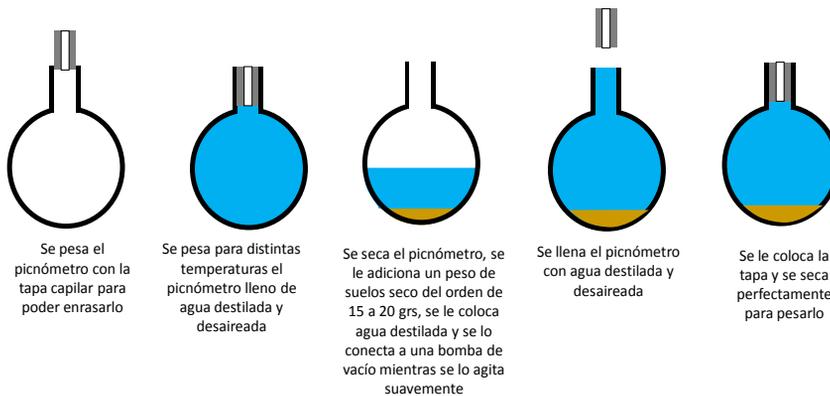
W_s = peso de la muestra secada en horno

γ_w = peso específico del agua

32

2) Peso específico de las partículas de un suelo

2) Método del picnómetro (limos y arcillas)



33

2) Peso específico de las partículas de un suelo

2) Método del picnómetro (limos y arcillas)



34

3) Densidad de un suelo en laboratorio

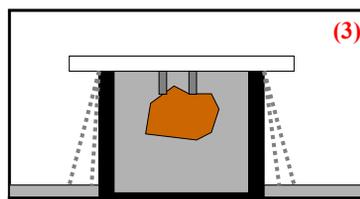
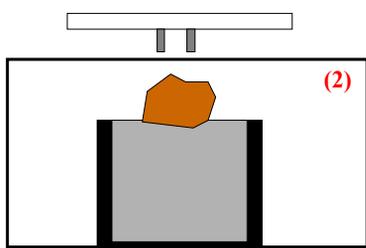
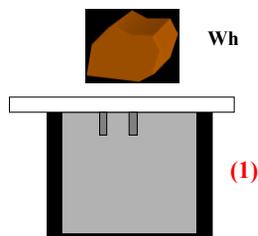
1) Sumersión en mercurio

Tomamos un recipiente, lo llenamos con mercurio lo enrasamos con un vidrio que tiene unos tarugos soldados en la parte inferior y lo pesamos (1)

Posteriormente colocamos el trozo de suelo sobre el mercurio y lo forzamos a sumergirse con los tarugos del vidrio (2)

Esto provocará que el mercurio se derrame en la misma cantidad que el volumen del trozo de suelos pero como esto lo hacemos dentro de una bandeja podemos recoger el mercurio derramado y pesarlo W_{gh} (3)

Como conocemos el pesos específico del mercurio podemos obtener su volumen.



3) Densidad de un suelo en laboratorio

1) Sumersión en mercurio

Conocemos la densidad del mercurio $\gamma_{gh} = 13,6 \text{ gr/cm}^3$

Antes del ensayo pesamos la muestra de suelo, con lo que conocemos W_h

Post ensayo pesamos el mercurio derramado, con lo que obtenemos W_{gh}

Así llegamos a conocer el volumen de mercurio derramado V_{gh} que es igual al volumen de la muestra de suelo

$$V_{gh} = \frac{W_{gh}}{\gamma_{gh}}$$

Finalmente llegamos a obtener la densidad húmeda del suelo

$$\gamma_{gh} = \frac{W_{gh}}{V_{gh}}$$

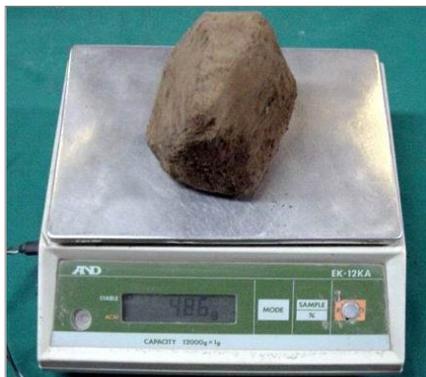
Si posteriormente secamos el trozo de suelo, podremos obtener su densidad seca

$$\gamma_{gs} = \frac{W_{gs}}{V_{gh}}$$

3) Densidad de un suelo en laboratorio

2) Sumersión en agua

El ensayo consiste en determinar el volumen por diferencias de pesadas, de una muestra en aire y sumergida en agua dentro de un cesto, de igual manera que en el ensayo descrito en el suspensión en agua para determinar el peso específico de las partículas de un sólido. La muestra se protege del agua recubriéndola con de parafina.



1. Pesamos la muestra a ensayar (P1)



2. Recubrimos la muestra con una capa de parafina

3) Densidad de un suelo en laboratorio

2) Sumersión en agua



3. Pesamos la muestra recubierta con parafina (P2)



4. Pesamos la muestra sumergida (P3)

39

3) Densidad de un suelo en laboratorio

2) Sumersión en agua

Para obtener la densidad húmeda del suelo, tenemos:



Relación que nos permite llegar al valor buscado

Donde:

γ_w es la densidad del agua

γ_p la densidad de la parafina

40

4) Densidad de un suelo in situ

1) Método del cono de arena

El procedimiento consiste en excavar un hoyo en el suelo, determinar el peso del material extraído, su humedad y el volumen del hoyo. Para efectuar la excavación se alisa el terreno en el lugar escogido y se realiza la operación con gran cuidado evitando la pérdida de material excavado.

El equipo de ensayo, en posición de trabajo, consiste en un recipiente cilíndrico con un doble cono o embudos acopiados vinculados por una válvula de paso libre o robinete. El equipo se completa con una placa metálica con un orificio central del mismo diámetro que el embudo.

El volumen del hoyo se calcula con:



Donde:

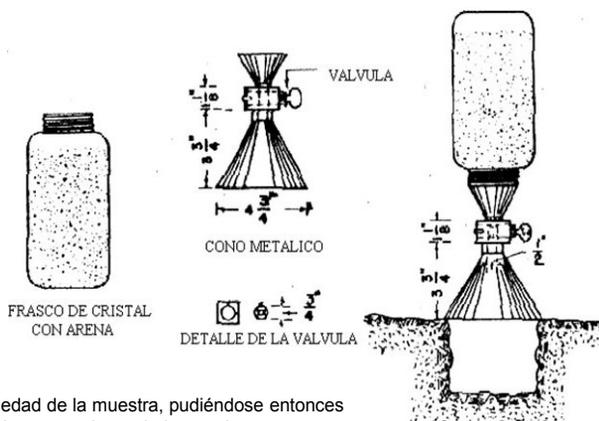
P1 = peso inicial con arena

P2 = peso del equipo con arena luego de llenado el hoyo y el embudo

V = volumen del hoyo

Ve = volumen del embudo

$\gamma_{d\text{ arena}}$ = peso específico de la arena calibrada



En el laboratorio se determina la humedad de la muestra, pudiéndose entonces calcular los pesos específicos del suelos con su humedad natural y seco.

4) Densidad de un suelo in situ

1) Método del cono de arena



42

4) Densidad de un suelo in situ

2) Método del anillo de Oroville

La técnica de este ensayo consiste en aplanar o alisar una superficie de 1,00 m² aproximadamente tratando de no modificar la estructura original del terreno a ensayar. Para estas determinaciones se utilizara además, una platina o plato metálico con un aro en su parte media de aproximadamente 50 cm de diámetro.

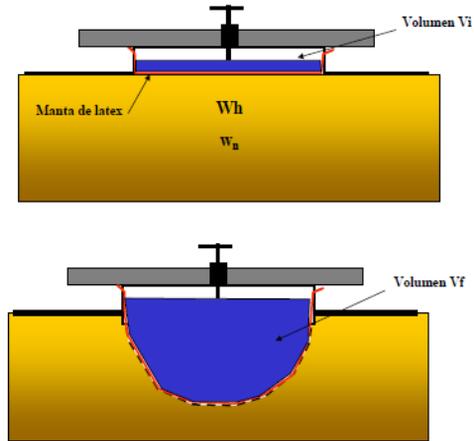
La metodología del ensayo es similar al cono de arena. Se excava un hoyo, se guarda el material excavado y se determina el volumen de dicho hoyo. Conociendo el peso del suelo extraído y el volumen del hoyo obtenemos la densidad natural del suelo.

La diferencia radica en que se utiliza agua en vez de arena y la metodología del ensayo presenta algunas diferencias

$$\text{Volumen} = V_f - V_i$$

$$W_s = \frac{W_h}{(1 + w_n)}$$

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



43

4) Densidad de un suelo in situ

2) Método del anillo de Oroville

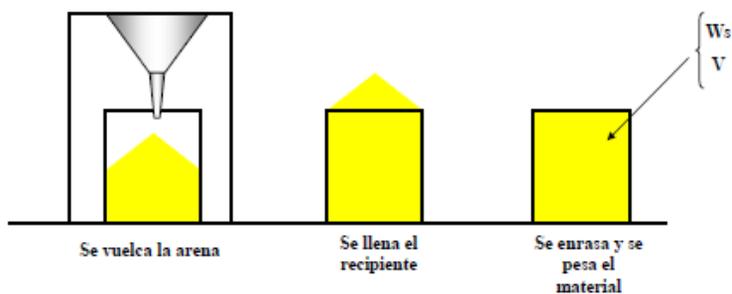


5) Relación de vacíos

1) Relación de vacíos máxima

La relación de vacíos máxima o, lo que es lo mismo, la densidad mínima que se puede tener en un suelo granular, se refiere al estado más suelto que ese suelo puede adoptar. Se determina mediante un ensayo de laboratorio que consiste en volcar, desde una altura constante el suelo en un molde y luego calcular la densidad del material que queda contenido en el mismo.

$$\gamma_{d(max)} = \frac{W_s}{V}$$



45

5) Relación de vacíos

1) Relación de vacíos máxima



- 1) Elementos a utilizar en el ensayo
- 2) Se vierte la muestra en el molde a través del embudo con una caída reglamentada

46

5) Relación de vacíos

1) Relación de vacíos máxima



- 3) Una vez lleno, se quita el collar cuidando no golpear el molde
- 4) Se enrasa el molde eliminando el exceso de material
- 5) Se pesa el molde junto a la muestra y por diferencia se obtiene el peso del suelo

47

5) Relación de vacíos

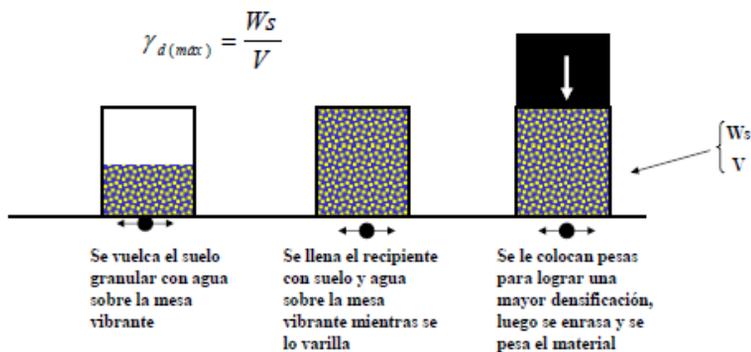
1) Relación de vacíos mínima

La relación de vacíos mínima, o lo que es lo mismo, la densidad máxima se refiere al estado denso que ese suelos puede adoptar. Se determina mediante un ensayo de laboratorio donde se trata por todos los medios conocidos de colocar en un recipiente de volumen conocido, la mayor cantidad de suelo.

Para ello se coloca el recipiente en una mesa vibratoria y se le adiciona suelo y agua en su interior, al mismo tiempo que con una varilla metálica se lo acomoda para lograr una mayor densificación.

Una vez lleno, se le colocan pesas para transmitir una tensión establecida por norma y se lo deja vibrar hasta que no ingrese mas suelo en el recipiente.

Posteriormente se pesa el molde junto al suelo compactado y por diferencia se obtiene el peso del suelo



48

5) Relación de vacíos

1) Relación de vacíos mínima



49

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 1

El peso húmedo de una masa de suelo es de 269,5 g.
 Secado en estufa hasta peso constante se registra un peso seco de 220,6 g.
 La masa de suelo acusa un volumen de 138,9 cm³.
 Mediante un ensayo de laboratorio se determina que el peso específico absoluto de las partículas sólidas (γ_s) es de 2,69 g/cm³.

Calcular:

- Peso unitario húmedo (γ_h)
- Peso unitario seco (γ_d)
- Peso unitario del suelo saturado (γ_{sat})
- Humedad (w)
- Humedad de saturación (w_{sat})
- Relación de Vacíos (e)
- Porosidad (n)

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 1

Resolución:

a) **Peso unitario húmedo (γ_h)**

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_w + V_a}{V_s + V_v} = \frac{W_s + V_w}{V_s + V_v} = \frac{W_h}{V_t} = \frac{269,5}{138,9} = ,94 \text{ t/cm}^3$$

b) **Peso unitario seco (γ_d)**

$$\gamma' = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V_v} = \frac{220,6}{138,9} = ,58 \text{ t/cm}^3$$

c) **Peso unitario del suelo saturado (γ_{sat})**

$$\gamma_{sat} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + V_w}{V_s + V_v} \Rightarrow V_w \times \gamma_w = V_t - V_s \times \gamma_s = V_t - \frac{V_s}{\gamma_s} \times \gamma_s = 138,9 - \frac{220,6}{2,69} = 16,89$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + V_w}{V_s + V_v} = \frac{220,6 + 16,89}{138,9} = ,998 \text{ t/cm}^3$$

Datos:

$$W_h = 269,5 \text{ g}$$

$$W_s = 220,6 \text{ g}$$

$$V_t = 138,9 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_s = 2,69 \text{ g/cm}^3$$

Geotecnia I
26/03/2014Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 1

Resolución:

d) **Humedad (w)**

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} = \frac{269,5 - 220,6}{220,6} = \frac{48,9}{220,6} \cdot 100 = 22\%$$

e) **Humedad de saturación (w_{sat})**

$$w_{sat}(\%) = \frac{W_{w_{sat}}}{W_s} \cdot 100 = \frac{56,89}{220,6} \cdot 100 = 26\%$$

f) **Relación de Vacíos (e)**

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{56,89}{22,01} = 2,58 \quad (\text{adimensional})$$

g) **Porosidad (n)**

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{56,89}{138,9} = 0,41$$

Datos:

$$W_h = 269,5 \text{ g}$$

$$W_s = 220,6 \text{ g}$$

$$V_t = 138,9 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_s = 2,69 \text{ g/cm}^3$$

Geotecnia I
26/03/2014Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 2

Una muestra de arcilla fue obtenida mediante un saca muestras y quedó alojada en un tubo de 35 mm de diámetro interior, y 150 mm de largo.

El peso de la muestra húmeda era de 278,5 g, y luego de secada a estufa se redujo a 214,3 g. El peso específico de las partículas sólidas es de 2,72 g/cm³.

Calcular:

- el peso unitario húmedo
- el peso unitario seco
- la humedad (natural)
- la relación de vacíos
- el grado de saturación

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 2

- a) el peso unitario húmedo

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_h}{V_t} = \frac{278,5}{144,32} = ,93 \text{ t/cm}^3$$

$$V_t = \frac{\pi \phi^2}{4} \times l = 44,32 \text{ cm}^3$$

- b) el peso unitario seco

$$\gamma_s = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s}{V_s + V} = \frac{214,3}{144,32} = ,48 \text{ t/cm}^3$$

Datos:

Peso húmedo: $W_h = 278,5 \text{ g}$

Peso seco: $W_s = 214,3 \text{ g}$

$\gamma_s = 2,72 \text{ g/cm}^3$

Diámetro de la muestra: $\phi = 3,5 \text{ cm}$

Altura de la muestra: $H = 15 \text{ cm}$

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 2

Datos:

Peso húmedo: $W_h = 278,5 \text{ g}$ Peso seco: $W_s = 214,3 \text{ g}$ $\gamma_s = 2,72 \text{ g/cm}^3$ Diámetro de la muestra: $\phi = 3,5 \text{ cm}$ Altura de la muestra: $H = 15 \text{ cm}$

c) la humedad (natural)

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} = \frac{278,5 - 214,3}{214,3} = 30\%$$

d) la relación de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_t - V_s}{V_s} = \frac{V_t}{\frac{W_s}{\gamma_s}} = \frac{144,32}{214,3} = 0,83$$

e) el grado de saturación

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 = \frac{\left[\frac{W_w}{\gamma_w} \right]}{\left[\frac{V_t - W_s}{\gamma_s} \right]} = 18\%$$

Geotecnia I
26/03/2014Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 3

Una arena en estado natural tiene un peso unitario seco de $1,66 \text{ g/cm}^3$, y las partículas que la constituyen tienen un peso específico de $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Calcular:

¿Cuál será su peso unitario en condición de saturación total?

Cálculo:

$$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w}{V} = \gamma_d + \gamma_w - \frac{V_s}{V} \gamma_w = \gamma_d + \gamma_w - \frac{W_s / \gamma_s}{W_s / \gamma_d} \gamma_w = \gamma_d + \gamma_w \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_d} \right) = 2,03 \text{ g/cm}^3$$

Geotecnia I
26/03/2014Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 4

Un terraplén se construyó con un suelo compactado, con una densidad húmeda de $2,10 \text{ g/cm}^3$, y con una humedad del 13 %. El peso específico de las partículas sólidas es de $2,70 \text{ g/cm}^3$.

Calcular:

- el peso unitario seco
- La porosidad
- El grado de saturación

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 4

Datos:

$$\gamma = 2,10 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Humedad: } w = 13\%$$

$$\gamma_s = 2,70 \text{ g/cm}^3$$

- el peso unitario seco

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{\frac{W}{\gamma}} = \frac{\gamma \cdot W_s}{W_s + W_w} = \frac{\gamma \cdot W_s}{W_s + \omega \cdot W_s} = \frac{\gamma}{1 + \omega} = 1,86 \text{ g/cm}^3$$

- La porosidad

$$\eta = \frac{V_v}{V} \cdot 100 = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \left(1 - \frac{V_s}{V}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{W_s/\gamma_s}{W_s/\gamma_d}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \cdot 100 = 31\%$$

- El grado de saturación

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{W_w/\gamma_w}{V - V_s} = \frac{\omega \cdot W_s/\gamma_w}{V - V_s} = \frac{\omega/\gamma_w}{V/W_s - V_s/W_s} = \frac{\omega/\gamma_w}{1/\gamma_d - 1/\gamma_s} = 77,7\%$$

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



58

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 5

Una muestra de arena situada por encima del nivel freático tenía una humedad natural del 18%, y un peso específico húmedo de $1,97 \text{ g/cm}^3$. Sobre una muestra seca de esa misma arena se realizaron ensayos para determinar las densidades máximas y mínimas, dando los siguientes resultados: $e_{\min}=0,48$, y $e_{\max}=0,88$. El peso específico de las partículas sólidas es de $2,66 \text{ g/cm}^3$.

Calcular:

- El grado de saturación
- El índice de densidad

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



59

EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 5

Datos:

$\omega = 18\%$
 $\gamma = 1,97 \text{ g/cm}^3$
 $\gamma_s = 2,66 \text{ g/cm}^3$
 $e_{\min} = 0,48$
 $e_{\max} = 0,88$

- El grado de saturación

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega} = 1,67 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow S_r = \frac{\omega / \gamma_w}{\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s}} = 81\%$$

- El índice de densidad

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1 = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = 0,59 \Rightarrow Id = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100 = 72,5\%$$

Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 6

Ensayo de compactación Proctor

Ejecutado un ensayo de compactación Proctor sobre una muestra de suelo, mediante la determinación de cinco puntos con humedades crecientes, se obtuvieron los valores de la planilla adjunta. Calcular para cada punto:

el peso unitario natural,

el peso unitario seco y la humedad.

Graficar los puntos obtenidos (en abscisas la humedad y en ordenadas el peso específico seco).

Geotecnia I
26/03/2014



Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 6

Ensayo de compactación Proctor

PUNTO Nº	% Aproximado de Agua	Peso del Cilindro más Suelo Húmedo (g)	Tara del Cilindro (g)	Peso del Suelo Húmedo (g)	Volumen del Cilindro (cm ³)	Peso Especifico Aparente	
						Húmedo (g/cm ³)	Seco (g/cm ³)
1	-	10.720	6.580	4.140	2.124	1,949	1,782
2	-	10.870	6.580	4.290	2.124	2,020	1,820
3	-	11.030	6.580	4.450	2.124	2,095	1,859
4	-	11.060	6.580	4.480	2.124	2,109	1,838
5	-	11.015	6.580	4.435	2.124	2,088	1,791
6	-						
PUNTO Nº	Pesafiltro				Agua (g)	Suelo Seco (g)	% de Humedad
	Nº	más Suelo Húmedo (g)	más Suelo Seco (g)	Tara (g)			
1	163	173,94	160,91	22,29	13,03	138,62	9,4
2	181	172,58	157,70	22,26	14,88	135,44	11,0
3	182	157,85	142,61	22,90	15,24	119,71	12,7
4	186	170,07	151,08	22,54	18,99	128,54	14,8
5	185	163,33	143,30	22,66	20,03	120,64	16,6
6							

Geotecnia I
26/03/2014

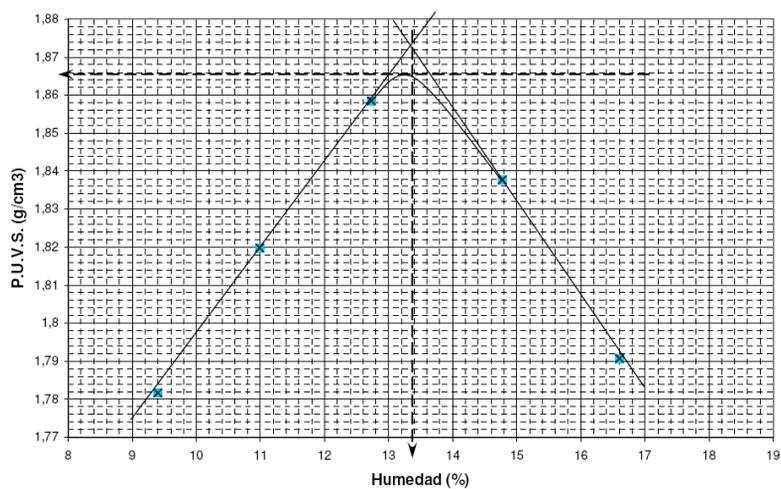


Area Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería



EJEMPLOS PRACTICOS – TP N 3

Problema N 6 Ensayo de compactación Proctor



Geotecnia I
26/03/2014



Área Departamental Construcciones
Facultad de Ingeniería

