2. RELACIONES GRANULOMÉTRICAS Y DE VOLUMEN EN UN SUELO

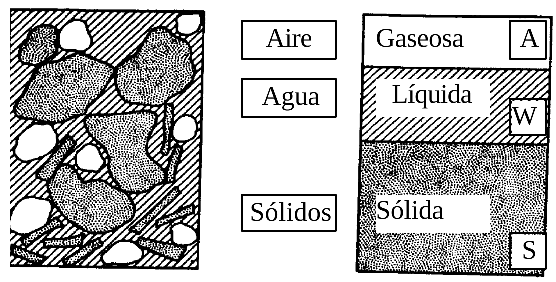
2.1. Introducción

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc).

Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el volumen de vacíos (Vv), mientras que la fase sólida constituye el volumen de sólidos (V_s).

Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular de solo dos fases, la sólida y la líquida.

Es importante considerar las características morfológicas de un conjunto de partículas sólidas, en un medio fluido. Eso es el suelo.



- Fase sólida: Fragmentos de roca, minerales individuales, materiales orgánicos.
- Fase líquida: Agua, sales, bases y ácidos disueltos, incluso hielo.
- Fase gaseosa: Aire, gases, vapor de agua.

Figura 2.1. Esquema de una muestra de suelo y el modelo de sus 3 fases.

Las relaciones entre las diferentes fases constitutivas del suelo (fases sólida, líquida y gaseosa), permiten avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por tamaños y sobre el grado de plasticidad del conjunto.

En los laboratorios de mecánica de suelos puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno y la gravedad específica de las partículas que conforman el suelo, entre otras.

Las relaciones entre las fases del suelo tienen una amplia aplicación en la Mecánica de Suelos para el cálculo de esfuerzos.

La relación entre las fases, la granulometría y los límites de Atterberg se utilizan para clasificar el suelo y estimar su comportamiento.

Modelar el suelo es colocar fronteras que no existen. El suelo es un modelo discreto y eso entra en la modelación con dos parámetros, e y η (relación de vacíos y porosidad), y con las fases.

El agua adherida a la superficie de las partículas, entra en la fase sólida. En la líquida, sólo el agua libre que podemos sacar a 105 °C cuando, después de 24 o 18 horas, el peso del suelo no baja más y permanece constante.

2.2. Fases, volúmenes y pesos

En el modelo de fases, se separan volúmenes V y pesos W así: Volumen total V_T, volumen de vacíos V_V (espacio no ocupado por sólidos), volumen de sólidos V_S, volumen de aire V_A y volumen de agua V_W. Luego

$$V_T = V_V + V_S \qquad (2.1)$$

y

$$V_V = V_A + V_W. \qquad (2.2)$$

En pesos (que es diferente a masas), el del aire se desprecia, por lo que $W_A = 0$. El peso total del espécimen o muestra W_T es igual a la suma del peso de los sólidos W_S más el peso del agua W_W; esto es

$$W_T = W_S + W_W. \qquad (2.3)$$

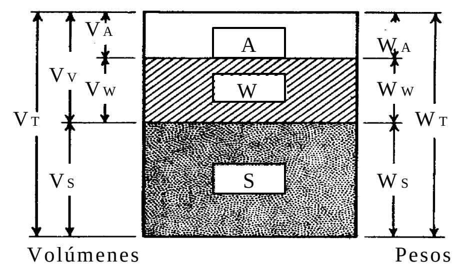


Figura 2.2 Esquema de una muestra de suelo, en tres fases o húmedo, con la indicación de los símbolos usados: En los costados, V volumen y W peso. Las letras subínice y dell centro, son: A aire, W agua y S sólidos

2.3. Relaciones de volumen: h, e, D_R, S, C_A

2.3.1. Porosidad h.

Se define como la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Por eso $0 < \eta < 100\%$ (se expresa en %). En un sólido perfecto $\eta = 0$; en el suelo $\eta \neq 0$ y $\eta \neq 100\%$.

$$h = \frac{V_V}{V_T} * 100(\%) \qquad (2.4)$$

2.3.2. Relación de vacíos e.

Es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos.
Su valor puede ser e > 1 y alcanzar valores muy altos.
En teoría $0 < e \rightarrow \infty$.

$$e = \frac{V_V}{V_S} \qquad (2.5)$$

El término compacidad se refiere al grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo, dejando más o menos vacíos entre ellas. En suelos compactos, las partículas sólidas que lo constituyen tienen un alto grado de acomodo y la capacidad de deformación bajo cargas será pequeña. En suelos poco compactos el volumen de vacíos y la capacidad de deformación serán mayores. Una base de comparación para tener la idea de la compacidad alcanzada por una estructura simple se tiene estudiando la disposición de un conjunto de esferas iguales. En la figura 2.3 se presentan una sección de los estados más suelto y más compacto posible de tal conjunto. Pero estos arreglos son teóricos y los cálculos matemáticos

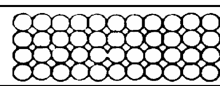
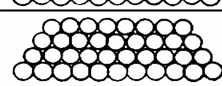
	Estado más suelto. $\eta = 47{,}6\%$; $e = 0{,}91$
	Estado más compacto. $\eta = 26\%$; $e = 0{,}35$

Figura 2.3 Compacidad de un conjunto de esferas iguales.

Los parámetros adicionales η y e (siempre $\eta < e$), se relacionan así: como Vv/Vs es la relación de vacíos, entonces:

$$\frac{V_V}{V_S} = \frac{V_V}{V_T - V_V} = \frac{\frac{V_V}{V_T}}{1 - \frac{V_V}{V_T}} \Rightarrow \qquad e = \frac{?}{1\text{-}?} \qquad (2.6) \qquad ? = \frac{e}{1+e} \qquad (2.7)$$

Con la práctica, para suelos granulares, los valores típicos son:

Arena bien gradada	e = 0,43 – 0,67	η = 30 – 40%
Arena uniforme	e = 0,51 – 0,85	η = 34 – 46%

2.3.3. Densidad relativa D_R. (o Compacidad relativa)

Este parámetro nos informa si un suelo está cerca o lejos de los valores máximo y mínimo de densidad, que se pueden alcanzar. Además $0 \le D_R \le 1$, siendo más resistente el suelo cuando el suelo está compacto y $D_R \approx 1$ y menor cuando está suelto y $D_R \approx 0$.

$$D_R = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \qquad (2.8)$$

Algunos textos expresan D_R en función del PU seco γ_d.. Aquí, e_{max} es para suelo suelto, e_{min} para suelo compactado y e para suelo natural

Los suelos cohesivos, generalmente tienen mayor proporción de vacíos que los granulares; los valores típicos de η y e son: e = 0,55 – 5,00 η = 35 – 83%

2.3.4. Grado de saturación S.

Se define como la probabilidad de encontrar agua en los vacíos del suelo, por lo que $0 \le S \le 100\%$. Físicamente en la naturaleza $S \neq 0\%$, pero admitiendo tal extremo, $S = 0\%$ ⇒ suelo seco y $S = 100\%$ ⇒ suelo saturado.

$$S = \frac{V_W}{V_V} * 100 \qquad (\%) \qquad (2.9)$$

2.3.5. Contenido de aire C_A.

Probabilidad de encontrar aire en los vacíos del suelo. $0 \le C_A \le 100\%$. En el suelo saturado, los vacíos están ocupados por agua $C_A = 0$ y en el suelo seco, por aire $C_A = 100\%$. Naturalmente, $S + C_A = 100\%$.

$$C_A = \frac{V_A}{V_V} \times 100 \qquad (2.10)$$

Nota: En suelos granulares, $D_R < 35\%$ es flojo, $35\% \le D_R \le 65\%$ es medio y $D_R > 65\%$ es denso.

LA CLAVE # 1 ES:

$$\boxed{h = \frac{e}{1+e}}$$

Relaciones Gravimétricas. Una masa de 1 Kg pesa distinto en la luna que en la tierra. El peso es fuerza, la masa no. La densidad relaciona masa y volumen, el peso unitario relaciona peso y volumen y la presión, fuerza y área.
El valor de la gravedad en la tierra es $g = 9{,}81\ m/sg^2 = 32{,}2\ ft/sg^2$
El peso unitario del agua es $62{,}5\ lb/ft^3 = 9{,}81\ KN/m^3 = 1\ gr/cm^3$ (si g = 1)
En presión $1\ lb/ft^2 = 47{,}85\ N/m^2 = 47{,}85$ Pa.
$1\ lb/m^2 = 6{,}90$ KPa y 1 ft de agua ≡ 2,99 KPa

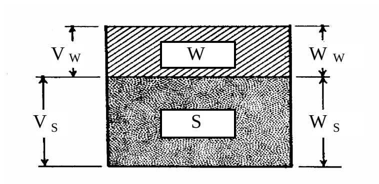
2.3.6. Contenido de humedad: w

$$w = \frac{W_W}{W_S} * 100 \text{ (en \%)} \qquad (2.11)$$

Es la relación, en %, del peso del agua del espécimen, al peso de los sólidos. El problema es ¿cuál es el peso del agua?. Para tal efecto debemos señalar que existen varias formas de agua en el suelo, y unas requieren más temperatura y tiempo de secado que otras para ser eliminadas. En consecuencia, el concepto "suelo seco" también es arbitrario, como lo es el agua que pesemos en el suelo de muestra. Suelo seco es el que se ha secado en estufa, a temperatura de 105°C – 110°C, hasta peso constante durante 24 ó 18 horas (con urgencia).

El valor teórico del contenido de humedad varía entre: $0 \leq \omega \rightarrow \infty$. En la práctica, las humedades varían de 0 (cero) hasta valores del 100%, e incluso de 500% ó 600%, en el valle de México.

NOTA: En compactación se habla de ω óptima, la humedad de mayor rendimiento, con la cual la densidad del terreno alcanza a ser máxima. En la Figura 14.1, puede observar dos curvas de compactación para un mismo material, dependiendo el valor de la humedad óptima de la energía de compactación utilizada para densificar el suelo.



Modelo de fases para suelo saturado

2.3.7. Peso unitario de referencia g0

El peso PU de referencia es γ_0, que es el valor del PU para el agua destilada y a 4 °C.

γ_0 = 9,81 KN/m^3 ≡ 1,00 Ton/m^3 = 62,4 lb/ft^3 = 1,0 gr/cc (para g = 1m/seg ^{2}). Este es el resultado de multiplicar la densidad del agua por la gravedad, dado que densidad es masa sobre volumen y que peso es el producto de la masa por la gravedad.

2.3.8. Gravedad Específica de los sólidos G_S.

$$Gs = \frac{?_S}{?_0} \qquad (2.12)$$

La gravedad específica es la relación del peso unitario de un cuerpo referida a la densidad del agua, en condiciones de laboratorio y por lo tanto a su peso unitario $?_0$. En geotecnia sólo interesa la gravedad específica de la fase sólida del suelo, dada por $G_S = g_S \,/\, g_W$ pero referida al Peso Unitario de la fase líquida del suelo g_W, para efectos prácticos.

2.3.9. Peso unitario del suelo.

$$?_d \leq ?_T \leq ?_{sat} \qquad (2.13)$$

Es el producto de su densidad por la gravedad. El valor depende, entre otros, del contenido de agua del suelo. Este puede variar del estado seco γ_d hasta el saturado γ_{SAT} así:

2.3.10. Peso unitario del agua y de los sólidos.

$$g_d = \frac{W_S}{V_T} \text{ Suelo seco} (2.14); \qquad g_W = \frac{W_W}{V_W} \text{ PU del agua} (2.15) \qquad g_T = \frac{W_T}{V_T} \text{ Suelo húmedo} (2.16)$$

En el suelo, W_S es prácticamente una constante, no así W_W ni W_T. Además se asume que siendo G_S un invariante, no se trabaja nunca con el PU de los sólidos, g_S, sino con su equivalente, $G_S\, g_W$, de conformidad con el numeral 2.3.8.

En general los suelos presentan gravedades específicas G_S con valor comprendido entre 2,5 y 3,1 (adimensional). Como el más frecuente es 2,65 (adimensional) se asume como máximo valor de G_S teórico. Veamos además algunos valores del peso unitario seco de los suelos, los que resultan de interés dado que no están afectados por peso del agua contenida, sino por el relativo estado de compacidad, el que se puede valorar con la porosiodad.

Descripción	h **%**	g_d **g/cm³**
Arena limpia y uniforme	29 – 50	1,33 – 1,89
Arena limosa	23 – 47	1,39 – 2,03
Arena micácea	29 – 55	1,22 – 1,92
Limo INORGÁNICO	29 – 52	1,28 – 1,89
Arena limosa y grava	12 – 46	1,42 – 2,34
Arena fina a gruesa	17 – 49	1,36 – 2,21

Tabla 2.1 Valores de η y γ_d para suelos granulares (MS Lambe).

Los suelos bien compactados presentan pesos unitarios de 2,2 g/cm^3 a 2,3 g/cm^3, en γ_d para gravas bien gradadas y gravas limosas. En la zona del viejo Caldas, las cenizas volcánicas presentan pesos unitarios entre 1,30 a 1,70 gr/cm³.

2.3.11. Peso unitario sumergido g'.

Esto supone considerar el suelo saturado y sumergido. Al sumergirse, según Arquímedes, el suelo experimenta un empuje, hacia arriba, igual al peso del agua desalojada.

$$g' = \frac{W_{sat} - W_W}{V_T} = \frac{W_{SAT} - V_T * g_W}{V_T} = g_{SAT} - g_W$$ entonces, el PU sumergido es:

$$g' = g_{SAT} - g_W \qquad (2.17)$$ que es la situación bajo el NAF del suelo.

2.3.12. Gravedad específica del espécimen.

Puedo considerar la muestra total (G_T) pero el valor no tiene ninguna utilidad, la fase sólida (G_S) que es de vital importancia por describir el suelo y la fase líquida (G_W) que se asume es 1 por ser g_W el mismo del agua en condiciones de laboratorio. En cualquier caso, el valor de referencia es γ_0 y $\gamma_0 \approx \gamma_W$.

$$G_S = \frac{g_s}{g_0} \cong \frac{g_s}{g_W} \; ; \quad G_W = \frac{g_W}{g_0} \qquad (2.18)$$

Una relación básica entre ω, S, e y G_S es:

$$\frac{W_W}{W_S} = \frac{V_W \ *? \ _W}{V_S \ *? \ _W \ *G_S} \qquad \left(\text{ya que } G_S = \frac{? \ _S}{? \ _W} = \frac{W_S}{V_S} * \frac{1}{g_W} \right)$$

$$\frac{W_W}{W_S} = \frac{V_W}{V_V} * \frac{V_V}{V_S} * \frac{1}{G_S} \qquad \left(\text{cancelamos } ? \ _w \text{ e introducimos } \frac{V_V}{V_V} \right)$$

$$w = \frac{S * e}{G_S} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{G_S \ \omega = S \ e}$$

CLAVE # 2

Otra relación fundamental surge de considerar el PU húmedo, así:

$$g_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_S + V_V} = \frac{W_S\left[1 + \frac{W_W}{W_S}\right]}{V_S\left[1 + \frac{V_V}{V_S}\right]} \qquad \Rightarrow g_T = \frac{G_S(1+w)}{(1+e)} g_W$$

Obsérvese que no se escribió g_S sino $G_S \ g_W$. Ahora, sustituimos $G_S \ \omega$ por Se, y obtenemos estas expresiones para el PU húmedo, seco y saturado:

$$g_T = \left[\frac{G_S + S * e}{1+e}\right] * g_W$$

$$\boxed{g_T = \left[\frac{G_S + S * e}{1+e}\right] * g_W}$$

CLAVE # 3

$\Rightarrow$ Si S = 1 $\Rightarrow$ (PU saturado) $\qquad g_{SAT} = \left[\frac{G_S + e}{1+e}\right] * g_W$

$\Rightarrow$ Si S = 0 $\Rightarrow$ (PU seco) $\qquad g_d = \left[\frac{G_S}{1+e}\right] * g_W$

Dos relaciones deducibles, útiles en geotecnia, al analizar resultados de compactación son:

$$g_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{W_S}{V_T}\left[1 + \frac{W_W}{W_S}\right] \Rightarrow \qquad \boxed{g_T = g_d(1+w)}$$

y de la suma de volúmenes:

$$V_T - V_A = V_S + V_W \;\; ; \;\; \left(\text{pero}: \; G_S = \frac{g_S}{g_W} = \frac{W_S}{V_S} * \frac{1}{g_W} \right) \text{ entoces:}$$

$$V_T \left[1 - \frac{V_A}{V_T} \right] = \frac{W_S}{G_S * g_W} + \frac{W_W}{g_W} = \frac{W_S}{G_S * g_W} \left[1 + \frac{W_W}{W_S} Gs \right] \text{ luego}$$

$$\frac{W_S}{V_T} = \frac{G_S \left[1 - \frac{V_A}{V_T} \right]}{\left[1 + G_S \frac{W_W}{W_S} \right]} g_W \;\; \Rightarrow \qquad \boxed{g_d = \frac{G_S (1 + C_A)}{(1 + G_S * w)} * g_W}$$

2.4. Diagramas de fases con base unitaria

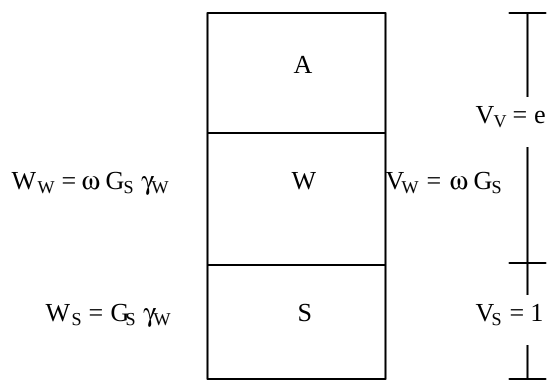
a) $\gamma_T = f(e)$ Con $V_S = 1$ en el gráfico, necesariamente $V_V = e$; $\left(e = \frac{V_V}{V_S} \right)$

(recuérdese que $w = \frac{W_W}{W_S}$, que $Ws = G_s s * Vs * g_W$)

$$W_S = G_S * g_W \; , \; W_W = w * G_S * g_W$$

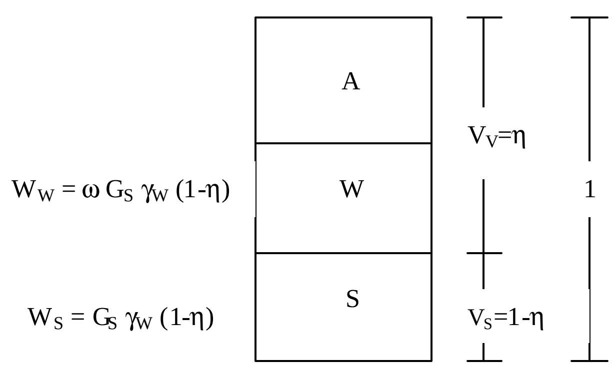
$$g_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_S + V_W} = \frac{G_S * g_W + w * G_S * g_W}{1 + e}$$

$$= \frac{G_S * g_W (1 + w)}{(1 + e)}$$



b) $\gamma_T = f(\eta)$: Con $V_T = 1$, en el gráfico, necesariamente $V_V = \eta$; $\left(h = \frac{V_V}{V_T} \right)$

Calculados los volúmenes, se pasa a los pesos utilizando la expresión de $g s$ (sin escribirla) y luego la de ω.



$$W_S = (1-h) * G_S * g_W \; ; W_W = w(1-h) * G_S * g_W$$

$$g_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T}$$

$$= \frac{1-h) * G_S * g_W + w * (1-h) * G_S * g_W}{1}$$

$$= G_S * g_W * (1-h) * (1+w)$$

NOTA: En diagramas unitarios existen 3 posibilidades: V_S, V_T, $W_S = 1$. con la tercera se obtienen resultados en función de la relación de vacíos como los del caso a).

a) $$\boxed{g_T = \frac{G_S * g_W * (1+w)}{(1+e)}}$$

b) $$\boxed{g_T = G_S * g_W (1-h)(1+w)}$$

CLAVES
4 Y # 5

Ejercicio: Con diagramas unitarios de solo dos fases obtenga una relación para $\gamma_{SAT} = f(_S, e, \gamma_W)$ y otra para g_d

CLAVES X e Y

NOTA: Para resolver un esquema de fases, es consistente el esquema de diagramas unitarios, haciendo V_T, $V_S = 1$ o en su defecto $W_S = 1$. Además, siempre se requieren 3 parámetros adicionales, uno por cada fase. Del cuadro (*), una de las cuatro casillas es incógnita y requiere un elemento de cada una de las otras 3 casillas. Además las cinco claves vistas.

S ω	G_S	γ_T	η e

(*)

Ejercicio 2.1

Un espécimen, en estado natural, pesa 62,1 gr y seco al horno, 49,8 gr. Determinado el peso unitario seco y la gravedad específica correspondientes, los valores son 86,5 lb/ft^3 y 2,68, encuentre e y S.

Solución

$$w = \frac{62{,}1 - 49{,}8}{49{,}8} = 0{,}247 = 24{,}7\%$$

$$e = \frac{62{,}4 * G_S}{g_d} - 1 = \frac{62{,}4 * 2{,}68}{86{,}5} - 1 = 0.93$$

$$S = \frac{w * G_S}{g_d} \text{ (clave 2) } = \frac{0{,}247 * 2{,}68}{0{,}93} = 0{,}71 = 71\%$$

Ejercicio 2.2

Para un suelo en estado natural, e = 0,8; ω = 24%; $G_S = 2{,}68$. Determine el peso unitario, el peso unitario seco y el grado de saturación.

$$g_T = \frac{G_S * g_w (1+w)}{(1+e)} \text{ (clave 4) } = \frac{2{,}68 * 9{,}81(1+0{,}24)}{(1+0{,}8)} = 18{,}11 \; {}^{KN}\!/_{m^3}$$

$$g_d = \frac{G_S * g_w}{(1+e)} \text{ (clave 3) } = \frac{2{,}68 * 9{,}81}{(1+0{,}8)} = 14{,}61 \; {}^{KN}\!/_{m^3}$$

$$S = \frac{w * G_S}{e} \text{ (clave 2) } = \frac{0{,}24 * 2{,}68}{0{,}8} = 0{,}804 = 80{,}4\%$$

Para el caso anterior, calcular el peso unitario saturado.

$$g_{SAT} = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{G_S * g_W + e * g_W}{1+e} \text{ (utilizando diagrama sección 2.4.a, con } V_S = 1)$$

$$g_{SAT} = \frac{9{,}81[2{,}68 + 0{,}68]}{1+0{,}8} = 18{,}97 \; {}^{KN}\!/_{m^3} \quad \text{(ESTA ES LA CLAVE X, Sección 2.4)}$$

Ejercicio 2.3
Calcular el agua y el γ_{SAT} en una muestra saturada de suelo de ϕ = 38 mm y h = 78 mm, cuya masa es 142 gr. Seca, la masa es de 86 gr. (g = 9,81 m/seg²)

Masa de agua = 142gr – 86gr = 56 gr
Masa del suelo = 86 gr
ω = 56/86 = 0,651 = 65,1%
Peso del suelo saturado = W_{SAT} = 142 * 9,81 * 10^{-6} KN
Volumen del cilindro = V_T = ¼ π*38^2*78*10^9 m^3

$$g_{SAT} = \frac{W_{SAT}}{V_T} = 15{,}75 \; {}^{KN}\!/_{m^3}$$

Para el caso anterior, calcule e, η y G_S.

Reemplazo G_S, de la clave 2, en la clave 4

$$g_T = \left[\frac{S * e}{w}\right] g_W \frac{(1+w)}{(1+e)} \quad \text{y S} = 1 \text{ (saturado)}$$

$$\frac{g_T}{g_W} = \left(\frac{e}{w}\right) * \left(\frac{1+w}{1+e}\right) = \left(1 + \frac{1}{w}\right) * \left(\frac{1}{\frac{1}{e}+1}\right) \Rightarrow \frac{15{,}75}{9{,}81} = \left(1 + \frac{1}{0{,}651}\right) * \left(\frac{1}{\frac{1}{e}+1}\right)$$

$$e = 1{,}72 \Rightarrow h = \frac{e}{(1+e)} = \frac{1{,}72}{(1+1{,}72)} = 63{,}2\% \text{ (clave 1)}$$

$$G_S = \frac{e}{w} \text{ : (clave \# 2 ; saturado) } G_S = \frac{1{,}72}{0{,}651} = 2{,}65$$

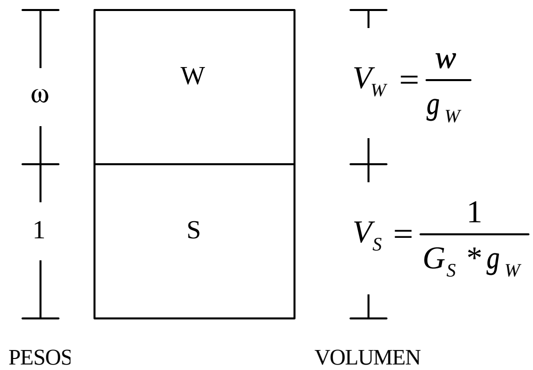
2.4 Se tiene un suelo saturado; dado W_S = 1 resolver el diagrama unitario y obtener γsat y γ' (clave X)

$\therefore W_S = 1$

$$w = \frac{W_W}{W_S} \Rightarrow W_S = 1 \qquad \therefore W_W = w$$

$$G_S = \frac{g_S}{g_W} = \frac{W_S}{V_S * g_W} \qquad \therefore V_S = \frac{1}{G_S * g_W}$$

$$V_W = \frac{W_W}{g_W} \qquad \therefore V_W = \frac{w}{g_W}$$



Luego : $g_{Sat} = \frac{W_{sat}}{V_T} = \frac{(1+w)}{\left[w/g_W + 1/G_S * g_W \right]_{SAT}}$ *entonces*

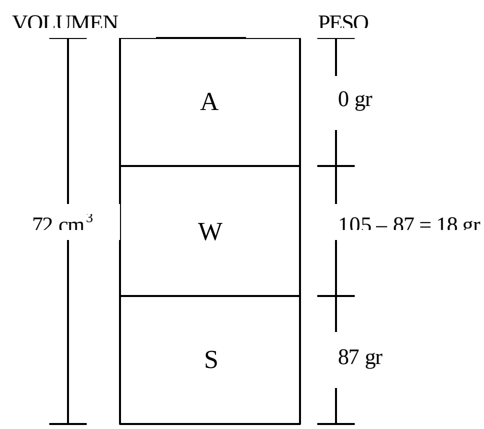
(saturado) $g_{SAT} = G_S * g_W \frac{1+w}{1 + w * G_S} = g_{SAT} \Rightarrow$ Compárese con clave 2

además :

(sumergido) $g' = g_T - g_W = G_S * g_W \frac{1+w}{1+w*G_S} - g_W = \frac{(G_S - 1)}{(1+G_S)} g_W$

2.5 Problemas de clase

(1) Una muestra pesa en estado húmedo 105 gr, y en estado seco, 87 gr. Si su volumen es 72 cm^3 y la gravedad específica de los sólidos 2,65, calcule ω, e, G_S, γ_d, γ_T, γ_{SAT} y γ'



Solución:
Dados: $W_T = 105$ gr
$W_S = 87$ gr
$V_T = 72$ cm ^{3}
$G_S = 2,65$
$\gamma_W = 1$ gr/cm^2

Como se involucra e, el modelo unitario conviene con $V_S = 1$

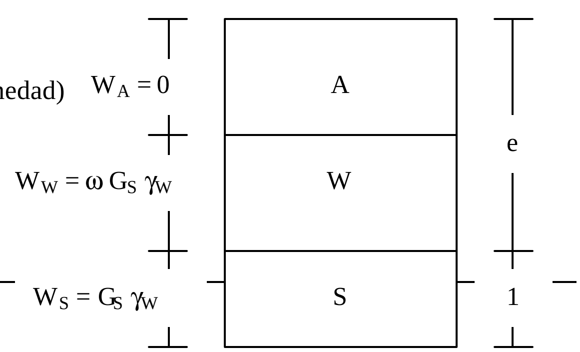
$W_W = W_T - W_S = 105 - 87 = 18$ gr.

$$G_S = \frac{g_S}{g_W} = \frac{W_S}{V_S * g_S} \Rightarrow V_S = \frac{W_S}{G_S * g_S} = \frac{87}{2,65 * 1} = 32,83\,cm^3$$

$$V_V = V_T - V_S = 72 - 32,83 = 39,16\,cm^3$$

$$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{39,16}{32,83} = 1,19 \text{ (relación de vacíos)}$$

$$w = \frac{W_W}{W_S} = \frac{105 - 87}{87} = 0,207 = 20,7\% \text{ (contenido de humedad)}$$



$$G_S = \frac{\gamma_S}{\gamma_W} = \frac{W_S}{V_S} * \frac{1}{\gamma_W} \Rightarrow W_S = G_S * \gamma_W$$

$$w = \frac{W_W}{W_S} \Rightarrow \qquad W_W = w * W_S$$

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{G_S * \gamma_W + w * G_S * \gamma_W}{1+e} = \frac{G_S * \gamma_W (1+w)}{1+e} = \frac{2{,}65 * 1 * (1+0{,}207)}{1+1{,}19}$$

$$\gamma_T = 1{,}46 \, {}^{gr}\!/_{cm^3} \quad \text{(Peso unitario total)} \quad \gamma_T = \frac{G_S * \gamma_W (1+w)}{(1+e)} \qquad \mathrm{I}$$

$$\text{En I si } w = 0 \Rightarrow \gamma_T = \gamma_d = \frac{G_S * \gamma_W}{1+e} \qquad \mathrm{II}$$

$$\gamma_d = \frac{2{,}65 * 1}{(1+1{,}19)} = 1{,}21 \, {}^{gr}\!/_{cm^3} \quad \text{(Peso unitario seco)}$$

¿V_W, V_S, V_V?

$$S = \frac{V_W}{V_V} \begin{cases} \gamma_W = \dfrac{W_W}{V_W} & \Rightarrow V_W = \dfrac{W_W}{\gamma_W} \\ G_S = \dfrac{\gamma_S}{\gamma_W} = \dfrac{W_S}{V_S} * \dfrac{1}{\gamma_W} & \Rightarrow V_S = \dfrac{W_S}{G_S * \gamma_W} \\ e = \dfrac{V_V}{V_S} & \Rightarrow V_V = e * V_S = \dfrac{e * W_S}{G_S * \gamma_W} \end{cases}$$

$$S = \frac{W_W * G_S * \gamma_W}{\gamma_W * e * W_S} = \frac{w * G_S}{e} = \frac{0{,}207 * 2{,}65}{1{,}19} = 0{,}461 = 46{,}1\% \quad \text{(Saturado)}$$

Cuando S = 1 $\Rightarrow$ $\omega = e/G_S$ (de **II**)

En **I** $\Rightarrow$ **III**

$$\gamma_{SAT} = \frac{G_S * \gamma_W \left(1 + {}^{e}\!/_{G_S}\right)}{(1+e)} = \frac{\gamma_W (G_S + e)}{(1+e)}$$

$$\gamma_{SAT} = \frac{2{,}65 + 1{,}19}{(1+1{,}19)} = 1{,}75 \, {}^{gr}\!/_{cm^3}$$

$$\gamma' = \gamma_{SAT} - \gamma_W = 1{,}75 - 1 = 0{,}75 \, {}^{gr}\!/_{cm^3}$$

2) DADOS: e = 0,8; ω = 24%; G_S = 2,68; γ_W = 62,4 lb/ft^3 $\Rightarrow$ $\gamma_T, \gamma_d, \gamma_{SAT}$?

De **I** $$g_T = \frac{G_S * g_W (1+w)}{(1+e)} = \frac{2,68 * 62,4(1+0,24)}{(1+0,8)} = 115,20\ {}^{lb}\!/_{ft^3}$$

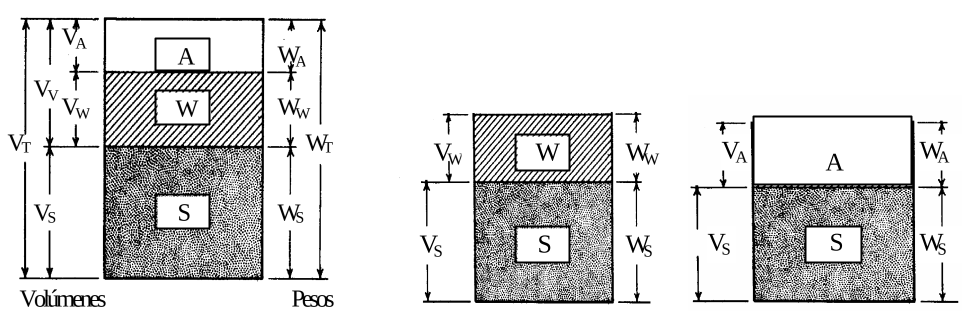
De **II** $$g_d = \frac{G_S * g_W}{(1+e)} = \frac{2,68 * 62,4}{(1+0,8)} = 92,91\ {}^{lb}\!/_{ft^3}$$

De **III** $$g_{SAT} = \frac{g_W (G_S + e)}{(1+e)} = \frac{62,4(2,68+0,8)}{(1+0,8)} = 120,64\ {}^{lb}\!/_{ft^3}$$

Recuérdese que $\gamma_d \le \gamma_T \le \gamma_{SAT}$ y eso ocurre.

3) En las siguientes figuras se muestra una misma muestra del mismo suelo en tres condiciones diferentes: húmeda y en estado natural, y luego de compactada, muestras saturada y seca. Para estos casos, el PU del agua es 1gr / cc. Si la gravedad específica del suelo es 2,7 y el peso de los sólidos vale 50 gr, obtenga los tres pesos unitarios y la porosidad del suelo en cada estado, si:

a) En el primer caso, para suelo húmedo en estado natural, el volumen de vacíos vale 80 cc y la Saturación es del 60%.
b) En el segundo y tercer caso, para suelo saturado y seco, el volumen de vacíos es de 48 cc.
c) Obtenga la densidad o compacidad relativa D_R si el suelo anterior, en estado suelto, incrementa su volumen total del estado natural en el 20%.



4) Para un suelo saturado n= 0,35 y G_S = 2,68. Determine el peso unitario sumergido, el peso unitario seco y el contenido de humedad.

Ir a la página principal