

BARRO 3

INSTITUTO POLITÉCNICO  
NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA U Z

# RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS

ESIAZ  
ING. CARLOS GARCÍA ROMERO  
UNIDAD PROFESIONAL DE ZACATENCO,  
MÉXICO, D.F.  
MAYO, 2016



## INTRODUCCIÓN

Siendo las relaciones gravimétricas y volumétricas un tema fundamental de la Mecánica de Suelos, se pone a disposición de nuestros jóvenes estudiantes estos apuntes, esperando les sean de utilidad.

Todo suelo está formado por partículas sólidas y vacíos. Los sólidos pueden ser orgánicos o inorgánicos como las gravas, arenas, limos y arcillas. Los huecos o vacíos que dejan los sólidos son ocupados por agua y/o aire. Si, los vacíos son ocupados únicamente por agua, el suelo está saturado. Si, el volumen de vacíos es ocupado únicamente por aire el suelo está seco.

Así, en un sistema o suelo se puede definir como fase a cada diferencia homogénea desde el punto de vista físico, separable de otra por medios mecánicos.

Se reconoce como fase sólida la parte del suelo constituida únicamente por las partículas sólidas; fase líquida el volumen del suelo ocupado únicamente por agua, a menos que se defina otro fluido. Finalmente la fase gaseosa, para la mayoría de los problemas, esta fase está constituida por aire.

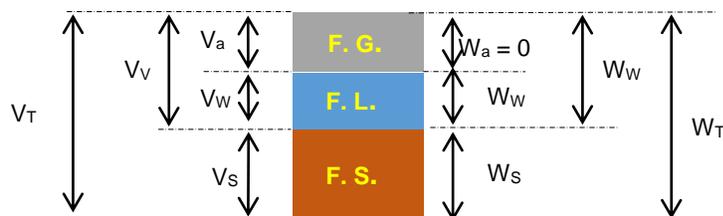
Cada fase ocupa un volumen en el suelo y tiene un peso. Sin embargo, para la fase gaseosa se considera que el aire no tiene peso, en consecuencia el peso total del suelo está definido por la suma de los pesos de las fases sólida más la líquida.

La fase sólida es la que conforma la estructura del suelo, puede ser mineral u orgánica o ambas.

El agua y/o el aire ocupan el volumen de vacíos. El volumen total del suelo es la suma de los volúmenes de sólidos y de vacíos.

Las relaciones entre los pesos y volúmenes de las fases se reconocen como Relaciones Gravimétricas y Volumétricas.

## DIAGRAMA DE FASES





## SIMBOLOGÍA

Aunque no existe una simbología única, si existen símbolos comunes. La siguiente lista presenta los signos o letras generalmente empleados en la Mecánica de Suelos.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
$\omega$	Contenido de agua
$e$	Oquedad o Relación de vacíos
$n$	Porosidad
Cr o Dr	Compacidad relativa o Densidad relativa
Gw o S	Grado de saturación
$\gamma$	Peso volumétrico natural o húmedo
$\gamma_d$	Peso volumétrico seco
$\gamma_s$	Peso volumétrico de los sólidos
$\gamma_{sat}$	Peso volumétrico saturado
$\gamma'$	Peso volumétrico sumergido
$\gamma_w$	Peso volumétrico del agua
$\gamma_0$	Peso volumétrico del agua destilada a 4°C y a una atmósfera de presión = 10 kN/m <sup>3</sup>
Ss o G	Peso volumétrico relativo de los sólidos o densidad de sólidos
$\gamma_w$	Peso volumétrico del agua
Ww	Peso del agua
Ws	Peso de los sólidos
WT	Peso total
Vv	Volumen de vacíos
Vw	Volumen de agua
Vs	Volumen de sólidos
VT	Volumen total
$\rho$	Densidad del suelo
MT	Masa total
Mw	Masa del agua
Ms	Masa de los sólidos

## DEFINICIONES

### *Contenido de agua, $\omega$*

Indica la relación en peso que existe entre el agua y los sólidos, se expresa como:

$$100 \% / W_s = \omega / W_w$$

$$\omega, \% = ( W_w / W_s ) 100$$

La magnitud mínima de  $\omega$ , es 0% cuando el suelo está seco. La máxima no tiene límite, sin embargo se han registrado arcillas con contenidos de agua de 800% o mayores. Para el 800%, por cada Newton de sólidos o suelo seco, se tienen 8 N de agua.

### *Relación de vacíos u oquedad, $e$*

Esta relación volumétrica expresada en decimales indica las veces necesarias para que el volumen de sólidos iguale al volumen de vacíos.



$$1 / V_s = e / V_v$$

$$e = V_v / V_s$$

Si,  $e = 3.0$ ,  $V_s = V_v / 3$ , o bien por cada  $m^3$  de sólidos se tienen  $3.0 m^3$  de vacíos.

Como se citó arriba, cualquier tipo de suelo está formado por sólidos y vacíos. En consecuencia, no existen suelos en los que su volumen de vacíos sea nulo. Así, tampoco existe un límite máximo. Se han registrado, en arcillas de consistencia muy blanda, oquedades o relaciones de vacíos de 8.0 o mayores, es decir, por cada  $m^3$  de sólidos se tienen  $8 m^3$  de vacíos. Los sólidos ocupan únicamente  $1/9$  del volumen total.

#### *Porosidad, n*

Es una relación volumétrica en la cual el 100% corresponde al volumen total y, la porosidad  $n$  al volumen de vacíos, expresado en porcentaje:

$$100 / V_T = n / V_v$$

$$n \% = ( V_v / V_T ) 100$$

Las magnitudes de  $n$  pueden variar de 28% para gravas y 89% para arcillas blandas.

#### *Compacidad relativa, Cr, o densidad relativa, Dr.*

$Cr$  o  $Dr$  expresan el grado de acomodo que tienen las partículas sólidas de un suelo grueso, arenas y/o gravas. En este caso se comparan las oquedades naturales,  $e_{nat}$ , con las oquedades para los estados suelto,  $e_{m\acute{a}x}$  y compacto,  $e_{m\acute{i}n}$ . La densidad relativa está dada por la relación:

$$Dr, \% = ( e_{m\acute{a}x} - e_{nat} ) / ( e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n} ) 100$$

Así, si el suelo en su estado natural alcanza su máximo acomodo, entonces  $e_{nat} = e_{m\acute{i}n}$ , es decir, el suelo está en su estado más compacto. Su capacidad de carga debe ser alta y su compresibilidad mínima.

#### *Grado de saturación, Gw o S*

Esta propiedad indica el porcentaje del volumen de vacíos que está ocupado por agua. Sí,  $G_w = 100\%$ , todo el volumen de vacíos está lleno, únicamente, de agua, no hay gas o aire. Sí,  $G_w = 0\%$ , el suelo está seco, no hay agua.

$$G_w, \% = ( V_w / V_v ) 100$$

De manera natural es imposible encontrar a los suelos saturados al 100% o secos,  $G_w = 0\%$ .



***Peso volumétrico,  $\gamma$***

Como su nombre lo indica es la relación entre el peso del suelo y el volumen que él ocupa. Su expresión es:

$$\gamma = W_T / V_T$$

Sus unidades son: N/m<sup>3</sup>; kN/m<sup>3</sup>. Es incorrecto designar el peso volumétrico en kg/m<sup>3</sup> o t/m<sup>3</sup>, ya que los kilogramos y las toneladas son unidades de masa. El kg/m<sup>3</sup> o el t/m<sup>3</sup> son unidades de densidad.

La magnitud del peso volumétrico, en general, varían de 12 a 22 kN/m<sup>3</sup>, sin que esto sean sus límites.

***Peso volumétrico seco,  $\gamma_d$***

El peso volumétrico seco indica la cantidad en peso de sólidos por cada metro cúbico de suelo. Sus unidades son N/m<sup>3</sup>; kN/m<sup>3</sup> y su expresión es:

$$\gamma_d = W_s / V_T$$

Comúnmente esta característica es empleada para revisar el porcentaje de compactación de un relleno al comparar el  $\gamma_d$  del relleno, en campo, con el  $\gamma_d$  máximo obtenido en laboratorio, mediante una prueba de compactación. El valor de  $\gamma_d$  puede variar de 10 a 20 kN/m<sup>3</sup>.

***Peso volumétrico de los sólidos,  $\gamma_s$***

El peso volumétrico de los sólidos indica la relación entre el peso de los sólidos y el volumen que ellos ocupan. Como cualquier otro peso volumétrico, sus unidades son N/m<sup>3</sup>; kN/m<sup>3</sup>, la expresión que lo define es:

$$\gamma_s = W_s / V_s$$

Su magnitud, en lo general se ubica entre los 15 y 28 kN/m<sup>3</sup>.

***Peso volumétrico saturado,  $\gamma_{sat}$ , kN/m<sup>3</sup>***

Esta propiedad considera que el suelo está, como su nombre lo indica, saturado. Todos sus vacíos están llenos de agua. En consecuencia su magnitud es mayor a la del  $\gamma$ . Su expresión está dada por la igualdad:

$$\gamma_{sat} = W_T / V_T$$



**Peso volumétrico sumergido,  $\gamma'$ ,  $kN/m^3$ .**

El  $\gamma'$  corresponde al peso por unidad de volumen del suelo sumergido en agua. Por el Principio de Arquímedes: "Todo cuerpo parcial o totalmente sumergido experimenta un empuje ascendente de igual magnitud que el peso del volumen desalojado del fluido que lo contiene", de esta manera, para el suelo se tiene:

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w$$

Siendo:

$\gamma_w$  peso volumétrico del agua, el cual puede igualarse a  $10 \text{ kN/m}^3$

Habrá que distinguir entre los pesos volumétricos saturados y sumergidos. El suelo puede estar saturado y no sumergido o bien estar sumergido pero no estar saturado.

**Peso volumétrico relativo de los sólidos o Densidad de sólidos o Gravedad específica,  $S_s$  o  $G_s$**

Esta característica adimensional relaciona el peso volumétrico de los sólidos,  $\gamma_s$ , con el peso volumétrico del agua,  $\gamma_w$ , de esta manera su magnitud varía, en lo general entre los 1.5 y 2.8. Su expresión matemática está dada por la igualdad:

$$S_s = G_s = W_s / V_s \gamma_0$$

Siendo  $\gamma_0$  el peso volumétrico del agua a  $4^\circ\text{C}$  y a una atmósfera de presión igual a  $9.81 \text{ kN/m}^3$ , para fines prácticos:

$$\gamma_0 = \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

VALORES TÍPICOS DE LA DENSIDAD DE SÓLIDOS

TIPO DE SUELO	$S_s$
Arena	2.65 – 2.67
Arena limosa	2.67 – 2.70
Arcilla inorgánica	2.67 – 2.80
Suelos con micas o hierro	2.75 – 3.00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser menor de 2.00

FUENTE: MANUAL DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE SRH

**Densidad,  $\rho$**

La densidad es expresada como la masa por unidad de volumen. Matemáticamente se expresa como:

$$\rho = M_T / V_T$$

Sus unidades son:  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{t/m}^3$ . Su magnitud generalmente se ubica entre los 1.2 y  $2.2 \text{ t/m}^3$ .



## APLICACIONES

La solución de los problemas de relaciones gravimétricas y volumétricas se pueden resolver mediante sistemas de ecuaciones o bien considerando a algunas de las variables unitaria, como por ejemplo el volumen total de  $1 \text{ m}^3$ .

Los siguientes problemas tienen por objeto familiarizar al estudiante en el manejo de las ecuaciones fundamentales.

Cualquier duda favor de consultarla en la Academia de Geotecnia o con su profesor.

1.-  $50 \text{ cm}^3$  de una muestra de arena húmeda, pesa  $0.95 \text{ N}$ . Después de secado, su peso fue de  $0.75 \text{ N}$ . Si, su densidad de sólidos es de  $2.67$ , determinar lo siguiente:

- Relación de vacíos,  $e$
- Porosidad,  $n$
- Grado de saturación,  $S$  o  $G_w$
- Peso volumétrico,  $\gamma$
- Peso volumétrico seco,  $\gamma_d$

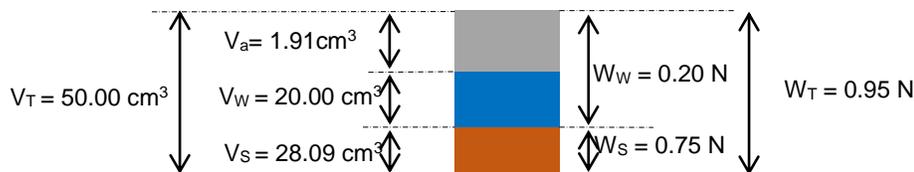
### Solución

$$S_s = (W_s / V_s \gamma_0) = 2.67; V_s = (W_s / S_s \gamma_0) = 28.09 \text{ cm}^3$$

$$V_v = V_T - V_s = 50.00 - 28.09 = 21.91 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_0 = W_w / V_w; V_w = 0.20 \times 10^{-3} / 10 = 20 \text{ cm}^3$$

$$V_a = V_v - V_w = 21.91 - 20.00 = 1.91 \text{ cm}^3$$



$$e = V_v / V_s = 21.91 / 28.09 = 0.78$$

$$n = V_v / V_T = 21.91 / 50.00 = 0.44 = 44\%$$

$$G_w = V_w / V_T = 20.00 / 21.91 = 91.28\%$$

$$\gamma = W_T / V_T = 0.95 / 50 = 0.019 \text{ N/cm}^3 = 19 \text{ kN/m}^3$$

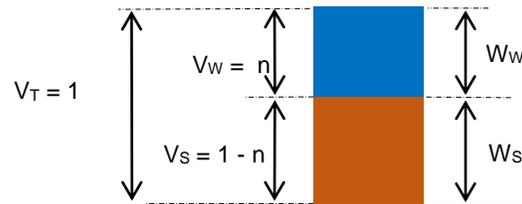


$$\gamma_d = 0.75 / 50 = 0.015 \text{ N/cm}^3 = 15 \text{ kN/m}^3$$

2.- Deducir las expresiones para calcular el contenido de agua y el peso volumétrico de un suelo saturado en términos de su porosidad y densidad de sólidos.

Solución

Como:  $G_w = 100\%$ ;  $V_w = V_v$



$$n = V_v / V_T$$

Para:

$$V_T = 1.00 \text{ m}^3$$

$$n = V_v = V_w$$

$$\gamma_w = W_w / V_w; W_w = \gamma_w V_v = \gamma_w n$$

$$S_s = W_s / V_s \gamma_0$$

$$W_s = S_s V_s \gamma_0 = S_s (1 - n) \gamma_0$$

a)

$$\omega = W_w / W_s$$

$$\omega = \gamma_w n / S_s (1 - n) \gamma_0$$

b)

$$\gamma = W_T / V_T$$

$$\gamma = [ \gamma_w n + S_s (1 - n) \gamma_0 ]$$



3.- Una muestra de suelo confinado lateralmente por medio de un anillo metálico, indeformable, tal que las deformaciones laterales son nulas, tiene un espesor inicial de 20.0 mm. Al ser cargado su espesor disminuye a 17.0 mm. Sí, la relación de vacíos inicial es de 2.95, ¿cuál será su relación de vacíos final? La disminución de altura se debe ÚNICAMENTE a la reducción de vacíos.

Solución

$$H_0 = 20.0 \text{ mm}$$

$$H_f = 17.0 \text{ mm}$$

$$A_0 = A_f = A$$

$$e_0 = 2.95$$

Dado a que el volumen de sólidos es constante,  $V_{S0} = V_{Sf} = V_S$

$$e = V_V / V_S$$

$$e_0 = V_{V0} / V_S; V_{V0} = e_0 V_S$$

$$e_f = V_{Vf} / V_S; V_{Vf} = e_f V_S$$

$$V_{T0} = V_{V0} + V_S = 20 A = (1 + e_0) V_S$$

$$V_S = 20 A / (1 + 2.95) = 20 A / (3.95)$$

$$V_{Tf} = V_{Vf} + V_S = 17 A = (1 + e_f) V_S$$

$$V_S = 17 A / (1 + e_f)$$

$$17 / (1 + e_f) = 20 / (3.95)$$

$$e_f = [17 (3.95) / 20] - 1 = 2.36$$

$$e_f = 2.36$$

4.- Se proyecta la construcción de una presa flexible. Para compactar el material es necesario incrementar su contenido agua del 8% al 18%. Se requiere conocer la cantidad de agua en metros cúbicos que se deberán agregar por cada metro cúbico de suelo suelto, si su peso volumétrico suelto actual es de 15.8 kN/m<sup>3</sup>

Solución

$$\omega_0 = 8\% = 0.08$$

$$\omega_f = 18\% = 0.18$$

$$\gamma = 15.8 \text{ kN/m}^3 \quad W_T / V_T$$



Se incrementará la cantidad de agua en el suelo. La cantidad de sólidos no cambia,  $W_s = \text{constante}$  y  $V_s = \text{constante}$

Dado que:

$$\gamma = W_T / V_T$$

$$\omega = W_W / W_S; W_W = \omega W_S$$

Para:

$$V_T = 1.00 \text{ m}^3; W_T = 15.8 \text{ kN}$$

$$W_T = W_W + W_S = \omega W_S + W_S = W_S (1 + \omega)$$

$$W_S = W_T / (1 + \omega) = 15.8 / (1 + 0.08) = 14.63 \text{ kN}$$

La cantidad de agua por agregar por cada metro cúbico de suelo suelto es de:

$$\Delta\omega = 18\% - 8\% = 10\%$$

$$\Delta W_W = \Delta\omega W_S = 0.10 (14.63) = 1.463 \text{ kN}$$

$$\gamma_w = W_W / V_W$$

$$\Delta V_W = \Delta W_W / \gamma_w = 1.463 / 10 = 0.15 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de suelo suelto}$$

5.- Una muestra de arena seca de  $12.0 \text{ kN/m}^3$  de peso volumétrico, y con densidad de sólidos de 2.68, es expuesta a la lluvia por 72 h. Considerando que el volumen de la arena permanece constante, pero su grado de saturación aumenta el 24%, calcular el peso volumétrico y el contenido de agua del suelo después de la lluvia.

### Solución

Arena o suelo seco,  $\omega_0 = 0\%$ ;  $G_{W0} = 00\%$

$$G_{Wf} = 24\%$$

$$S_s = 2.68$$

$$\gamma_d = 12.00 \text{ kN/m}^3$$

$$V_{T0} = V_{Tf} = V_T$$



$$G_{wf} = 24\%$$

$$G_w = V_w / V_v$$

$$S_s = W_s / V_s \gamma_0$$

$$\gamma_d = W_s / V_T$$

Para:

$$V_T = 1.00 \text{ m}^3$$

$$W_s = 12.00 \text{ kN}$$

$$V_s = W_s / S_s \gamma_0 = 12.00 / [(2.68) 10] = 0.45 \text{ m}^3$$

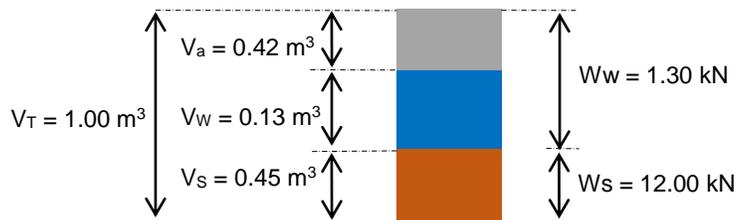
$$V_v = 1.00 - 0.45 = 0.55 \text{ m}^3$$

$$G_w = V_w / V_v$$

$$0.24 = V_w / 0.55; V_w = 0.13 \text{ m}^3$$

$$\gamma_w = 10 = W_w / V_w; W_w = V_w \gamma_w$$

$$W_w = 1.30 \text{ kN}$$



$$\gamma = W_T / V_T = 13.30 / 1.00 = 13.30 \text{ kN/m}^3$$

$$\omega = W_w / W_s = 1.30 / 12.00 = 10.83\%$$

6.- En función de los datos proporcionados en la primera columna de la siguiente tabla, determinar las expresiones que se solicitan en las columnas subsecuentes. Considerar el suelo está saturado.



**RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DATOS	Ss	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	e	$\omega$	n
$\gamma_d, Ss$						
$Ss, \gamma_{sat}$						
$Ss, \omega$						
$Ss, n$						
$Ss, e$						
$\gamma_d, \gamma_{sat}$						
$\gamma_d, \omega$						
$\gamma_d, n$						
$\gamma_d, e$						
$\gamma_{sat}, \omega$						
$\gamma_{sat}, n$						
$\omega, e$						
$\omega, n$						

\*FUENTE: A. JUMIKIS.- SOIL MECHANICS

Algunas celdas no pueden ser llenadas.

7.- Para la construcción de un relleno de 600,000 m<sup>3</sup>, con porosidad del 20% y contenido de agua del 10%, se cuenta con dos posibles bancos de préstamo cuyas propiedades índice se presentan tabulados a continuación. Previo a la explotación del banco Lobos Plateados se deberá terminar el banco Burros Blancos.

BANCO DE PRÉSTAMO	RELACIÓN DE VACÍOS EN ESTADO SUELTO	VOLUMEN TOTAL SUELTO	CONTENIDO DE AGUA	DENSIDAD DE SÓLIDOS
Nombre	----	m <sup>3</sup>	%	----
Burros Blancos	1.00	300,000	05	2.60
Lobos Plateados	2.00	2'500,000	40	2.70

Se requiere determinar:

- a) La cantidad total, en m<sup>3</sup>, de agua por remover en el material del banco Lobos Plateados a fin de ser empleado en el relleno.
- b) El peso volumétrico medio del relleno.

Solución:

Datos de relleno:

$$V_{TR} = 600,000 \text{ m}^3$$

$$n_R = 20\% = 0.20$$

$$\omega_R = 10\% = 0.10$$

$$n = V_v / V_T$$

$$e = V_v / V_s$$



Para:

$$V_T = 1.0 \text{ m}^3; V_v = n$$

Así:

$$e = n / (1 - n)$$

Para el relleno:

$$e_R = 0.2 / (1 - 0.2) = 0.25$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE RELLENO QUE PUEDE CONSTRUIRSE CON EL BANCO BURROS BLANCOS

Características del banco Burros Blancos:

Sí:

$$e_{BB} = V_{V_{BB}} / V_{S_{BB}} = 1.00, \text{ entonces } V_{V_{BB}} = V_{S_{BB}}$$

$$V_{T_{BB}} = 300,000 \text{ m}^3 = V_{V_{BB}} + V_{S_{BB}} = 2 V_{S_{BB}}$$

$$V_{S_{BB}} = 150,000 \text{ m}^3 = V_{S_R}$$

Para:

$$e_R = 0.25 = V_{V_R} / V_{S_R}; V_{V_R} = 0.25 (150,000) = 37,500 \text{ m}^3$$

$$V_{T_R} = 37,500 + 150,000 = \mathbf{187,500 \text{ m}^3} \text{ construidos de relleno con el total del Banco Burros Blancos}$$

VOLUMEN FALTANTE:

$$600,000 - 187,500 = 412,500 \text{ m}^3$$

Estos 412,500 m<sup>3</sup> se construirían con el banco Lobos Plateados

Para:

$$V_T = 412,500 \text{ m}^3 \text{ con } e_R = 0.25 = V_v / V_s; V_v = 0.25 V_s$$

$$412,500 = 0.25 V_s + V_s; \mathbf{V_s = 330,000 \text{ m}^3}$$

Mismos que deberán ser cortados y transportados del banco Lobos Plateados, con una  $e = 2.00$

$$2.00 = V_{V_{LP}} / V_s; \mathbf{V_{V_{LP}} = 2.00 (330,000) = 660,000 \text{ m}^3}$$



Por lo tanto, se requieren del banco Lobos Plateados explotar un volumen total de:

$$V_{TLP} = V_{VLP} + V_s = 660,000 + 330,000 = \mathbf{990,000 \text{ m}^3}$$

LA CANTIDAD DE AGUA POR RETIRAR PARA DISMINUIR SU CONTENIDO DE AGUA DEL 40% AL 10%

$$-\Delta w = 40\% - 10\% = 30\% = 0.30$$

$$0.30 = W_w / W_s$$

$$V_s = 330,000 \text{ m}^3$$

$$S_s = 2.7 = W_s / V_s \gamma_0; W_s = 2.7 V_s \gamma_0$$

$$\Delta W_w = 0.3 W_s = 2'673,000 \text{ kN}$$

Para:

$$\gamma_w = W_w / V_w = 10 \text{ KN/m}^3$$

El volumen de agua será de:

$$V_w = W_w / \gamma_w = \mathbf{267,300 \text{ m}^3}$$

PESO VOLUMÉTRICO DEL RELLENO BANCO BURROS BLANCOS

$$S_{s \text{ BB}} = 2.60 = W_s / V_s \gamma_0; W_s = 2.6 V_s \gamma_0$$

$$V_s = 150,000 \text{ m}^3$$

$$W_s = 2.6 (150,000) \gamma_0 = 3'900,000 \text{ kN}$$

Para:

$$\omega = 10\%$$

$$W_w = 0.10 W_s = 390,000 \text{ kN}$$

$$W_T = 4'290,000 \text{ kN}$$

$$\gamma_{BB} = W_T / V_T = 4'290,000 / 187,000 = 22.94 \text{ kN/m}^3$$

PESO VOLUMÉTRICO DEL RELLENO BANCO LOBOS PLATEADOS



$$V_s = 330,000 \text{ m}^3$$

$$S_s \ 2.70 = W_s / V_s \ \gamma_0; \ W_s = 2.7 [ (330,000)10 ]$$

$$W_s = 8'910,000 \text{ kN}$$

Para:

$$\omega = 0.10; \ W_w = 0.1 \ W_s$$

$$W_w = 891,000 \text{ kN}$$

$$W_T = W_w + W_s = 891,000 + 8'910,000 = 9'801,000 \text{ kN}$$

$$\gamma_{LP} = 9'910,000 / 412,500 = 23.76 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma = \frac{\sum \gamma V_T}{\sum V_T} = \{ 22.94 ( 187,500 ) + 23.76 ( 412,500 ) \} / ( 187,500 + 412,500 )$$

$$\gamma = \mathbf{23.50 \text{ KN/ m}^3}$$

8.- Un suelo tiene un peso volumétrico de 16.4 kN/m<sup>3</sup>, grado de saturación del 75% y contenido de agua de 36%. Calcular las siguientes propiedades:

- Peso volumétrico seco
- Densidad de sólidos o peso específico relativo de los sólidos
- Peso volumétrico de los sólidos
- El peso del agua por m<sup>3</sup> de suelo necesaria para obtener una saturación completa

Solución:

Datos del suelo:

$$\gamma = 16.40 \text{ kN / m}^3 = W_T / V_T$$

$$S = 75\% = V_w / V_v; \ V_w = 0.75 \ V_v$$

$$\omega = 36\% = W_w / W_s; \ W_w = 0.36 \ W_s$$

Para:

$$V_T = 1.00 \text{ m}^3$$

$$W_T = W_w + W_s = 16.40 = 0.36 \ W_s + W_s = 16.40$$

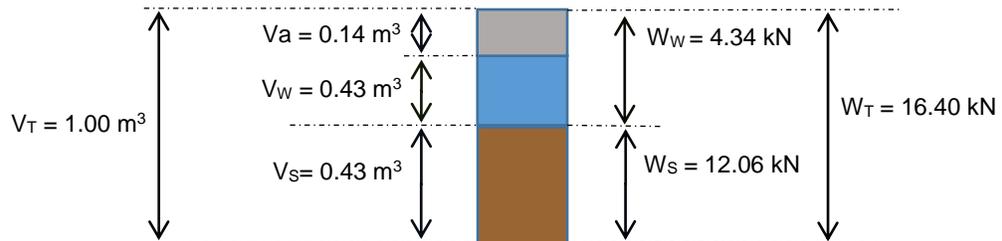
$$W_s = 16.4 / 1.36 = 12.06 \text{ kN}$$

$$W_w = 0.36 (12.06) = 4.34 \text{ KN}$$



$$\gamma_w = W_w / V_w; V_w = W_w / 10 = 0.43 \text{ m}^3$$

$$V_v = V_w / 0.75 = 0.57 \text{ m}^3; V_s = 0.43 \text{ m}^3$$



Para  $V_w = V_v$ ;  $S = 100\%$

$$\Delta V_w = 0.14 \text{ m}^3$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN} / \text{m}^3 = \Delta W_w / \Delta V_w; \Delta w = 10 \Delta V_w = 1.4 \text{ kN}$$

$$\gamma_d = W_s / V_T = 12.06 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$S_s = W_s / V_s \gamma_0 = 12.06 / 0.43(10) = 2.80$$

$$\gamma_s = W_s / V_s = 28.05 \text{ kN} / \text{m}^3$$

9.- Determinar la expresión con la cual se pueda calcular el contenido de agua de un suelo saturado, en función de la porosidad, peso volumétrico saturado y peso volumétrico del agua.

$$\omega = f(n, \gamma_{\text{sat}}, \gamma_w)$$

Para  $G_w = S = 100\%$ ;  $V_w = V_v$

$$\gamma_{\text{sat}} = W_T / V_T = (W_w + W_s) / V_T$$

$$\gamma_w = W_w / V_w = 10 \text{ kN} / \text{m}^3$$

Como:  $V_w = V_v$

$$\omega = W_w / W_s$$

$$V_v = n V_T = V_w; \gamma_w = W_w / V_w; W_w = \gamma_w V_w = \gamma_w n V_T$$

$$W_T = \gamma_{\text{sat}} V_T$$



$$W_s = W_T - W_w = \gamma_{\text{sat}} V_T - \gamma_w n V_T = V_T (\gamma_{\text{sat}} - n \gamma_w)$$

$$\omega = \gamma_w n / \gamma_{\text{sat}} - n \gamma_w$$

### PROBLEMAS PROPUESTOS

1.- Para una arena con peso volumétrico de los sólidos de una arena es de 26 kN/m<sup>3</sup> y relación de vacíos de 0.57, calcular:

- a) Peso volumétrico seco
- b) Peso volumétrico saturado
- c) Peso volumétrico sumergido

*Respuesta*

- a)  $\gamma_d = 16.56 \text{ kN/m}^3$
- b)  $\gamma_d = 20.19 \text{ kN/m}^3$
- c)  $\gamma' = 10.19 \text{ kN/m}^3$

2.- Una muestra inalterada de arcilla pesa 3.50 N con su contenido natural de agua. Después de ser secada al horno a 110°C, por un espacio de 24 h, pesa 2.04 N. Para determinar su volumen, la muestra fue sumergida en mercurio, desplazando 242.6 cm<sup>3</sup>, si su densidad de sólidos es de 2.70, calcular:

- a) Contenido natural de agua.
- b) Relación de vacíos.
- c) Grado de saturación.

*Respuesta*

- a) **71.57%**
- b) **2.21**
- c) **87.43%**

3.- Para la construcción de una pista del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, NAICM, se necesita construir un relleno de 25 m de ancho por 3,219 m de longitud y, 50 cm de arena limosa, compactada, con 30% de porosidad.

Para lo cual se cuenta con un banco de préstamo cuyo contenido de agua es de 8.2%; densidad de sólidos de 2.67. En su estado suelto la porosidad del suelo del banco es de 46%. Se requiere determinar:

- a) Los pesos volumétricos secos del suelo en los estados suelto y compacto, en kN/m<sup>3</sup>.
- b) El espesor necesario en estado suelto de la arena limosa para que al compactarlo alcance los 50 cm de espesor requerido, con una porosidad del 30%.



RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

- c) El grado de saturación del suelo compacto.
- d) El número de metros cúbicos de sólidos y de agua transportados del banco de préstamo a la pista para construir 1 km de longitud.
- e) El número de viajes de un camión de 9 m<sup>3</sup> de capacidad, necesarios para la construcción de la pista,

Respuesta

- a) **Peso volumétrico suelto = 15.60 kN/m<sup>3</sup>; peso volumétrico compacto = 20.41 kN/m<sup>3</sup>**
- b) **65 cm**
- c) **25.41%**
- d) **V<sub>s</sub> = 8,750 m<sup>3</sup>; V<sub>w</sub> = 1,890 m<sup>3</sup>**
- e) **5,790 viajes**

4.- Para la construcción de un relleno de 900,000 m<sup>3</sup>, con porosidad del 25% y contenido de agua del 17%, se cuenta con dos posibles bancos de préstamo cuyas propiedades índice se presentan tabulados a continuación.

BANCO DE PRÉSTAMO	RELACIÓN DE VACÍOS EN ESTADO SUELTO	PESO TOTAL SUELTO	CONTENIDO DE AGUA	DENSIDAD DE SÓLIDOS
Nombre	----	GN	%	----
Lobos Plateados	1.50	4,7	10	2.67
Burros Blancos	2.20	30.1	40	2.75

Después de haber sido explotado en su totalidad el banco Lobos Plateados, se requiere determinar:

- a) La cantidad total, en m<sup>3</sup>, de agua por agregar al material del banco Lobos Plateados.
- b) El peso volumétrico medio del relleno.

Respuesta

Se puede construir con el banco Lobos Plateados:

$$213,333.33 \text{ m}^3$$

Faltan por construir:

$$900,000 - 213,333.33 = 686,666.67 \text{ m}^3$$

Se requieren del banco Burros Blancos:

$$1'652,130.33 \text{ m}^3$$

- a) Cantidad de agua por agregar al banco Lobos Plateados para incrementar su contenido de agua del 10% al 17% es de:

$$29,904 \text{ m}^3$$

- b) Peso volumétrico promedio del relleno:



**24.01 KN/m<sup>3</sup>**

5.- Para la construcción de un relleno, con 30% de porosidad, se dispone del banco EL SALVAJE, el cual, en su estado original tiene un volumen de 800,000 m<sup>3</sup>, con un peso volumétrico de 19.0 kN/m<sup>3</sup> y contenido de agua de 7% y, densidad de sólidos de 2.71. Al ser excavado, el suelo experimenta un abudamiento del 20%, es decir, el volumen total del suelo es de 960,000 m<sup>3</sup>. Durante el corte, transporte, tendido y compactado, se tiene una pérdida del 2% de su volumen, sin modificar su contenido original de agua. Para la construcción del relleno se tendrá que incrementar el contenido de agua al 13%. Para el relleno con porosidad del 30%, calcular: a) La cantidad total de agua, en decímetros cúbicos por agregar para incrementar su contenido de agua del 7% al 13%; b) El peso volumétrico del suelo compacto; c) La altura que alcanzará el suelo compactado, si la proyección horizontal del relleno es de 490 x 1,500 m.

*Respuesta*

- a) **83'511,386.94 dm<sup>3</sup>**
- b) **21.41 kN/m<sup>3</sup>**
- c) **99.92 cm**

**PROPIEDADES ÍNDICES O FÍSICAS DE LOS SUELOS**

TABLA 1.- COMPACIDAD RELATIVA DE ARENAS

Cr	ARENA
%	Descripción
<15	Muy suelta
15 - 50	Suelta
50 - 70	Media
70 - 85	Compacta o densa
85 - 100	Muy compacta o muy densa

FUENTE: LAMBE.- MECÁNICA DE SUELOS

TABLA 2.- ALGUNAS PROPIEDADES ÍNDICES DE SUELOS

SUELO	n	e	ω	ρ <sub>sat</sub>	γ <sub>d</sub>	γ <sub>sat</sub>
Descripción	%	---	%	g/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Arena uniforme suelta	46	0.85	32	1.89	14.0	18.5
Arena uniforme densa	34	0.51	19	2.09	17.2	20.5
Arena bien graduada suelta	40	0.67	25	1.99	15.6	19.5
Arena bien graduada densa	30	0.43	16	2.16	18.2	21.2
Arcilla glaciár blanda	55	1.20	45	1.77	12.0	17.4
Arcilla glaciár firme	37	0.60	22	2.07	16.7	20.3
Arcilla blanda ligeramente orgánica	66	1.90	70	1.58	9.10	15.5
Arcilla blanda muy orgánica	75	3.00	110	1.43	6.70	14.4
Bentonita blanda	84	5.20	194	1.27	4.20	12.5

FUENTE: KARL VON TERZAGHI y R. B. PECK.- MECÁNICA DE SUELOS EN LA INGENIERÍA PRÁCTICA



## RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS

### ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TABLA 3.- PREFIJOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

$10^n$	PREFIJO	SIMBOLO
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	K
$10^2$	hecto	H
$10^1$	deca	Da
$10^0$	---	uno
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

#### Bibliografía:

- A. R. JUMIKIS.- Soil Mechanics
- SARH.- Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos
- J. E. BOWLES.- Physical and Geotechnical Properties of Soils
- KARL VON TERZAGHI Y R. B. PECK.- Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica
- C. GARCÍA ROMERO.- Apuntes de la clase de Mecánica de Suelos I