

BOLETÍN TÉCNICO M.I.G



U.N.I

F.I.C
POST-GRADO

CUARTA FASE.

NÚMERO-4
ENERO - ABRIL-2002

EDITORIAL.

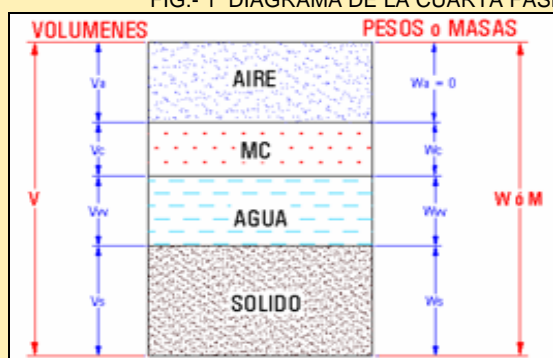
Después de una década en que se tratará la cuarta fase en el libro de Mecánica de Suelos del autor, y por las consultas de estudiantes, profesionales, especialistas y consultores sobre la concepción, criterio, significado y aplicaciones en geotecnia, presento una síntesis del estado del conocimiento sobre el particular.

Dado a que, no es común en la literatura técnica y en los textos de Mecánica de Suelos, menos se trata en ningún curso de la formación profesional del ingeniero Civil, ni en el Post grado en el Perú, y por su importancia en el estudio e investigación de los suelos no saturados o parcialmente saturados, resulta un nuevo enfoque para analizar los problemas en suelos especiales como las arcillas expansivas, suelos colapsables, o los que se presentan en la compactación de rellenos y pavimentos en caminos, presas, cimentaciones, estabilidad de taludes etc.

Recordemos que la mecánica de suelos tradicional, si bien considera al suelo formado de tres fases, aire, líquido y sólido, cuyos extremos son el estado seco con un contenido de humedad $\omega = 0\%$, y el saturado $\omega = 100\%$ que no es precisamente lo normal en la naturaleza, pues corresponden a los países con clima templados, en cambio es más frecuentes en las regiones áridas y semiáridas donde la condición de suelo no saturado existe y donde el criterio de la cuarta fase es importante. Zeevaert (1967) aplicó en el estudio del suelo de México y sugirió el problema teórico que presentamos en el Ejemplo-1, e inicialmente fueron Fredlund y Morgenstern (1977) los que propusieron la cuarta fase, considerando como una interfase independiente más entre el aire y agua libre, y se atribuyó que esta interfase, estaría formada por una película de escasas moléculas de espesor y que tendría propiedades distintas a la del agua y aire que la separa como se muestra en el diagrama (Fig.-1), que están en concordancia con las componentes principales de cada una de las fases de un suelo no saturado formulado por Yoshimi y Osterberg, (1963) (Fig.-2). Otros estudios e investigaciones sobre suelos no saturados que mencionan la cuarta fase se dieron por Muzár (1980), Martínez (1991) Fredlund y Rehardjo (1993), Thomé (1993) y Barrera (2002).

El efecto de la presión efectiva de poros positiva en el agua (+ u_w) que fuera considerada por Terzaghi permitió explicar en forma sencilla el comportamiento de los suelos saturados, con la cuarta fase se introduce el nuevo criterio la presión de poros negativa en el aire (- u_a). En un análisis tensional, se considera que las fases se equilibran bajo las presiones aplicadas en las partículas sólidas y la **membrana contráctil (MC)** y las otras fases fluyen bajo las presiones aplicadas (aire y agua). Para disponer de datos y parámetros en el análisis del comportamiento de un problema particular se considera las relaciones peso-volumen, como si fuese un sistema trifásico incluyendo el peso de la membrana como parte del peso del agua y no se considera su volumen.

FIG.- 1 DIAGRAMA DE LA CUARTA FASE



$$\rho = \frac{M}{V} \therefore \rho_a \cdot \rho_b \cdot \rho_c$$

$V = \text{VOLUMEN ESPECIFICO}$

$$V = V / M = 1 / \rho$$

$\gamma = \text{PESO VOLUM. UNITARIO}$

$$\gamma = \rho g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

FIG.- 2
COMPONENTES PRINCIPALES
DE CADA FASE



DIRECTOR



ALBERTO MARTÍNEZ VARGAS.
M.I.M.S. UNAM-México

PROFESOR EMÉRITO FIC-UNI.
ASESOR, CONSULTOR EN
INGENIERIA GEOTECNICA

DISEÑO / DIAGRAMACIÓN.

ALBERTO MARTÍNEZ JR.

ESTUDIANTE FIC. UNI.

COLABORADOR.

ING. JOSE MARTÍNEZ DEL ROSARIO
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA.

RECTOR U.N.I.:
Ing° ROBERTO MORALES

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DECANO : Dr. JAVIER PIQUE

JEFE DEL POST-GRADO:
Ing° FRANCISCO CORONADO

Calle 3, # 853, La Florida
Rímac. Lima-Perú.

4 81 62 78.
a_martínez@terra.com.pe

CUARTA FASE

ALBERTO MARTÍNEZ VARGAS.

PROFESOR EMÉRITO U.N.I
M.L.M.S-UNAM-MÉXICO

AIRE OCLUIDO EN EL SÓLIDO

En 1964, cuando el Ing° José Tong Matos, nos proporcionó una nuestra problema de arenas cuarzosa de Arequipa, cuyo peso específico era menor que del cuarzo, flotaba en el agua y para determinar el peso específico real era casi imposible por lo que se planteo el problema teórico; que por más de 5 años se propuso como examen dando para el domicilio y con la consulta de los profesores y especialistas de las diferentes Universidades, como no se diera la respuesta, se publico en el libro de mecánica de suelos del autor en 1991.

EJEMPLO-1.

Determinar la relación de vacíos real de una arena cuarzosa volcánica de Arequipa. Por el estudio al microscopio binocular en el L.g.g.a F.I.C-U.N.I, se determinó que existía aire ocluido dentro de las partículas sólidas del cuarzo.

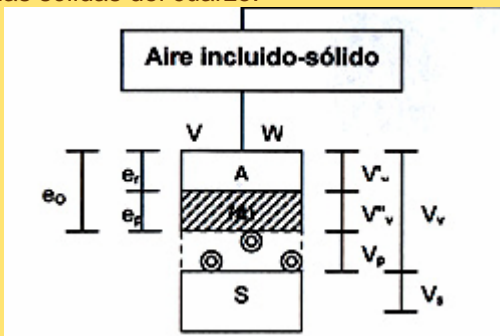


Fig-3

SOLUCIÓN: Considerando en el diagrama unitario una cuarta fase, correspondiente al aire contenido en las partículas de cuarzo (Fig -3) y asignado los valores correspondientes a los volúmenes y haciendo lo mismo con las relaciones de vacíos, según $V = f(e)$. Donde V_v = Volumen total de vacíos, V_s = Volumen de sólidos, y V_p = Volumen de las partículas con oclusión de aire donde

$$V_v = V'_v + V''_v \quad (1.1)$$

Donde V'_v = Volumen del aire libre y V''_v = Volumen del aire ocluido.

Por definición la relación de vacíos convencional es :

$$e_p = \frac{V''_v}{V_p} \quad (1.2)$$

Del diagrama unitario la relación de vacíos real es:

$$e_r = \frac{V'_v}{(V_s + V''_v)} = \frac{(V_v - e_p V_p)}{(V_s + e_p V_p)} \quad (1.3)$$

Dividiendo en (1.3) ambos miembros entre V_s y haciendo

$$R = \frac{V_p}{V_s} \quad (1.4)$$

Finalmente se tiene:

$$e_r = \frac{(e_c - e_p R)}{(1 + e_p R)} \quad (1.5)$$

PROBLEMA

SÓLIDO EN LÍQUIDO- SUELO CONGELADO

EJEMPLO-2

Determine las propiedades físicas de un suelo congelado considerando la influencia del hielo, como la cuarta fase del comportamiento visco-plástico.

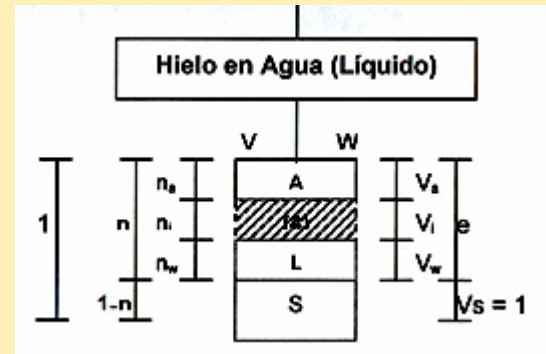


Fig-4

SOLUCIÓN :

El modelo unitario del suelo congelado se da en la (Fig.-4). Para evaluar correctamente las propiedades físicas deberían conocerse los siguientes parámetros que definen la propiedad de las fases:

Considere que la densidad seca es,	γ_d .
El peso específico del suelo congelado ,	γ_c .
Contenido de humedad,	ω .
Contenido de hielo,	ω_i .
Cantidad de agua no congelada,	ω_w .

La transformación del agua en hielo no se produce de la misma forma en arenas que en las arcillas, en estas últimas a temperaturas más bajas; prácticamente la congelación completa del agua que tiene lugar a temperaturas inferiores a -20° C. Así mismo el agua a la presión atmosférica.

Su densidad máxima es de 1.0 gr/cm^3 , a la temperatura de 4°C , y su transformación a hielo, con un aumento de volumen de 9%, con la que adquiere una densidad de $\gamma_i = 0.9168 \text{ gr/m}^3$. Y se extrae una energía equivalente al calor latente de fusión de $Q_L = 80 \text{ Cal / Kg}$. se debe tener presente el tamaño de los cristales de hielo y su distribución, ya que depende de la granulometría, de la rapidez e intensidad de congelamiento y el grado de saturación.

Partiendo de estos valores se calcula aproximadamente los parámetros térmicos de un suelo saturado en su estado congelado mediante las expresiones:

PARA SUELOS CONGELADOS.

$$C_1 = \frac{\gamma_d}{\gamma_c \left(c_s + \omega \frac{c_i}{100} \right)}, \text{ y } K_1 = K_s(1-n) + K_i n, \quad (2.1)$$

PARA SUELOS NATURAL.

$$C_2 = \frac{\gamma_d}{\gamma \left(c_s + \omega \frac{c_w}{100} \right)}, \text{ y } K_2 = K_s(1-n) + K_w n \quad (2.2 \text{ y } 2.3)$$

Donde los C son calores específicos respectivamente al agua y hielo y partículas sólidas y los K igualmente a los coeficientes de conductibilidad térmica.

SUELO ORGÁNICO DENTRO DEL SÓLIDO

EJEMPLO-3

Encuentre la relación de vacíos de un suelo con material orgánico, asuma o determine el peso unitario del suelo como γ_{sm} y del material orgánico γ_{so} y determine:

- ¿ Cual es el peso unitario de la combinación con el suelo orgánico siendo el contenido orgánico M_o ?
- ¿ Cuál es la relación de vacíos de este suelo, si se conoce que el contenido de agua ω y su grado de saturación S_r ?

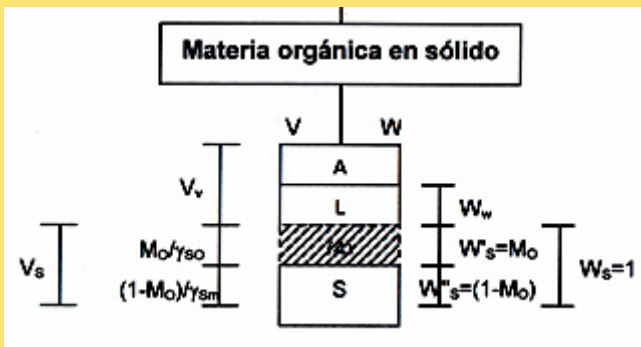


Fig-5

SOLUCIÓN

1. En el diagrama unitario (Fig.-5), introduciendo la cuarta fase como el contenido orgánico M_o y deduciendo los valores de V y W , donde:

Volumen de la materia orgánica:

$$V_{so} = \frac{M_o}{\gamma_{so}} \quad (3.1)$$

Y volumen de sólidos:

$$V_s = \frac{M_o}{\gamma_{so}} + \frac{(1 - M_o)}{\gamma_{sm}} \quad (3.2)$$

Se tiene

$$\gamma_s = \frac{\gamma_m}{M_o \left(\frac{\gamma_{sm}}{\gamma_{so}} - 1 \right) + 1} \quad (3.3)$$

Análisis de (3.3) cuando, $M_o = 100\%$, γ_{sm} es máximo y $\gamma_o = \gamma_{so}$ ver (Fig.-6).

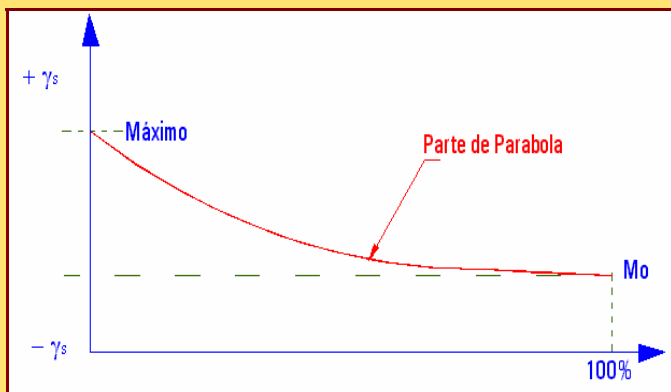


Fig.-6

2. Por definición:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad \text{y} \quad V_v = \frac{V_o}{S_r}$$

finalmente:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_o}{S_r V_s} \quad (3.4)$$

$$V_o = \frac{W_o}{\gamma_o} = \omega \frac{\gamma_s}{\gamma_o} \quad (3.5)$$

Reemplazando en (3.4), (3.3 y 3.5) y simplificando :

$$e = \frac{\omega \gamma_s \gamma_{sm}}{S_r \gamma_m [M_o (\gamma_{sm} - \gamma_{so}) + \gamma_{so}]} \quad (3.6)$$

Notas:

1.- En el Ejemplo-1, La muestra de arena pumítica de Arequipa, fue proporcionada por el Decano Departamental de Lima del C.I.P. Ing° José Tong Matos en 1964 , cuando era jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de ingeniería civil de la U.N.I .

Es en esa oportunidad que se identificó, que estas arenas tenían un peso específico menor que la del mineral de cuarzo que corresponde a 2.65 gr/cc, por lo que se pensaba existía un error en las mediciones o en la falta de calibración de los aparatos usados.

Nuestra investigación preliminar en el Laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada fue descubrir por medio del microscopio binocular que las partículas de cuarzo tenían cavidades dentro de la masa de cuarzo, es decir que estas estaban llenas de aire lo que ahora denominamos aire incluido dentro del sólido, que es una de las formas de la cuarta fase; en las arenas pumíticas del Sur del Perú es común y sus vacíos estaban llenos de gases, que ha sido reemplazados por aire.

2.- En el Ejemplo -2 , El efecto del Hielo como una cuarta fase al transformarse de líquido a sólido es de gran importancia en la ingeniería de cimentaciones sobre todo en suelos no saturados y en nuestras punas , no solo por su aumento de volumen y efecto de esfuerzo adicional que produce, sino por su persistente y repetitivo efecto diario de erosión que raras rocas resisten.

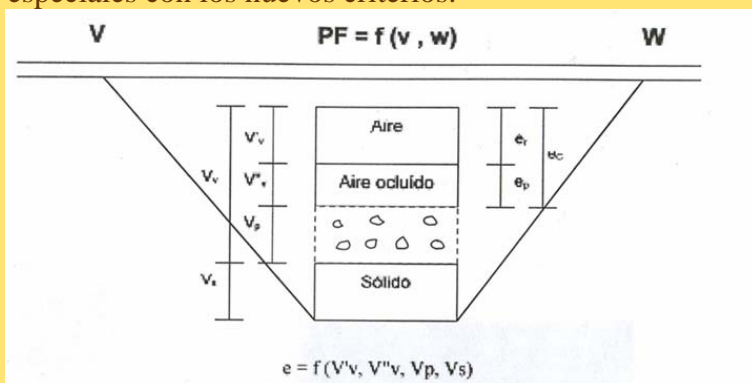
3.- En el Ejemplo -3 , La presencia de materia orgánica en los suelos y/o perfiles de suelos es de suma importancia por que no se le considera cuando es parte dentro de las fases del suelo ,y se cometen errores en la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas y las normas como especificaciones indican que debe clasificarse como Pt y que son turbas y otros suelos altamente orgánicos y no deben construirse sobre ellos, y es más lamentable que durante la exploración se pueda confundir por su color y el producto que se obtiene de las características de un suelo orgánico común cuando no lo es como el caso en el perfil del suelo del Puente Yuracyacu que cometió este desafortunado desliz al no identificar que se trataba de un carbón bituminoso y más aún cuando los resultados de su resistencia eran altos y se dudó, por una mala estimación y error en confundir un carbón con un Pt.

CONCLUSIONES.

1. La cuarta fase en los suelos no saturados es un criterio más que considera la presencia de una fase dentro de otra y permite determinar su influencia en su comportamiento.
2. Su importancia en mecánica de suelos es relevante como los ejemplos presentados.
3. El estudio riguroso de un suelo N.S es de cuatro fases.
4. Existe un amplio campo de aplicación de la cuarta fase en problemas especiales en geotecnia, en la investigación de pavimentos asfálticos y terraplenes.

RECOMENDACIONES.

1. A las Universidades para que incorporen en los cursos de Mecánica de suelos los conceptos de la cuarta fase.
2. Equipar y actualizar los laboratorios e Institutos de investigación de las Universidades para el estudio e investigación de los suelos no saturados.
3. Evaluar y definir el nivel de los estudios, proyectos, investigaciones donde no se ha considerado la mecánica de suelos no saturados.
4. Propiciar estudios e investigaciones en suelos no saturados especiales con los nuevos criterios.



Aire en la fase líquida **Aire o gas en la fase sólida** **Sólido (hielo) en la fase líquida**

OCLUIDO	ABIERTO	OCLUIDO	ABIERTO	OCLUIDO	ABIERTO

LEYENDA :

	Color
1. Partículas.....F. sólida.....	Marrón
2. Agua intersticial.....F. Líquida.....	Azúl
3. Gas o aire.....F. Gaseosa.....	Bianco
4. Hielo.....F. Sólida del líquido.....	Amarillo

BASE DE DISCUSIÓN

1. ¿La información de una fase más en el suelo para la geotécnica es adecuada?
2. ¿Qué sabemos de la membrana contráctil ?
3. ¿En que tipo de problema es mejor conocido ?
4. Cuales son las propiedades y parámetros de los suelos no saturados necesarios que requieren de la cuarta fase?
5. ¿Cuál es el nivel de errores por omisión de la cuarta fase?
6. ¿Qué limitaciones enfrentamos?
7. La información proporcionada en el ejemplo-1 es referencial, asumida, inferida?
8. ¿El estudio de M.S. S y N.S para cimentación y estabilidad de taludes que interés tiene la cuarta fase?

BIBLIOGRAFÍA.

1. Leonardo Zeevaert (1967). *Apuntes de Mecánica de suelos*. UNAM-México.
2. Fernando Muzár Laped (1980). *Geotecnia y cimientos Tomo III Madrid -España*.
3. Alberto Martínez Vargas (1991). *Mecánica de suelos- Geotecnia para Ingenieros*. USMP-Fl. Lima -Perú.
4. D.C Fredlund and H. Rehardjo (1993). *Soill Mechanics for Unsaturad Soil*. John Wiley.
5. Fernando Themé Jucá (1993). *Comportamiento de los suelos parcialmente saturados bajo succión controlada*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid-CEDES- España.
6. Mauricio Barrera Bucio (2002). *Estudio experimental del comportamiento Hidro-Mecánico de los suelos colapsables*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya-Barcelona -España.

NOTA.- El Boletín es un medio de difusión y discusión técnica independiente al servicio principalmente de los estudiantes universitarios del ante grado y post grado, profesores v inaeenieros en aeneral.