

BARRO 1

INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA U Z

PROPIEDADES ÍNDICES DE LOS SUELOS

ESIAZ
ING. CARLOS GARCÍA ROMERO
UNIDAD PROFESIONAL DE
ZACATENCO, MÉXICO.
MAYO, 2013



DEDICATORIA

Sirvan estas serie de apuntes, "BARRO", como un homenaje a los alumnos de Ingeniería Civil de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, en particular a mis estudiantes que sin duda alguna han dejado en mi alma huellas imborrables de su férreo carácter para enfrentar las dificultades que la vida les impone, Dios los continúe bendiciendo.

INTRODUCCIÓN

¿Qué son? ¿Para qué sirven? Cuando, estando en Zacatenco, nos preguntan la ubicación de algún sitio, por ejemplo ¿hacia dónde queda La Villa?, por lo general señalamos con el dedo índice hacia el Este y decimos hacia allá. De igual manera las propiedades o características índices de los suelos nos deben servir para inferir, cualitativamente el comportamiento mecánico de los suelos.

Las propiedades índices son:

- Contenido natural de agua, ω
- Peso volumétrico natural, γ
- Grado de saturación, G_w
- Densidad de los sólidos, S_s
- Granulometría
- Plasticidad o Límites de Atterberg, límite líquido, LL, límite plástico, LP, índice de plasticidad, Ip, contracción lineal, LC
- Relación de vacíos u oquedad, e
- Porosidad, n
- Contracción lineal, CL

En años recientes los símbolos han sufrido algunos cambios, propuestos principalmente por la American Society for Testing Materials, ASTM. Así, a la S_s se le llama gravedad específica de los sólidos, G_s aunque también se le conoce como "peso específico relativo de los sólidos. Los límites líquido y plástico, LL y LP, ahora también se les conoce como ω_L y ω_P , respectivamente. Asimismo, al grado de saturación G_w , se le conoce como "S", aunque también se utiliza "S" para los asentamientos.

Así, estas características queda definidas como:

CONTENIDO DE AGUA, ω

El contenido de agua es la relación entre las masas del agua, M_w , que contiene el suelo y la del suelo seco, M_s , entonces:

$$\omega \% = (M_w / M_s) 100$$

Así, su magnitud puede variar desde 0%, cuando el suelo está seco, aunque de forma natural no se encuentra seco. Su máxima magnitud no se ha definido aún. Sin embargo, se conocen suelos cuyos



contenidos de agua o de humedad alcanzan el 800% y 1,500%, es decir, por cada Newton de agua se tienen 8 o 15 Newtons de sólidos, la masa de suelo es muy blanda, se comporta como una suspensión.

PESO VOLUMÉTRICO NATURAL, γ

Como su nombre lo indica es la relación entre el peso de suelo, W_T , y el volumen que el mismo ocupa, V_T , así:

$$\gamma = W_T / V_T$$

Su magnitud, por lo general, varía de 11 kN/m³ a 23 kN/m³. Siendo 11 kN/m³ para arcillas saturadas, de origen lacustre y, 23 kN/m³ para suelos friccionantes, arenas y gravas, muy compactas. Estos valores no son límites, se pueden tener suelos con magnitudes mayores a los 23 o menores a los 11 kN/m³.

DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS, S_s , O GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS, G_s

En esta propiedad se relacionan el peso volumétrico de los sólidos con el peso volumétrico del agua a 4°C de temperatura y a una atmósfera de presión, su expresión es:

$$G_s = \gamma_s / \gamma_0$$

$$\gamma_s = W_s / V_s$$

$$\gamma_0 = W_w / V_w = 10 \text{ kN/m}^3 *$$

*magnitud aproximada para el agua que se encuentra en el suelo de manera natural. Cabe aclarar que el valor de 9.81 kN/m³ corresponde a agua destilada a 4°C de temperatura y, a una atmósfera de presión.

Los valores S_s varían de 2.65 a 3.00 para arenas y suelos con hierro. En algunos suelos orgánicos su densidad puede ser menor de 2.0.

PLASTICIDAD, LÍMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA, LL, LP, I_p , LC

Atterberg define cinco estados de consistencia que pueden presentar los suelos finos. Supóngase una arcilla a la cual se le incrementa su contenido de agua, desde cero, es decir seca, hasta saturada, para éstas condiciones su consistencia decrecerá desde muy dura hasta muy blanda. Con el siguiente croquis se explica la variación de la consistencia con el contenido de agua.

ESTADOS DE CONSISTENCIA

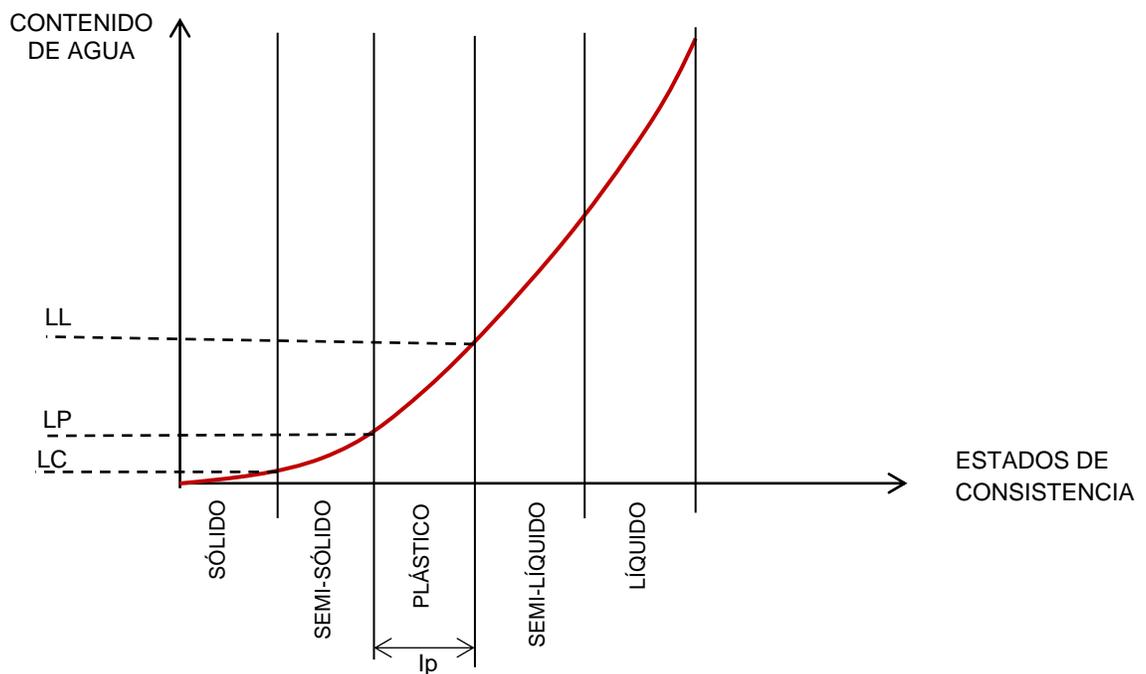
Estado Sólido. Se define como el estado sólido aquel en el cual el suelo se comporta como un sólido. Al disminuir su contenido de agua, la pérdida de volumen es de tal magnitud que se puede despreciar. Tiene la consistencia de una charmusca o trompada, son dulce de leche macizos.



Estado Semi-sólido. En este estado el suelo se comporta como un sólido, pero al perder humedad disminuye su volumen de manera apreciable. Tiene la consistencia de un queso.

Estado Plástico. Para esta condición el suelo se comporta plásticamente, es decir, al ser cargado se deforma inmediatamente y, al ser descargado queda deformado. No hay rebote elástico. El suelo tiene la consistencia de mantequilla blanda.

Finalmente para los estados semi-líquido y líquido, los contenidos de agua son tales que el suelo exhibe la consistencia de una crema y de un licuado, respectivamente.



El Índice Plástico, I_p , define el rango en el cual el suelo presenta un comportamiento plástico.

Conviene señalar que los límites son contenidos de agua, al igual que el índice plástico.

RELACIÓN DE VACÍOS U OQUEDAD, e

Ésta queda definida como el cociente entre el volumen de vacíos, V_v , y el volumen de sólidos, V_s .

$$e = V_v / V_s$$

Sus magnitudes pueden variar de 0.20, para depósitos glaciares, como por ejemplo arenas limosas muy compactas, a 10 o mayores para depósitos lacustres de arcillas saturadas de consistencia muy blanda.



No existen suelos con oquedades nulas, ya que cualquier suelo por compacto que se encuentre siempre tendrá vacíos. Para los suelos de origen lacustre como las arcillas vírgenes de la Cuenca del Valle de México, saturadas, de consistencia muy blanda y muy compresible, con oquedades de 6 u 8, por cada metro cúbico de sólidos se tendrán 6 u 8 m³ de agua.

POROSIDAD, n

La porosidad es la relación entre el volumen de vacíos, V_V , y el volumen total, V_T , se acostumbra expresarla en porcentaje.

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

La n podrá tener magnitudes entre el 17% y 90%

GRADO DE SATURACIÓN, S ó G_W

En esta propiedad se relacionan los volúmenes del agua que se presentan en el volumen de vacíos del suelo, con este volumen, de vacíos. También se acostumbra expresarlo en porcentaje, esto es:

$$G_W \% = S \% = (V_W / V_V) 100$$

Teóricamente su máxima magnitud es 100%, todos los vacíos del suelo están llenos de agua, así de manera natural no existe el 100% de saturación, el agua que se encuentra en los suelos siempre tiene gases, aire, disueltos. Asimismo, el mínimo valor no es cero ya que bajo cualquier condición los vacíos siempre contiene cierta cantidad de agua.

CONTRACCIÓN LINEAL, CL

Esta característica del suelo es una prueba ideada por los ingenieros de la entonces SOP y consiste en determinar la contracción que sufre el suelo saturado se seca, en un molde rectangular de 1.0 x 1.0 cm de sección transversal por 10 cm de longitud. La expresión que define la contracción lineal es:

$$CL \% = (L_F / L_0) 100$$

L_F longitud final del suelo seco
 L_0 longitud inicial del suelo saturado

Para las arcillas lacustres muy plásticas y compresibles, la CL es mayor del 25% y, para arenas con limos no plásticos la contracción lineal es menor de 5%.

Para las arcillas se puede determinar, experimentalmente, una relación entre el I_p y la CL. Así para las arcillas del Valle de México esta relación varía de 3 a 5, esto es:

$$I_p = \text{de 3 a 5 veces la CL}$$



GRANULOMETRÍA

Esta propiedad, entre otras aplicaciones, es empleada para la clasificación de los suelos, el diseño de mezclas de concreto tanto hidráulico como asfáltico, diseño de filtros, también es útil para verificar la consistencia de los resultados entre pruebas o ensayos.

ALGUNAS APLICACIONES DE LAS PROPIEDADES ÍNDICES

1.- Se tiene una arcilla clasificada como CH, de alta plasticidad, en el cual su ω natural es menor que su límite plástico, LP, ¿Qué problemas se pueden presentar en una cimentación y en un corte?

R.- Si el contenido de agua es menor que el límite plástico, entonces se encuentra en estado semi-sólido o bien sólido. Para la cimentación su capacidad de carga será alta con pequeños asentamientos. El corte, dependiendo de su inclinación y profundidad, probablemente se pueda excavar verticalmente sin ningún soporte o ademe.

2.- Para el mismo tipo de suelo, ahora el contenido de agua es mayor al límite líquido, $\omega > LL$.

R.- Ahora la arcilla está saturada, por ser CH es altamente compresible y de muy baja resistencia al cortante. En la cimentación, lo más probable es que no falle por cortante, pero sí es seguro que se presenten importantes asentamientos diferidos y diferenciales, cuya magnitud llegue a ser tal que ponga en riesgo la estabilidad de la superestructura.

En el corte, prácticamente es imposible efectuar la excavación sin ademes o tablaestacas. En estos suelos se deberá revisar la posibilidad de la falla de fondo.

Por estar el suelo saturado, se espera un nivel de aguas freáticas superficial, en consecuencia habrá que considerar el abatimiento del NAF con un sistema de bombeo.

3.- Qué problemas se pueden presentar en una cimentación si se tienen dos suelos, A y B, con las siguientes características:

SUELO	OQUEDAD	PESO VOLUMÉTRICO	CONTENIDO DE AGUA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Letra	--	kN/m ³	%	%	%
A	0.40	17.8	35	230	60
B	5.5	12.4	450	470	180

R.- En el suelo A por cada metro cúbico de vacíos se tienen 2.5 m³ de sólidos y, su peso volumétrico es del orden de 1.8 veces mayor al del agua. El contenido de agua o de humedad es menor al límite plástico, en consecuencia su estado de consistencia es de semi-sólido a sólido, tendrá la consistencia de un queso a un caramelo o trompada. Se infiere que no se presentarán importantes problemas de capacidad de carga ni de asentamientos. En caso de presentarse falla por cortante, esta será de tipo frágil, es decir será una falla general.

Para el suelo B como el contenido de agua es semejante al límite líquido, este suelo está prácticamente saturado. Por su oquedad, por cada metro cúbico de sólidos se tienen 5.5 m³ de agua, su peso volumétrico se aproxima al del agua, 10 kN/m³. Su estado de consistencia es de semi-líquido a líquido, su consistencia es semejante al de una crema o a un licuado.



PROPIEDADES ÍNDICES DE LOS SUELOS
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

En este caso se esperan asentamientos por consolidación primaria o diferidos muy importantes, que puede afectar a las construcciones e instalaciones subterráneas vecinas. Asimismo, baja capacidad de carga. Las excavaciones tendrán que ser ademadas.

Es importante señalar que el suelo alcanzará la consistencia de crema o incluso de licuado cuando su estructura natural se rompa, por ejemplo por remoldeo, como sucede en la determinación del límite líquido cuando el suelo es colocado en la copa de Casagrande para ser golpeado.

En caso de presentarse la falla por cortante, esta será de tipo plástico, primero se tendrán importantes deformaciones antes de fallar. La falla se clasifica como local, es obvio que su capacidad de carga es menor comparada con suelos con falla general.

4.- En el caso de mejoramiento de suelos por medio de la compactación, el Dr. Karl von Terzaghi a través del Departamento de Caminos del estado de Ohio, EEUU, recomienda que los suelos para terraplenes deberán cumplir con las siguientes características.

TERRAPLÉNES DE HASTA 3 m DE ALTURA		TERRAPLÉNES DE MÁS de 3.0 m DE ALTURA	
Densidad seca máxima	Grado de compactación	Densidad seca máxima	Grado de compactación
kg/m ³	%	kg/m ³	%
< 1,439	Suelo inadecuado no debe ser empleado	< 1,519	Suyelo inadecuado, no debe ser empleado
1,500 a 1,649	100	1,520 a 1,649	102
1,650 a 1,759	98	1,650 a 1759	100
1,760 a 1,919	95	1760 a 1,919	98
1,920 o mayor	90	1,920 o mayor	95

En lo general, un suelo con alto peso volumétrico se compacta con mayor facilidad y menor agua que otro de menor peso volumétrico. Los suelos con pesos volumétricos secos máximos menores a los 14 kN/m³, consumen más agua para ser compactados, su porcentaje de finos es mayor del 25%, si éstos finos son plásticos, los problemas durante el proceso de compactación se incrementan considerablemente.

Para que un relleno no presente problemas durante su construcción ni durante su operación se recomienda que la densidad seca máxima, $\rho_{dm\acute{a}x}$, sea mayor a los 1,600 kg/m³ y, que sea clasificado como SM o SC, con finos de baja plasticidad.

5.- Explicar las diferencias entre suelos saturados y suelos sumergidos. ¿Qué problemas se pueden presentar en una arena fina, sumergida, sujeta a cargas dinámicas? ¿Cuál será el comportamiento de una arcilla de alta plasticidad saturada, cuando es sujeta a cargas de larga duración?

BIBLIOGRAFÍA.

- KARL VON TERZAGHI Y R. B. PECK.- Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica
CASTRO FENÁNDEZ, M.- Apuntes de la clase de Mecánica de Suelos, carrera de Ingeniería Civil, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.
GARCÍA ROMERO, C.- Apuntes de la clase de Mecánica de Suelos, carrera de Ingeniería Civil, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.