

BARRO 4

INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA U Z

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESIAZ
ING. CARLOS GARCÍA ROMERO
UNIDAD PROFESIONAL DE ZACATENCO,
MÉXICO.
MARZO, 2020



INTRODUCCIÓN

Uno de los primeros pasos en el estudio del suelo es su clasificación para su caracterización y en consecuencia inferir cualitativamente su comportamiento en las diferentes obras civiles, como son, entre otros, cimentaciones, rellenos para terraplenes, estructuración de pavimentos. Asimismo, para el pago de excavaciones y la programación de pruebas de laboratorio.

En esta ocasión se tratan los sistemas o criterios de clasificación más empleados en nuestro medio, estos son:

- a) Sistema unificado de Clasificación de Suelos, SUCS
- b) American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO
- c) Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT
- d) Clasificación de Materiales para el Pago de Excavaciones de Petróleos Mexicanos, PEMEX
- e) Clasificación de Comisión Federal de Electricidad, CFE
- f) Excavabilidad Franklin
- g) Arabilidad

ANTECEDENTES

Previo a la descripción de los diferentes sistemas arriba citados, conviene establecer algunas definiciones de los suelos según su tamaño y plasticidad.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LO SUELOS

GRAVAS Y ARENAS

En general estos suelos son fragmentos de la roca madre. Contienen los mismos minerales de aquella, o bien contienen los minerales más resistentes a la meteorización. Son producto del intemperismo físico más que químico.

Se clasifican como Gravas o Arenas en función a su tamaño como se indica en la siguiente Tabla 1.

TABLA 1.- TAMAÑOS DE LOS SUELOS SEGÚN EL SUCS

SUELO	TAMAÑO
Nombre	mm (pulgadas o malla)
<i>Suelos grueso</i>	76.2 – 0.074 (3" – No 200)
Grava	76.2 – 4.76 (3" – No 4)
Grava gruesa	76.2 – 19.1 (3" - ¾")
Grava fina	19.1– 4.76 (¾" - No 4)
Arena	4.76 – 0.074 (No 4 – No 200)
Arena gruesa	4.76 – 2.00 (No 4 - No 10)
Arena media	2.00 – 0.42 (No 10 - No 40)
Arena fina	0.42 - 0.074 (No 40 - No 200)
<i>Suelos finos</i>	Menores a 0.074 (< No 200)
Limos y arcillas	Se distinguen por su plasticidad



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Para la separación por tamaños se utiliza una serie de mallas o tamices; de acuerdo con la US Bureau of Standard las aberturas de las mallas son, Tabla 2:

TABLA 2.- ABERTURAS DE LAS MALLAS

MALLA	ABERTURA	MALLA	ABERTURA
	mm		mm
3"	76.2	No. 10	2.00
2"	50.8	No. 20	0.840
1 1/2"	38.1	No. 40	0.420
1"	25.4	No. 60	0.250
3/4"	19.1	No. 100	0.149
1/2"	12.7	No. 200	0.074
3/8"	9.52		
No. 4	4.76		

La forma de las gravas y arenas puede ser de angulosa a redondeada según sea el desgaste que haya sufrido al ser transportados sus granos por el agua y/o el viento, así como por la gravedad. Su textura varía de rugosa a lisa.

En gravas o arenas con la misma granulometría y compacidad relativa, pero unas redondeadas y lisas y otras angulosas y rugosas, la resistencia al esfuerzo cortante será mayor en las segundas.

Algunas de sus características físicas son:

TABLA 3.- POROSIDAD, PESO VOLUMÉTRICO Y CONTENIDO DE AGUA QUE SATURA A LAS ARENAS.

SUELO	POROSIDAD	PESO VOLUMÉTRICO	CONTENIDO DE AGUA
Tipo	%	kN/m ³	%
Arena de un solo tamaño, suelta	46	18.5	32
Arena de un solo tamaño, compacta	34	20.5	19
Arena bien graduada, suelta	40	19.5	25
Arena bien graduada, compacta	30	21.2	16

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

LIMOS

Los limos y las arcillas pasan la malla número 200. A los limos no plásticos se les conoce como "polvo de roca" o arenas muy finas. Los limos generados por la alteración química de las rocas pueden llegar a exhibir plasticidad y cohesión, pero menores al de las arcillas plásticas o francas.

ARCILLAS

Las arcillas se caracterizan por los tamaños de sus partículas sólidas, menores a 2 μm , por su forma laminar, intercambio iónico e historia geológica, carga eléctrica superficial negativa, importante área o superficie específica, carga superficial, adsorción, floculación, dispersión, alta compresibilidad, elevada plasticidad y cohesión. Asimismo, por la absorción de moléculas polares de agua, las cuales al introducirse en el espacio interlaminar de las arcillas provocan un incremento en el de su estructura laminar de hasta 15 o más veces su volumen original.

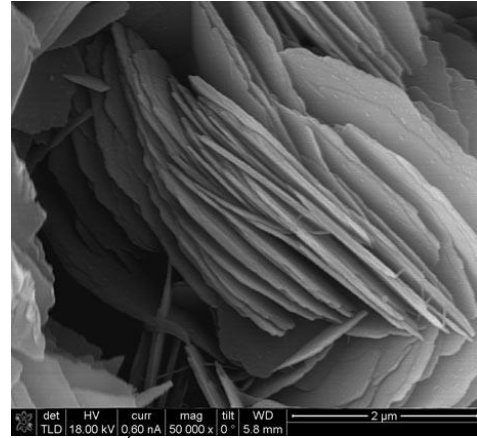


CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

La estructura laminar de las arcillas fue observada por primera vez en 1931 al aumentar su tamaño hasta 200,000 veces por medio del microscopio electrónico desarrollado por los ingenieros alemanes Ernest August Friedrich Ruska y Max Knoll.

Las arcillas en estado húmedo son plásticas y secas son frágiles. Son originadas, entre otros, por la alteración hidrotermal de rocas ígneas como los granitos, riolitas, dioritas y basaltos.



FUENTE: IMÁGENES DE ARCILLAS, GOOGLE

FOTOGRAFÍA 1.- PARTÍCULAS LAMINARES DE ARCILLA

Otras características principales de interés son su elevada relación de vacíos y gran compresibilidad.

El uso de las arcillas se remonta hasta el principio de la humanidad en la que, de acuerdo a la Biblia, Dios tomó arcilla para formar al hombre. Así, su aplicación se extiende prácticamente a todas las áreas, desde la alfarería, juguetería, industria automotriz, papelería, industria farmacéutica, industria eléctrica, productos de belleza, industria de la construcción y un largo etcétera.



FOTOGRAFÍA 2.- BALATAS DE CERÁMICA, ARCILLA

En la construcción su aplicación se remonta a los principios de la humanidad, como ejemplo se tiene los Jardines Colgantes de Babilonia construidos, según algunos historiadores, en el siglo VI antes de Cristo por el rey Nabucodonosor.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



FUENTE: GOOGLE

FOTOGRAFÍA 3.- CIUDAD FORTIFICADA DE AÏT BEN HADDOU, PRÓXIMA AL RÍO OUNILD, DATA DEL SIGLO XI



FUENTE: GOOGLE

FOTOGRAFÍAS 4 Y 5.- CIUDAD DE CHAN-CHAN, CONSTRUIDA EN EL SIGLO XV, AL NORTE DEL PERÚ, FRENTE AL MAR. ES LA CIUDAD MÁS GRANDE DEL MUNDO CONSTRUIDA CON BARRO, CON MÁS DE 20 km² DE EXTENSIÓN.



FUENTE: GOOGLE

FOTOGRAFÍA 6.- PAQUIMÉ, UBICADA EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO

También se tiene las ciudades de Djenne localizada en el delta del Río Níger y, Shibam ubicada en Yemen, construida hace más de 1,700 años, cuenta con edificios de hasta 30 m de altura.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Por desgracia, otro uso que se le ha dado a las arcillas es de alimento. En algunos países de África y Haití fabrican galletas de arcilla, “bonbon terre” como complemento alimenticio y en ocasiones como su único alimento.



FUENTE: GOOGLE

FOTOGRAFÍA 7.- PREPARANDO LAS BONBON TERRE PARA SER COMIDAS

TIXOTROPÍA

Se define tixotropía cuando las arcillas, con contenido de agua similar a su límite líquido, como cualquier otro coloide, al ser amasadas o remoldeadas, pierden sus resistencia, al dejarlas en reposo, sin variar su contenido de agua, adquieren nuevamente resistencia. Si el contenido de natural de agua es semejante al límite plástico, no existe posibilidad de que se presente la tixotropía.

SENSITIVIDAD

La relación entre la resistencia a la compresión simple entre la arcilla inalterada y la misma pero amasada se denomina sensibilidad, S_t . En la mayoría de las arcillas la sensibilidad varía entre 4 y 8. Para sensibilidades mayores de 8 las arcillas son ultrasensitivas.

PLASTICIDAD

Los coloides ofrecen propiedades únicas, entre otras, el movimiento browniano y la floculación cuando existe un electrolito, también tienen plasticidad. Pero la plasticidad la tienen solo ciertos coloides como las arcillas, las cuales también poseen cohesión.

CONSISTENCIA

La consistencia es la adherencia entre partículas sólidas mediante la cual el suelo presenta resistencia a la deformación o a la falla. La figura 1 representa la variación de la consistencia de los suelos finos respecto a su contenido de agua una vez que ha sido remoldeado, amasado. Si a un suelo fino, arcilla, con bajo contenido de agua, se incrementa su contenido de agua disminuye su resistencia a la deformación, modifica su consistencia, además disminuye su resistencia al esfuerzo cortante.

Se tiene registrado que el primero en reportar la plasticidad de las arcillas fue el ingeniero químico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846 – 1916), el cual definió que la plasticidad de las arcillas está en función de sus minerales, contenido de agua, tamaño y forma de sus partículas, y que es un fenómeno vinculado con el agua adsorbida y su superficie específica.

De acuerdo con el Dr. Karl von Terzaghi a partir de la consistencia que es una propiedad cualitativa, se puede estimar la resistencia al esfuerzo cortante de manera cuantitativa. La Tabla 4 presenta una



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

descripción de la consistencia y su relación con la resistencia a la compresión simple, según Karl von Terzaghi:

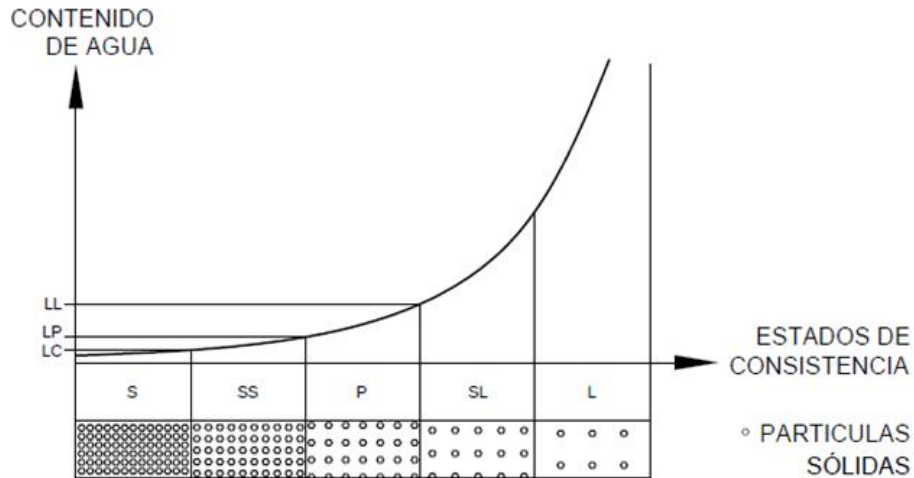


FIGURA 1.- ESTADOS DE CONSISTENCIA

Siendo:

- S estado sólido. El suelo se comporta como un sólido, al secarse la disminución de su volumen es despreciable.
- SS estado semisólido. Ídem al anterior, pero al ser secado la disminución de su volumen no es despreciable.
- P estado plástico. Se comporta plásticamente, acepta deformaciones rápidas sin agrietamientos ni rebote elástico.
- SL estado semilíquido. El suelo se comporta como un fluido viscoso.
- L estado líquido. El comportamiento del suelo es semejante al de una suspensión.
- LL límite líquido. Contenido de agua con el cual el suelo, en la copa de Casagrande, cierra, a los 25 golpes, una ranura de dimensiones estándar, al ser golpeado con una frecuencia de 2 golpes por segundo.
- LP límite plástico.- Contenido de agua para el cual una barra de 3 mm de diámetro se agrieta al ser rodada con la palma de la mano sobre de una superficie lisa no absorbente.
- LC límite de contracción volumétrica. Contenido de agua máximo para el cual el suelo al ser secado presenta una disminución de volumen despreciable.

TABLA 4.- RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

CONSISTENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE
Descripción	kPa
Muy blanda	<25
Blanda	25 – 50
Media	50 – 100
Firme	100 – 200
Muy firme	200 – 400
Dura	>400

FUENTE BARRO 2



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

LÍMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA

Fue el Dr. Karl von Terzaghi quien al darse cuenta del potencial de las investigaciones de A. M. Atterberg, las aplica a los estudios de la mecánica de suelos finos. Asimismo, Arthur Casagrande estandariza las pruebas y equipos de Atterberg en la determinación de los "límites de Atterberg".

ESTADOS DE CONSISTENCIA DE SUELOS REMOLDEADOS

De ésta manera, según Atterberg, se establecen los estados de consistencia y los "límites de consistencia" o de Atterberg para los suelos finos, fotografía 8.



FOTOGRAFÍA 8.- EJEMPLOS DE LOS ESTADOS DE CONSISTENCIA

CONSISTENCIA RELATIVA

Se define a consistencia relativa, C_R , a la relación que existe entre la diferencia entre el límite líquido menos el contenido natural de agua y el índice plástico, y es semejante a la densidad relativa de los suelos friccionantes.

Si el contenido natural de agua es mayor al límite líquido, la C_R será negativa. La arcilla al ser amasada adquiere la consistencia de un fluido viscoso, semejante al de una crema.

En cambio si el contenido natural de agua es menor al límite líquido, la C_R será positiva, la arcilla difícilmente podrá ser amasada.

COLOR

Es quizá la más obvia de las propiedades del suelo. El color puede variar desde el blanco al negro pasando por el rojo y el café, con un sinnúmero de posibles combinaciones y tonos.

El color depende del tipo de minerales y materia orgánica que pueda contener el suelo y del grado de oxidación. Habrá que considerar que el tono del color del suelo se torna claro durante el proceso de secado.

A continuación se presenta una relación entre el color y su probable origen.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TABLA 5.- COLORES Y SU PROBABLE ORIGEN

COLOR	ORIGEN PROBABLE
Rojo, café, amarillo	Presencia de magnesio o elevada descomposición de materia orgánica
Azul, verde	Componentes ferrosos, pirita
Gris, blanco	Ausencia de materiales colorantes

CARTA DE PLASTICIDAD

Arthur Casagrande desarrolla con base a resultados de pruebas de laboratorio una gráfica que denomina Carta de Plasticidad, figura 2, en la que Casagrande define las zonas: CH, CL, OH o MH, OL o ML, CL – ML.

- C arcilla, *clay*
- O orgánico, *organic*
- M limo, *del sueco mjäla*
- H alta plasticidad, *high*
- L baja plasticidad, *low*

Así:

- CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, $LL > 50\%$, CH
- CL Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, $30\% < LL < 50\%$, CL
- CL Arcillas inorgánicas de baja plasticidad, $LL < 30\%$, CL
- OH o MH Limos inorgánicos de alta plasticidad y arcillas orgánicas, $LL > 50\%$, OH o MH
- ML Limos inorgánicos de mediana plasticidad y limos orgánicos, $30\% < LL < 50\%$, ML
- CL-ML Limos inorgánicos de baja plasticidad, $LL < 30\%$, CL – ML

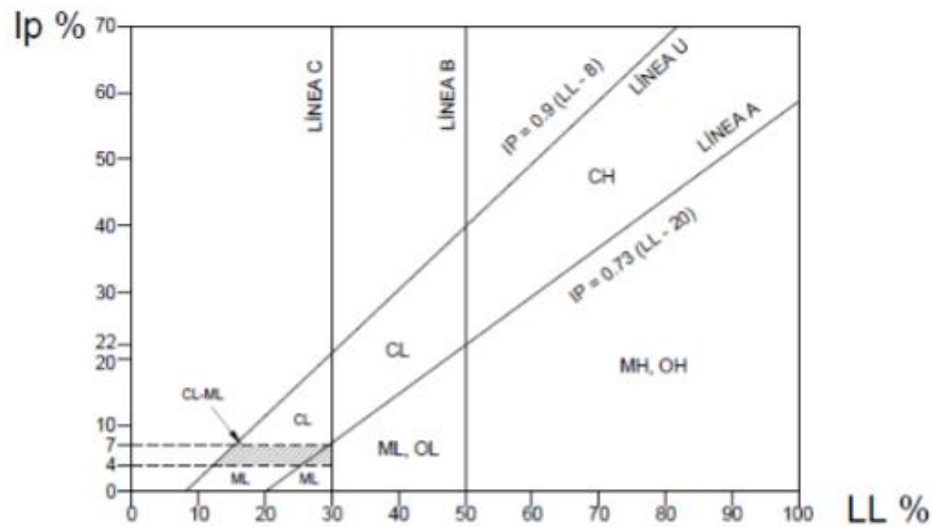


FIGURA 2.- CARTA DE PASTICIDAD



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Limos inorgánicos y arcillas orgánicas, ambos de alta plasticidad pueden tener valores semejantes en sus límites líquido y plástico y, quedar en la misma región por lo que deberá considerarse la presencia de la materia orgánica. Los suelos orgánicos, en general, son de olor fétido y de colores o tonos oscuros.

Casagrande reportó que los límites líquido y plástico se incrementan a medida que el tamaño de las partículas sólidas decrece. Asimismo, para dos suelos que presenten el mismo tamaño de partículas, el límite líquido será mayor en aquel en que su granulometría corresponda a un suelo uniforme.

La clasificación de los suelos finos consistirá básicamente en ubicar al suelo según sus límites líquido y plástico en la Carta de Plasticidad. Para suelos con límite líquido mayor al 100%, es decir mayor al límite líquido que generalmente está graficado en Carta, la clasificación podrá efectuarse con la pendiente de la Línea A y su límite líquido. Si $LL > 50$, el suelo es H de alta plasticidad, high, y si la pendiente "m" es mayor al 0.73, el suelo es arcilla, así la clasificación será CH.

$$m = Ip / (LL - 20)$$

Para suelos cuyos límites los ubique sobre de la Líneas A o B, tendrán doble símbolo, por ejemplo CH-MH o CL-ML. Si, $LL = 50\%$ y el $LP = 28\%$ el suelo podrá clasificarse como CH-ML o CL-MH.

El límite líquido, puede evaluarse a partir de una prueba donde el cierra de la ranura se presente entre los 20 y 30 golpes, mediante la igualdad:

$$LL = \omega_N (N / 25)^{0.121}$$

Siendo:

- N número de golpes para los que cierra la ranura en la Copa de Casagrande, entre 20 y 30 golpes
- ω_N contenido de agua para N golpes

Las características de plasticidad del suelo pueden definirse con el valor del índice plástico, Ip. A mayor Ip, mayor es el rango en que el suelo se comporta plásticamente.

TABLA 6.- PLASTICIDAD DEL SUELO SEGÚN BURMISTER

ÍNDICE PLÁSTICO	PLASTICIDAD
%	
0	Nula
1 – 5	Muy baja
10 – 20	Baja
20 – 40	Alta
>40	Muy alta

a) SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, SUCS

La clasificación del suelo en primera instancia es visual y al tacto, posteriormente mediante pruebas o ensayos de Mecánica de Suelos. En general, la clasificación del suelo se basa en el tamaño de sus partículas sólidas, su plasticidad y su color. Existen diversos criterios o sistemas para la clasificación



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

de suelos, sin embargo, en la Mecánica de Suelos se ha generalizado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS. En este sistema los tamaños de las partículas del suelo varían de los 76.2 mm, 3", hasta menores de las 74 μm , pasan la malla número 200. El número de la malla indica el número de hilos por cada 25.4 mm.

En lo general, el SUCS establece los siguientes suelos:

Gravas	Arcillas
Arenas	Materia orgánica
Limos	

De acuerdo con el SUCS, las gravas y arenas son suelos gruesos. Los limos y arcillas son suelos finos. Para suelos con materia orgánica no están definidos sus tamaños, puede ser cualquiera.

CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO

La clasificación de suelos en el laboratorio considera la granulometría, plasticidad y los efectos que los finos pueden generar en las propiedades mecánicas de los gruesos.

Para los gruesos, gravas y arenas, se pueden tener los siguientes grupos:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Porcentaje de finos menor al 5% | % F < 5% |
| 2. Porcentaje de finos mayor al 12% | % F > 12% |
| 3. Porcentaje de fonos entre el 5% y 12% | 5% < % F < 12 % |

GRUPO 1, %F < 5%

La presencia de finos es baja, no modifica las propiedades mecánicas de los gruesos por lo que su presencia puede ser ignorada.

GRUPO 2, %F > 12%

La modificación en las propiedades de los suelos gruesos es tal que los finos deben ser clasificados, no interesa si los gruesos están bien o mal graduados.

GRUPO 3, 5% < % F < 12%

Los finos no modifican significativamente las propiedades de los gruesos, por tanto se considera caso de frontera. Se deberán clasificar tanto a los gruesos como a los finos. La clasificación tiene doble símbolo.

CONDICIONES

- Más del 50% del suelo es retenido en la malla No 200.
- El mayor porcentaje de los suelos queda comprendido entre las mallas de 3" y la número 4.
- Todos los tamaños del suelo están presentes y en proporciones semejantes.
- Sus tamaños no están en proporciones semejantes.
- El mayor porcentaje del suelo queda comprendido entre las mallas número 4 y número 200.
- Los finos son limos.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

g) Los finos son arcillas.

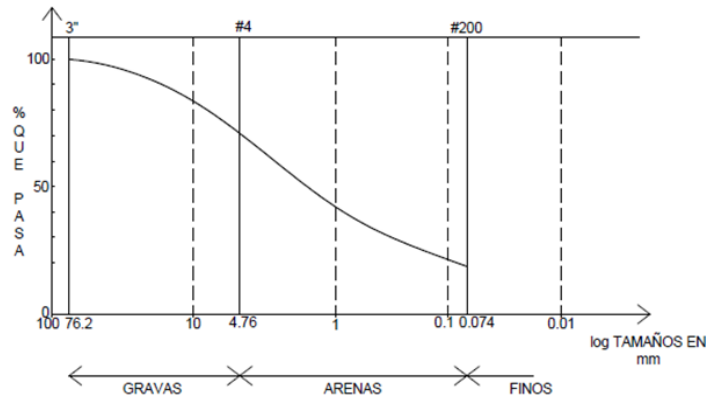


FIGURA 3.- CURVA DE GRANULOMETRÍA, SUELO BIEN GRADUADO

Además de la curva granulométrica se obtendrán los diámetros D_{10} , D_{30} y D_{60} para calcular los coeficientes de curvatura, C_c , y de uniformidad, C_u , de acuerdo con las siguientes igualdades:

$$C_c = D_{60} / D_{10}$$

$$C_u = (D_{30})^2 / D_{10} D_{60}$$

Para que un suelo grueso sea clasificado como bien graduado sus coeficientes deberán cumplir con las siguientes magnitudes:

Grava bien graduada:

$$C_c > 4$$
$$1 < C_u < 3$$

Arena bien graduada:

$$C_c > 6$$
$$1 < C_u < 3$$

Sin embargo, es la forma de la curva definir si el suelo se clasifica como bien o mal graduado. En la siguiente figura se presentan dos suelos uno bien graduado y otro mal graduado pero con los mismos valores de D_{10} , D_{30} y D_{60} .

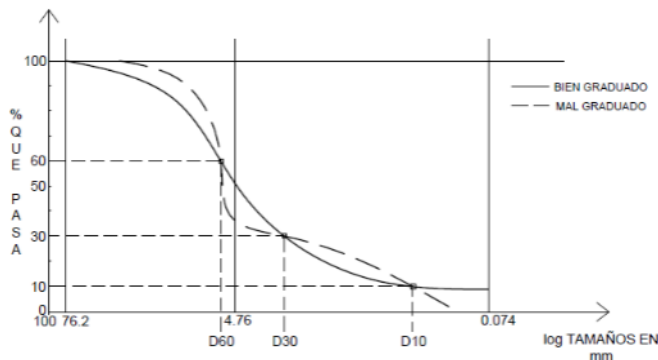


FIGURA 4.- CURVA GRANULOMÉTRICA, SUELOS MAL Y BIEN GRADUADOS



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Los suelos podrán ser limos o arcillas si más del 50% en peso pasa la malla No 200, Tabla 6.

TABLA 6.- CONDICIONES QUE DEBERÁ CUMPLIR EL SUELO PARA SU CLASIFICACIÓN.

GRUPO	SUELO	SÍMBOLO	CONDICIÓN						
			a	b	c	d	e	f	g
1	Grava bien graduada, <i>Gravel Well</i>	GW	X	X	X				
	Grava mal graduada, <i>Gravel Poor</i>	GP	X	X		X			
	Arena bien graduada, <i>Sand Well</i>	SW	X		X		X		
	Arena mal graduada, <i>Sand Poor</i>	SP	X			X	X		
2	Grava limosa, <i>Gravel Mo</i>	GM	X	X				X	
	Grava arcillosa, <i>Gravel Clay</i>	GC	X	X					X
	Arena limosa, <i>Sand Mo</i>	SM	X				X	X	
	Arena arcillosa, <i>Sand Clay</i>	SC	X				X		X
3	Grava bien graduada – grava limosa, <i>Gravel Well – Gravel Mo</i>	GW - GM	X	X	X			X	
	Grava bien graduada – grava arcillosa, <i>Gravel Well – Gravel Clay</i>	GW - GC	X	X	X				X
	Grava mal graduada – grava limosa, <i>Gravel Poor – Gravel Mo</i>	GP - GW	X	X		X		X	
	Grava mal graduada – grava arcillosa, <i>Gravel Poor – Gravel Clay</i>	GP - GC	X	X		X			X
	Arena bien graduada – arena limosa, <i>Sand Well – Sand Mo</i>	SW - SM	X		X		X	X	
	Arena bien graduada – arena arcillosa, <i>Sand Well – Sand Clay</i>	SW - SC	X		X		X		X
	Arena mal graduada – arena limosa, <i>Sand Poor – Sand Mo</i>	SP - SM	X			X	X	X	
	Arena mal graduada – arena arcillosa, <i>Sand Poor – Sand Clay</i>	SP - SC	X			X	X		X

CLASIFICACIÓN SUELOS EN EL CAMPO

GRAVAS Y ARENAS

En primera instancia la clasificación de suelos en campo, será en función al tamaño de sus partículas sólidas. Esta condición se mantiene para los suelos gruesos, gravas y arenas. Para los suelos finos, limos y arcillas, su clasificación está dada por su plasticidad, permeabilidad y cohesión.

Para las gravas y las arenas bastará con separar por grupos de partículas de tamaños semejantes, como se presenta en la Tabla 7, y estimar de manera cualitativa el porcentaje, en peso, que representa cada grupo respecto al total.

Además del tamaño habrá que observar la forma y textura de las partículas sólidas. La forma tiene una importante influencia en las propiedades mecánicas de los suelos, como son la compresibilidad, resistencia al esfuerzo cortante y permeabilidad, entre otras. La forma puede ser angulosa, subangulosa, subredonda a redondeada. Y su textura de lisa a rugosa.

Para partículas de arenas o gravas con la misma granulometría y compacidad relativa, si unas partículas son redondeadas y lisas y otras partículas son angulosas y rugosas, éstas presentarán mayor resistencia al esfuerzo cortante que las primeras.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



FOTOGRAFIA 9.- BOLEOS DE FORMA SUBREDONDEADA

TABLA 7.- TAMAÑOS DE LOS SUELOS SEGÚN EL SUCS Y TAMAÑOS COMPARATIVOS

SUELO	TAMAÑO	
	Nombre	Comparativo
Suelos grueso	76.2 – 0.074 (3" – No 200)	Naranja – azúcar en polvo
Grava	76.2 – 4.76 (3" – ¾")	Naranja – chícharo
Grava gruesa	76.2 – 19.1 (3" - ¾")	Naranja – uva
Grava fina	19.1– 4.76 (¾" - No 4)	Uva – chícharo
Arena	4.76 – 0.074 (No 4 – No 200)	Chícharo – azúcar en polvo
Arena gruesa	4.76 – 2.00 (No 4 - No 10)	Chícharo – sal de cocina
Arena media	2.00 – 0.42 (No 10 - No 40)	Sal de cocina - sal de mesa
Arena fina	0.42 - 0.074 (No 40 - No 200)	Sal de mesa – azúcar en polvo
Suelos finos	Menores a 0.074 (< No 200)	Harina o talco
Limos y arcillas	Se distinguen por su plasticidad	A simple vista no es posible ver una partícula

LIMOS Y ARCILLAS

Tanto los limos como las arcillas no son clasificados por su tamaño sino por su plasticidad. La plasticidad implica la capacidad de deformarse inmediatamente sin agrietamientos ni rebote elástico al ser sometida a cargas. Una característica de las arcillas es su capacidad de contracción volumétrica al perder humedad. Ésta propiedad genera grietas de tensión en el suelo, fotografía 10.



FOTOGRAFÍA 10.- GRIETAS DE TENSION SUPERFICIALES. EN EL EX LAGO DE TEXCOCO SE HAN REPORTADO GRIETAS DE TENSION DE CIENTOS DE METROS DE LONGITUD, CUYAS PROFUNDIDADES ALCANZAN LAS DECENAS DE METROS.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

El SUCS propone la aplicación de las pruebas de Dilatación o Reacción al Agitado, Tenacidad y Resistencia en Seco, para la clasificación de los suelos finos, con base en sus características de permeabilidad, plasticidad y cohesión como se presenta en la Tabla 8.

TABLA 8.- TIPOS DE SUELOS Y SUS RESULTADOS EN PRUEBAS DE CAMPO.

SUELO	DILATANCIA O REACCIÓN AL AGITADO	TENACIDAD	RESISTENCIA EN ESTADO SECO
Arenas finas, uniformes, no plásticas, inorgánicas, polvo de roca, limos arenosos	Rápida	Nula	Nula - Ligera
Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Lenta	Ligera	Ligera – Media
Arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad	Muy Lenta	Media	Media – Alta
Arcillas inorgánicas, de alta plasticidad, arcillas francas	Nula	Alta	Alta – Muy Alta

Asimismo, se tienen pruebas de Sedimentación, Adherencia a la Piel, entre otras pruebas.

SEDIMENTACIÓN.

Esta prueba consiste en obtener, cualitativamente, la granulometría del suelo por sedimentación, considerando que los suelos gruesos se sedimentan de manera inmediata, así se tiene lo siguiente:

TABLA 9.- TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN

SUELO	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN
Típico	Minutos
Gravas y arenas	Inmediatamente
Limos	1 – 5
Arcillas	> 1,440

Se requiere una probeta de vidrio de 1 litro de capacidad o bien un frasco o botella transparente, para colocar dentro de ella una muestra de suelo de volumen conocido, la botella o probeta se llena de agua y se agita vigorosamente durante 3 o 2 minutos, para dejarla reposar en una base horizontal estable permitiendo que las partículas, de acuerdo a su tamaño se sedimenten. Así se tendrán pequeños estratos según el tamaño de las partículas y se podrá estimar el porcentaje de cada uno de ellos.

ADHERENCIA A LA PIEL

Esta prueba se fundamenta en las características de cohesión y cambio volumétrico de las arcillas cuando se secan. Consiste fundamentalmente en fabricar una macilla de suelo y colocarlo sobre en el antebrazo o dorso de la mano y esperar a que se seque. Si el suelo no tiene cohesión, al secarse, el antebrazo o mano se podrá limpiar sin dificultad ya que al carecer de cohesión no se adhiere a la piel. En cambio si el suelo es arcilla, además de presentar una fuerte adhesión a la piel, al secarse se experimentará una contracción. La cual se incrementará según sea el suelo, de menor a mayor ML, CL, MH, a CH, es decir a mayor índice plástico, I_p , mayor contracción.

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS FINOS



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

En suelos finos, limos y arcillas, la resistencia al cortante se puede estimar con los ensayos propuestos por Cooling, Skempton y Glossop y las magnitudes a la resistencia a la compresión simple propuestas por el Dr. Karl von Terzaghi y R. B. Peck.

TABLA 10.- PRUEBAS DE CAMPO Y SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

PRUEBA DE CAMPO	RESISTENCIA LA COMPRESIÓN SIMPLE	TERMINO EMPLEADO
	kPa	
Se escurre entre los dedos al cerrar la mano	0 – 25	Muy blando
Se amasa fácilmente con los dedos	25 – 50	Blando
Se amasa con fuerte presión de los dedos	50 – 100	Firme
Se deprime con fuerte presión de los dedos	100 - 150	Resistente
Se deprime ligeramente con la presión de los dedos	150 – 200	Muy resistente
Se hiende ligeramente con la punta de los dedos	200 o más	Duro

PRESENCIA DE FINOS

En suelos con bajo porcentaje o contenido de finos, el porcentaje de finos se podrá cuantificar de la siguiente manera:

En suelos secos, dejar caer libremente desde una altura aproximada a los 15 cm, si el porcentaje de finos es mayor al 5%, cuando el viento es suave, se mueven las hojas de los árboles, se observará un polvo ligero que “vuela”.

Si el suelo está húmedo, al apretarlo con la mano, ésta quedará manchada con “lodo”, en este caso el porcentaje de finos es mayor al 5%.

PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad, k , podrá estimarse a partir de su clasificación al considerar los valores reportados por Karl von Terzaghi y R. B. Peck.

TABLA 11.- TIPOS DE SUELOS Y SU COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

SUELO	PERMEABILIDAD	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
Tipo	Descripción	cm/s
Grava gruesa	Muy permeable	$> 10^{-1}$
Arena limpia, arena fina	Permeable	$10^{-1} - 10^{-3}$
Arena limosa, arena con finos	Poco permeable	$10^{-3} - 10^{-5}$
Limo, limo arenoso	Casi impermeable	$10^{-5} - 10^{-7}$
Arcilla	Impermeable	$< 10^{-7}$

b) CLASIFICACIÓN AASHTO

Para la estructuración de pavimentos, el sistema de clasificación de mayor aceptación es el propuesto por la American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, el cual se base en el sistema de clasificación de suelos del Bureau of Public Road de los Estados Unidos de América.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

En función a su comportamiento como parte de la estructura del pavimento, se tienen siete grandes grupos, del A-1 al A-8, que al subdividirse alcanzan en total doce clasificaciones como se presenta en la Tabla 9.

Son ocho grupos, que al subdividirse clasificaciones alcanzan 12

A) Suelos granulares, no más del 35% del suelo pasa la malla # 200.

A-1: menos del 15% pasa la malla # 200 y menos del 30% pasa la malla # 40.

A-3: menos del 10% pasa la malla #200 y 51% o más pasa la malla # 40

A-2: menos del 35% pasa la malla # 200.

B) Suelos finos, más del 35% pasa la malla # 200

A-4: $Ip \leq 10\%$, $LL \leq 40\%$

A-5: $Ip \leq 10$ (limo) y $LL \geq 41\%$

A-6: $Ip \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 40\%$

A-7: $Ip \geq 11$ (arcilla) y $LL \geq 41\%$

C) Suelos orgánicos

A-8: no tiene un tamaño específico, puede ser cualquiera. $LL \geq 50\%$; $Ip \geq 22\%$

TABLA 12.- CLASIFICACIÓN AASHTO

Condición general	Suelos gruesos, $\leq 35\%$ pasa la malla # 200							Suelos finos, $>35\%$ pasa la malla # 200				A-8
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5§	
								A-7-6§§				
% que pasa malla # 10	≤ 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	No aplica	
% que pasa malla # 40	≤ 30	≤ 50	> 51	--	--	--	--					
% que pasa malla # 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36		≥ 36
Límite líquido, %	--	--	--	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 50
Índice plástico, %	≤ 6	--	--	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	$11 \leq Ip \leq 30$	≥ 22
Descripción del suelo	Fragmentos de rocas, boleos, gravas y arenas limosas o arenas arcillosas		Arena fina	Arena limosa o arcillosa, arena				Suelos limosos	Suelos arcillosos		Suelo orgánico	
Calidad	de excelente a bueno							de regular a malo				muy malo
Aplicación	Mejoramiento de suelos			Mejoramiento de suelos; rellenos				Rellenos	No recomendado para rellenos		Ninguna	

§ si, $Ip \leq LL - 30$, es A-7-5
 §§ si, $Ip > LL - 30$, es A-7-6



En éste sistema, son gravas los suelos que pasan la malla de 3", 76.2 mm, y se retienen en la malla No 10, 2 mm. Los sólidos pasan la malla No 10 y se retienen en la malla No 200 se clasifican como arenas.

Son limos si los sólidos pasan la malla No 200 y el índice de plasticidad, $I_p \leq 10\%$. Son arcillas si además de pasar la malla No 200, su $I_p \geq 11\%$.

Las partículas mayores a los 76.2 mm se excluyen de la muestra pero, en el análisis granulométrico se considera su peso o porcentaje.

Para determinar la calidad del suelo para ser empleado como subrasante se aplica el Índice de Grupo, IG, que se define por la igualdad:

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (I_p - 10)$$

IG es un número entero, su magnitud se debe aproximar al entero más cercano.

Si, $IG < 0$, se considera $IG = 0$; su máxima magnitud no tiene límite.

IG para los grupo A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5, y A-3, siempre es cero.

Para los suelos de los grupos A-2-6, y A-2-7, el índice de grupo IG se define por el segundo sumando de la igualdad anterior:

$$IG = 0.01 (F - 15) (I_p - 10)$$

La calidad del comportamiento del suelo como material de subrasante está definido por la inversa del IG

Para la clasificación del suelo se emplea la Tabla 9, siendo la clasificación el primer grupo, de izquierda a derecha, que se ajuste a los resultados de las pruebas de laboratorio.

c) CLASIFICACIÓN DE LA SCT

Dependiendo de la dificultad que presenten los materiales para ser excavados y cargados, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT, clasifica a los materiales como A, B y C, como sigue:

Material A

Suelos blandos o sueltos, poco o nada cementados, con partículas menores de 76 mm, que pueden ser excavados eficientemente con pala manual o motoescropa de 90 a 110 caballos, fotografía 11, sin ripper o arados, como son los suelos agrícolas y las arenas.



FOTOGRAFÍA 11.- MOTOESCREPA

Material B

Fragmentos de rocas sueltas, menores a 75 cm de diámetro y mayores a los 7.6 cm o bien suelos que solo pueden ser excavados eficientemente con tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable, con potencia de 140 a 160 caballos, fotografía 12, sin uso de explosivos. Ejemplos de estos materiales son: conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.



FOTOGRAFÍA 12.- TRACTOR CAT D9T DE 160 HP

Material C

Suelos que por su dificultad de extracción sólo pueden ser excavados eficientemente con el uso de explosivos. Asimismo, son Material C fragmentos de rocas sueltas cuyo tamaño sea mayor a los 75 cm de diámetro. Son Materiales C conglomerados fuertemente cementados, calizas, basaltos, areniscas, riolitas, andesitas y granitos, todas ellas sanas.

Considérese un corte compuesto por tres diferentes materiales, cuyos estratos estén definidos, cada material se clasificará por separado, tomando en cuenta los volúmenes parciales, para proporcionar la clasificación general.

Se pide clasificar, para efectos de pago el siguiente suelo, cuya estratigrafía está conformada por las siguientes capas o estratos:

Superficialmente se tiene arenas y gravas cuya granulometría varía de los 2 a los 50 mm, sueltas, poco o nada cementados. Su volumen representa el 40% del volumen total por excavar.



Subyaciendo se presentan fragmentos de roca de hasta 50 cm de diámetro, medianamente cementados. Esta capa representa el 60% del volumen total por excavar.

La primer capa o estrato puede ser clasificadas como 100-0-0; la segunda es clasificada como un promedio entre los materiales B y C, 0-50-50, en consecuencia el volumen total por excavar es clasificado como 40-30-30.

La clasificación también puede ser capa por capa, considerando el volumen parcial de cada una de ellas.

d) CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA EL PAGO DE EXCAVACIONES DE PETRÓLEOS MEXICANOS, PEMEX

Pemex también clasifica al suelo como A, B y C, con las siguientes definiciones:

Material A

Es un suelo de consistencia blanda a muy blanda, su cohesión determinada en prueba de compresión simple y es no es mayor de 25 kPa o, en prueba de penetración estándar el número de golpes no es mayor de 2; su contenido natural de agua es mayor o igual a su límite líquido.

Si el material es friccionante, no está cementado, el 100% del suelo pasa la malla de 76 mm (3"). Todo el volumen del suelo se puede extraer eficientemente con motoescrepa.

Material B

La consistencia del suelo es de media a firme, su cohesión determinada en prueba de compresión simple es igual o mayor a los 400 kPa y su contenido natural de agua es menor o igual a su límite de contracción volumétrica.

En suelos granulares, no cementados, sus partículas son menores a 0.5 m³ pero mayores a 75 mm.

También son material B las rocas fisuradas, cuyas separaciones entre ellas es igual o menor a los 50 mm. Para ser aflojado se requiere del uso del ripper.

Material C

Es material C cuando su resistencia a la compresión simple es mayor a los 112 MPa, el espaciamiento entre fisuras es de 1.0 m o mayor y su Índice de Calidad de la Roca, RQD, es mayor al 75%. Para su eficiente excavación se requiere el uso de explosivos.

e) CLASIFICACIÓN DE COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

La Comisión Federal de Electricidad, CFE, propone la siguiente clasificación para la cimentación de sus torres de transmisión, Tabla 10.



TABLA 13.- CLASIFICACIÓN CFE

SUELO Tipo	DESCRIPCIÓN
I	Suelo que por su dureza puede ser excavado eficientemente con herramienta manual como la pala.
II	Suelo que por su dureza puede ser excavado eficientemente con pico y pala.
II A	Suelo que por su dureza puede ser excavado eficientemente con barretas o rompedoras neumáticas.
III	Suelo que por su dureza puede ser excavado eficientemente con uso de explosivos.

f) EXCAVABILIDAD DE FRANKLIN

Otro criterio para clasificar la arabilidad o excavabilidad del terreno es el de Franklin, propuesto en 1974. Este criterio además de considerar el espaciamiento de las discontinuidades o diaclasas, considera la resistencia de la roca, la cual puede ser evaluada mediante pruebas de compresión simple, índice de carga de punta, I_s , o el rebote del martillo Schmith, fotografía 13.

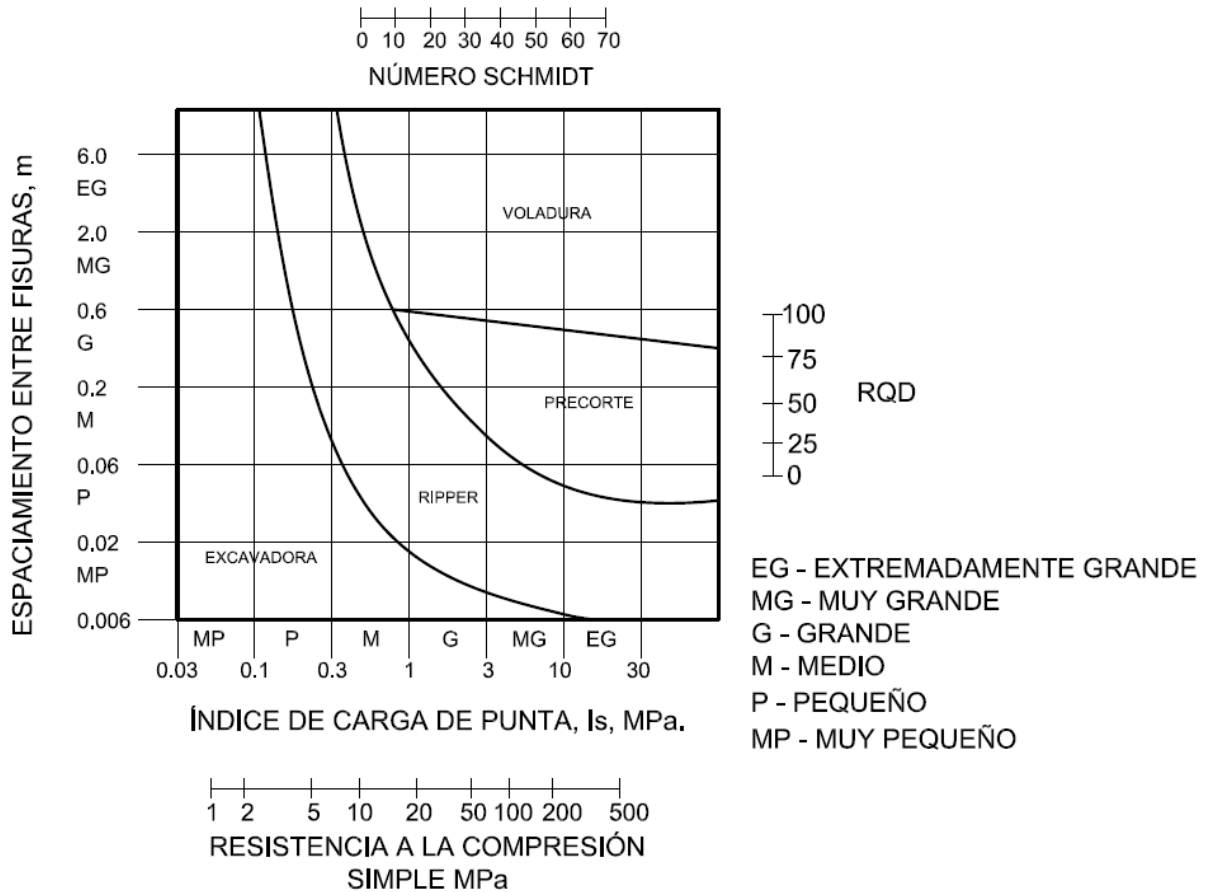
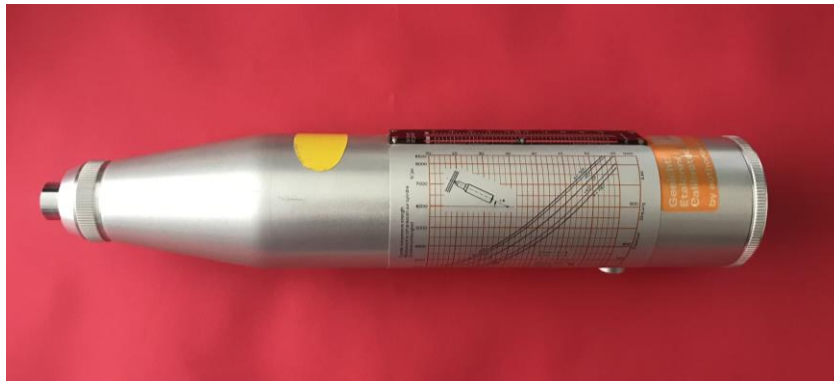


FIGURA 5.- EXCAVABILIDAD FLANKLIN



FOTOGRAFÍA 13.- MARTILLO SCHMITH

g) CLASIFICACIÓN POR ARABILIDAD DEL TRACTOR D10R DE CATERPILAR

La fragmentación de rocas o suelos duros por medio de ripper o escarificador montado en tractor de orugas se denomina arabilidad. Para la clasificación por arabilidad se considera el tractor o bulldozer D10R de Caterpillar, fotografía 14. Cuyas características son:

Masa útil	65.403 t
Potencia del motor	457.1 kw
Presión sobre el suelo	136.2 kPa
Longitud, incluyendo cuchilla	7,754 mm
Altura, incluyendo la cabina	4,100 mm



FOTOGRAFÍA 14.- BULLDOZER D10R DE CATERPILLAR

La excavación de la roca mediante el ripper depende de los siguientes factores:



- i. Velocidad de propagación de las ondas compresionales o primarias, P.
- ii. Índice de calidad de la roca, RQD
- iii. Resistencia a la compresión simple de la roca, número de familias de diaclasas o fisuras, su separación, espaciamiento entre labios, rumbo y echado o buzamiento.

Siendo el comúnmente empleado la velocidad de las ondas P.

En función la eficiencia con que puedan ser excavables, los suelos y las rocas pueden ser clasificados como:

Rocas excavables. Las rocas muy intemperizadas o intensamente fracturadas que pueden ser excavadas por medios mecánicos como palas o excavadoras, fotografía 15.

Rocas arables. Son rocas que pueden ser excavables por medios mecánicos, como el ripper, pero sin el empleo de explosivos, son rocas meteorizadas.

Rocas que requieren explosivos. Las rocas sanas y resistentes únicamente pueden ser fragmentadas con explosivos.



FOTOGRAFÍA 15.- EXCAVADORA CATERPILLAR

La Tabla 14 muestra la arabilidad de diferentes suelos y rocas para el bulldozer D10R de Caterpillar.

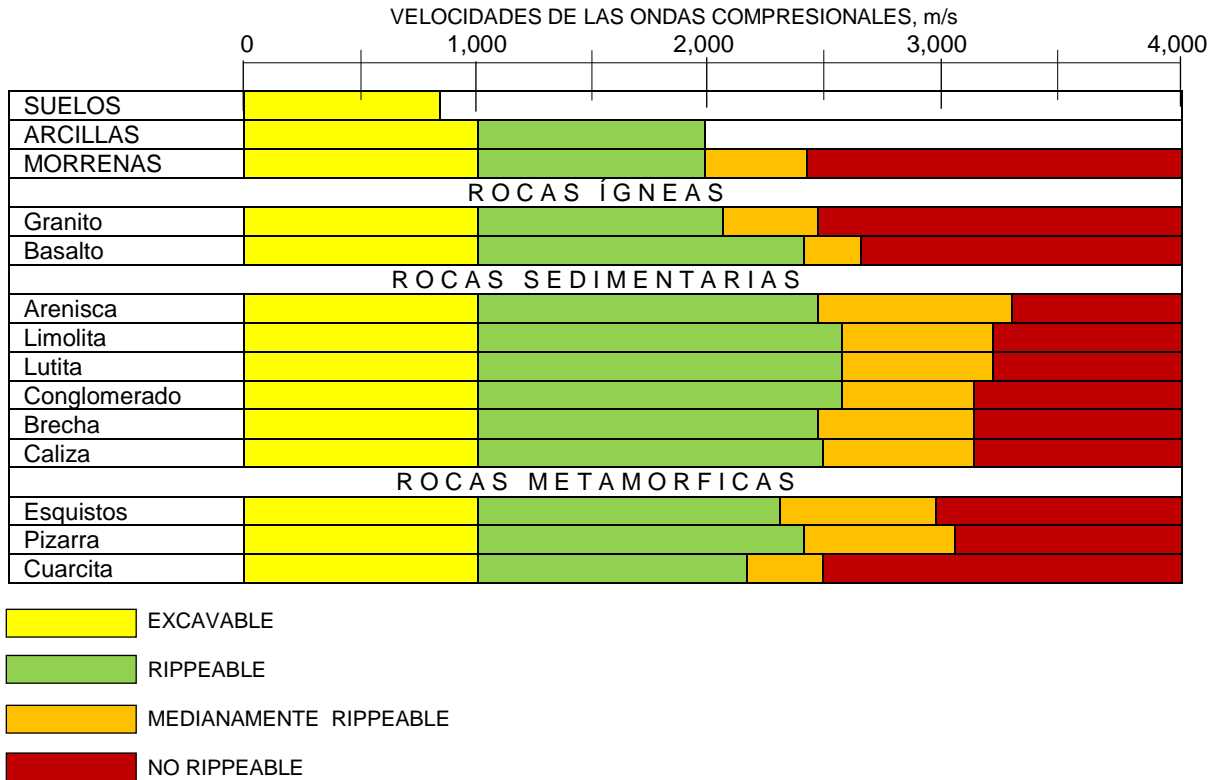
En general, para velocidades de las ondas compresionales o primarias menores de 1,000 m/s, los materiales pueden ser excavables con maquinaria convencional, excavadoras; para velocidades 2,500 m/s o mayores las rocas no son eficientemente excavables con ripper y se requiere uso de explosivos.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TABLA 14.- ARABILIDAD DEL MATERIAL EN FUNCIÓN DE LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS P Y EL BULLDOZER D10R DE CATERPILLAR



h) USO DEL DIAGRAMA TERNARIO, TRIANGULAR O DE SHEPARD

Este tipo de diagramas emplea un triángulo equilátero, en cada lado se representa una variable, la suma de las tres variables siempre es constante. Este tipo de diagrama es empleado en diferentes disciplinas como la química, genética y petrología, entre otras. Para la clasificación de suelos las variables se representan en porcentajes y estas pueden ser arenas, limos y arcillas.

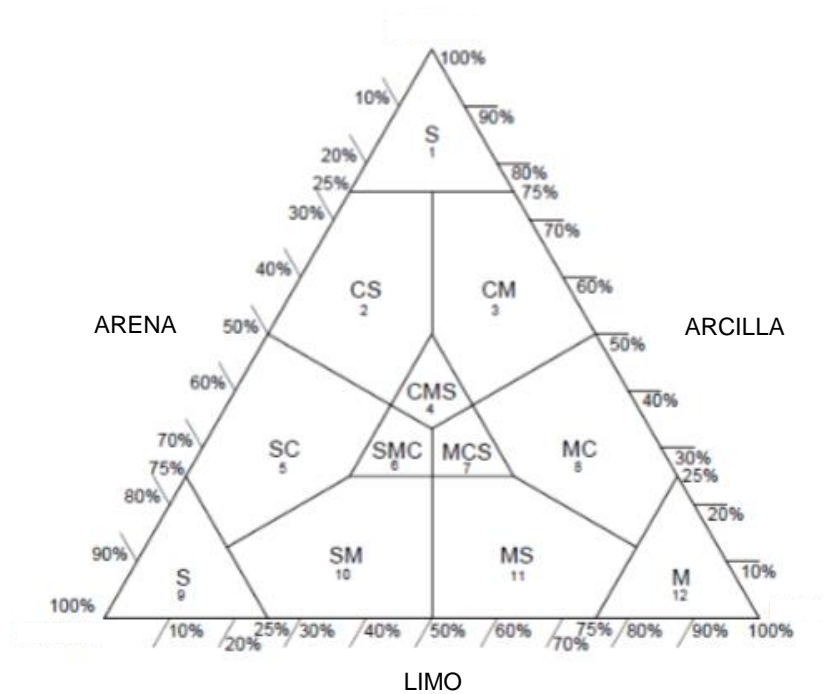
Para la clasificación se ubican en cada lado del triángulo los diferentes porcentajes de suelos tal que para el mismo vértice se ubique el 0% de un suelo y el 100% de otro suelo, figura 23. Así se tienen doce celdas, en cada una de ellas se tiene una clasificación.

Para clasificar al suelo se localiza el porcentaje de cualquiera de los tres suelos, a partir de este valor se traza una paralela al siguiente lado del triángulo, según el sentido horario, y así de esta forma, las tres rectas se cortan en una celda definiendo la clasificación del suelo.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



FIGURS 6.- DIAGRAMA DE SHEPARD PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

EJEMPLOS

1.- Con los resultados de laboratorio que se citan a continuación clasificar al suelo según los lineamientos del SUCS, además dibujar la curva granulométrica.

a)

G = 40%; S = 50%; F= 10%; $D_{30} = 3.75$ mm; LP = 160%; en la copa de Casagrande, a los 28 golpes el contenido de agua es de 183%.

Solución:

G = 40% N = 28 golpes $D_{30} = 3.75$ mm

S = 50% $\omega_N = 183\%$

F = 10% LP = 160%

$$LL = \omega_N (N / 25)^{0.121} = 183 (28/25)^{0.121} = 185.53\%$$

$$I_p = LL - LP = 25.53\%$$



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

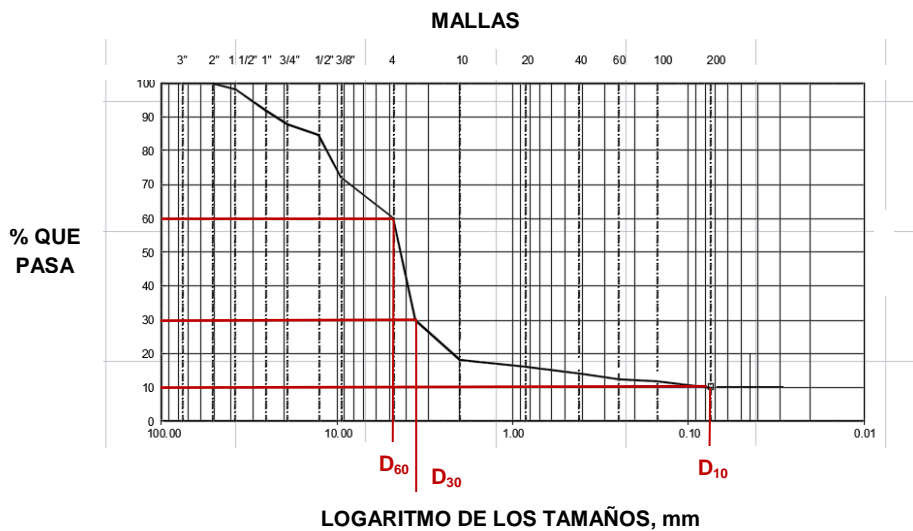
$m = I_p / (LL - 20\%) = 0.154 < 0.73$; está por debajo de la Línea A de la Carta de Plasticidad, entonces es MH

$$C_u = D_{60} / D_{10} = 4.76 / 0.074 = 64.32 < 6.0$$

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{60} D_{10} = (3.75)^2 / [(4.76) 0.074] = 39.92 > 3$$

Clasificación:

Grava mal graduada – grava limosa, GP – GM



b)

Masa total seco de la muestra	1,600.00 g
Masa retenido en la malla No 4	1,200.50 g
Masa de suelo que pasa la malla No 200	160.00 g
D_{60} ,	13.81 mm
D_{30} ,	5.25, mm
Límite plástico	25.37 %
Número de golpes con que cierra la ranura estándar practicada en el suelo, en la copa de Casagrande	29 golpes
Contenido de agua para esos 28 golpes	79.85%

Solución:

$$G = 75\%$$

$$F = 10\%$$

$$S = 15\%$$

$$LL = \omega_N (N / 25)^{0.121} = 79.85 (29/25)^{0.121} = 81.30\%$$



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

$$I_p = 55.93\%$$

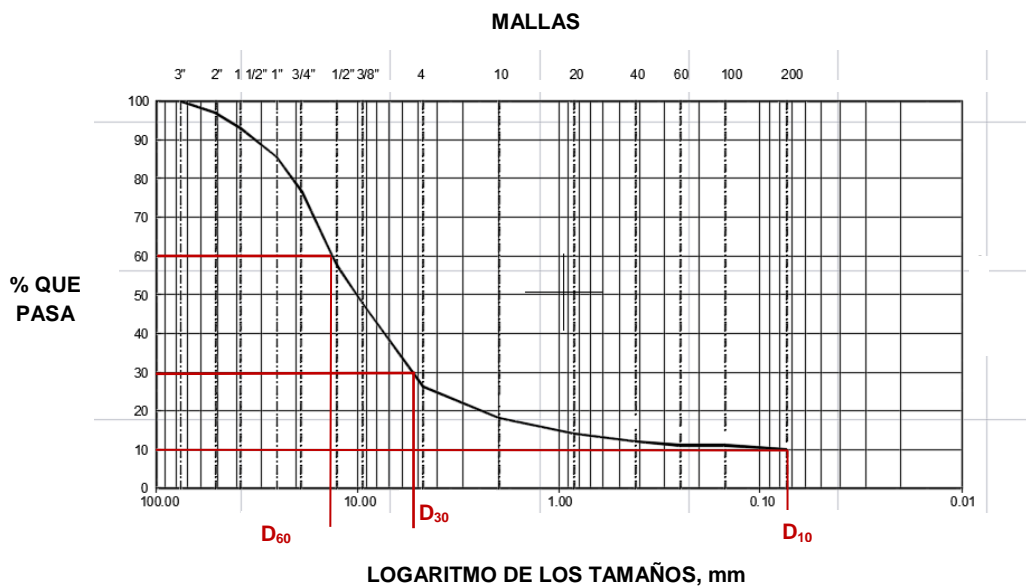
$m = I_p / (LL - 20\%) = 0.912 > 0.73$; está por encima de la Línea A de la Carta de Plasticidad, entonces es CH

$$C_u = D_{60} / D_{10} = 13.81 / 0.074 = 186.62 < 6.0$$

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{60} D_{10} = (5.25)^2 / [(13.81) 0.074] = 26.97 > 3$$

Clasificación:

Grava mal graduada – grava limosa, GP – GC



c)

Masa total: 1,560.00 g, contenido de agua 14.50%. De la prueba de granulometría, del material que pasó la malla No 4 y se retuvo en la charola, se utilizaron 220 g para ser cribado por las mallas No 10 al No 200.

MALLA tamaño	MASA RETENIDA g	MALLA tamaño	MASA RETENIDA g
3"	81.49	No 10	71.88
2"	42.57	No 20	33.01
1 1/2"	75.94	No 40	20.97
1"	23.80	No 60	11.47
3/4"	63.59	No 100	13.06
1/2"	190.59	No 200	11.78
3/8"	108.12	Charola	57.83
No 4	242.69		
Charola	533.66		



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Límite líquido 230.34%
Límite plástico 100.56%

Solución:

$$M_T = 1,560 \text{ g}$$

$$\omega = 14.5 \%$$

$$M_S = M_T / (1 + \omega) = 1,560 / (1 + 0.145) = 1,362.45 \text{ g}$$

$$\% \text{Retenido} = 81.49 / 1,362.45 = 5.98$$

$$\% \text{ que pasa} = 100.00 \% - 5.98 \% = 94.02 \%$$

$$\% \text{ que pasa} = 94.02 \% - 3.12 \% = 90.90 \%$$

MALLA	MASA RETENIDA	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA
tamaño	g	%	%
3"	81.49	5.98	94.02
2"	42.57	3.12	90.90
1 1/2"	75.94	5.57	85.33
1"	23.80	1.75	83.58
3/4"	63.59	4.67	78.91
1/2"	190.59	13.99	64.92
3/8"	108.12	7.94	56.98
No 4	242.69	17.81	39.17
Charola	533.66	39.17	0.00

De los 533.66 g retenidos en la charola, se ocuparon 220 g para cribarlos por la mallas de la No 10 a la No 200. Los porcentajes retenidos y los que pasan se calculan de la misma forma que en la tabla anterior. El nuevo porcentaje que pasa, PORCENTAJE QUE PASA α , se calcula considerando que la suma de los porcentajes retenidos representan el porcentaje retenido en la charola, en este caso 39.17%.

$(0.3917) 67.33 = 26.37 \%$

MALLA	MASA RETENIDA	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA α
tamaño	g	%	%	%
No 10	71.88	32.67	67.33	26.37
No 20	33.01	15.00	52.33	20.50
No 40	20.97	9.53	42.80	16.76
No 60	11.47	5.21	37.59	14.72
No 100	13.06	5.94	31.65	12.40
No 200	11.78	5.35	26.30	10.30
Charola	57.83	26.29	0.00	0.00

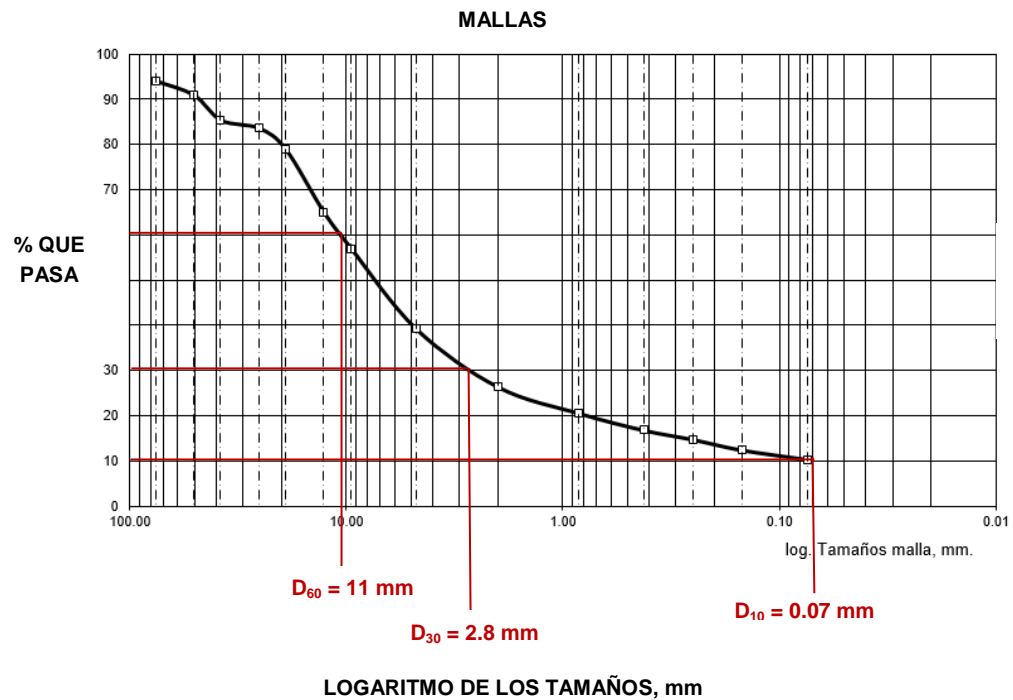


CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

LL = 230.34%
LP = 100.56%
Ip = 129.80 %
m = 0.62, se ubica debajo de la Línea A, es un limo de alta plasticidad, MH

La curva granulométrica adquiere la siguiente forma:



G = 60.83%

F = 10.30%

S = 28.87%

$$Cu = D_{60} / D_{10} = 11.00 / 0.070 = 157.14 > 4.0$$

$$Cc = (D_{30})^2 / D_{60} D_{10} = (2.8)^2 / [(11.00) 0.070] = 10.18 > 3$$

Clasificación:

Grava mal graduada – grava limosa, GP - GC

d)

Porcentaje retenido acumulado en la malla No 4	40%
Porcentaje que pasa la malla No 200	3.5%
Límite líquido	150%



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Límite plástico	110%
D ₃₀	2.60 mm

Solución:

Porcentaje que pasa la malla No 4	60%
Porcentaje de finos	10%
D ₆₀	4.76 mm
D ₃₀	2.60 mm
D ₁₀	0.074 mm
Gravas	40%
Finos	10%
Arenas	50%

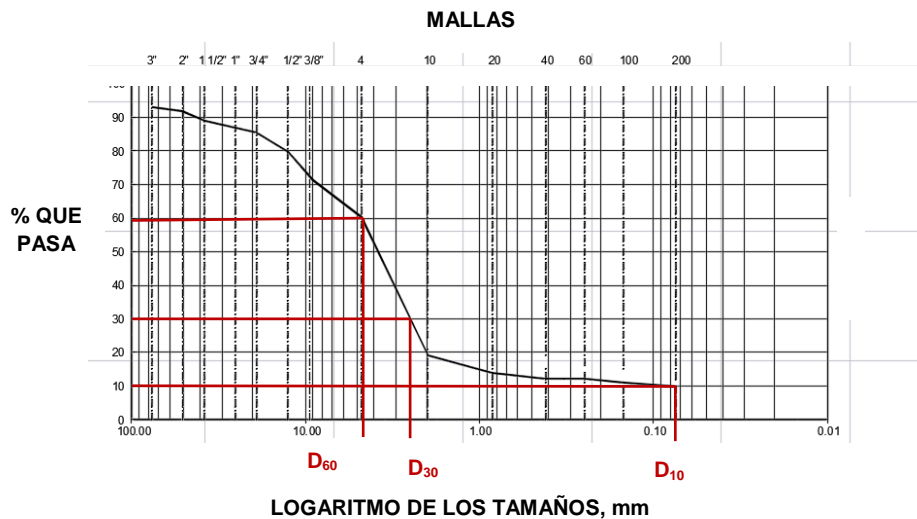
$$Cu = D_{60} / D_{10} = 4.76 / 0.074 = 64.32 > 6.0$$

$$Cc = (D_{30})^2 / D_{60} D_{10} = (2.60)^2 / [(4.76) 0.074] = 19.19 > 3$$

Dado a que el porcentaje de finos es menor al 5%, no tiene caso clasificar al suelo fino

Clasificación:

Arena mal graduada SP



2.- Un suelo fue clasificado como GP – GM, proporcione valores fijos de %G, %S; %F; D₁₀; D₃₀; D₆₀; Coeficiente de uniformidad; Coeficiente de curvatura; Dilatancia; Tenacidad; Resistencia en seco; Límite líquido; Límite Plástico; Dibujar de manera aproximada la curva de granulometría teniendo cuidado en justificar los valores antes proporcionados.

Solución:



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Dado a que es un suelo con doble símbolo, $5\% < F < 12\%$ y, que el suelo es grava mal graduada, el porcentaje de gravas es mayor al 50% y cualquiera de los coeficientes C_u o C_c , o ambos no cumplen con las desigualdades. Así, se propone lo siguiente:

$$G = 70\%$$

$$S = 22\%$$

$$F = 8\%$$

Los finos son limos no se cita si son de baja o alta plasticidad, en consecuencia se puede proponer cualquiera de las dos MH o ML. Los límites deben ser tal que la relación que define a "m" debe ser menor de 0.73; por tanto:

$$LL = 40\%$$

$$m = 0.50$$

$$0.50 = I_p / (40 - 20); I_p = 10\%$$

$$LP = 30\%$$

De acuerdo a los porcentajes de G, S y F, datos se tiene lo siguiente

$$4.76 \text{ mm} < D_{60} < 76.2 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 4.76$$

$$0.074 \text{ mm} < D_{10} < 4.76 \text{ mm}$$

C_u debe ser menor de 4; C_c mayor de 3 o menor de 1; o bien no cumple uno de ellos o ambos coeficientes. De ésta manera se fijan como sigue:

$$D_{60} = 20 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 1.00 \text{ mm}$$

$$C_u = 20 / 1 = 20 > 4, \text{ cumple}$$

$$C_c = (4.76)^2 / [20 (1.00)] = 0.24, \text{ no cumple, es mal graduada}$$

3.- Con el sistema AASHTO, clasificar los suelos:

SUELO Letra	PORCENTAJE QUE PASA			LL	I_p	CLASIFICACIÓN AASHTO
	No 10	No 40	No 200	%	%	
A	80.5	28.1	17.8	40.15	20.04	A-2-6 (0)
B	95.4	70.6	20.4	38.05	10.00	A-4 (0)
C	100.0	60.4	8.3	31.73	12.11	A-3 (0)
D	28.3	11.1	3.6	35.64	5.29	A-1a (0)

A)

Se clasifica como A-2-6, según el IG:

$$IG = 0.01 (F - 15) (I_p - 10) = 0.01 (17.8 - 15) (20.04 - 10) = 0.28 \sim 0$$

Así, A-2-6 (0)



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

B)

A-4

Por el Índice de Grupo, IG:

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (Ip - 10)$$

$$IG = (20.4 - 35) [0.2 + 0.005 (38.05 - 40)] + 0.01 (20.4 - 15) (10 - 10) = - 2.78 < 0$$

La clasificación queda: A-4 (0)

C)

A-3

Por el IG:

$$IG = (8.3 - 35) [0.2 + 0.005 (31.73 - 40)] + 0.01 (8.3 - 15) (12.11 - 10) = - 1.21 < 0$$

La clasificación es: A-3 (0)

SUELO Letra	PORCENTAJE QUE PASA			LL	Ip	CLASIFICACIÓN AASHTO
	No 10	No 40	No 200	%	%	
A	80.5	28.1	17.8	40.15	20.04	A-2-6 (0)
B	95.4	70.6	20.4	38.05	10.00	A-4 (0)
C	100.0	60.4	8.3	31.73	12.11	
D	28.3	11.1	3.6	35.64	5.29	

D)

A-1a

$$IG = (3.6 - 35) [0.2 + 0.005 (35.64 - 40)] + 0.01 (3.6 - 15) (5.29 - 10) = - 2.60 < 0$$

La clasificación es: A-1a (0)

Bibliografía:

- J. M. DOMÍNGUEZ e I. SCHIFTER.- Las arcillas: el barro noble
- KARL von TERZAGHI Y R. B. PECK.- Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica
- A. R. JUMIKIS.- Soil Mechanics
- J. E. BOWLES.- Physical and Geotechnical Properties of Soils
- C. GARCÍA ROMERO.- Instructivo de Ensayes para la Materia Mecánica de Suelos I
- R. WHITLOW.- Introducción a la Mecánica de Suelos
- DAS, BRAJA M.- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica