

4. CONSISTENCIA Y PLASTICIDAD.

Etimológicamente, consistencia equivale a capacidad de mantener las partes del conjunto integradas, es decir, estabilidad y coherencia. En mecánica de suelos sólo se utiliza para los suelos finos que, dependiendo del contenido de agua y de su mineralogía, fluyen sin romperse.

La consistencia de la arcilla seca es alta y húmeda es baja.

Atterberg (1911) establece arbitrariamente tres límites para los cuatro estados de la materia, así:

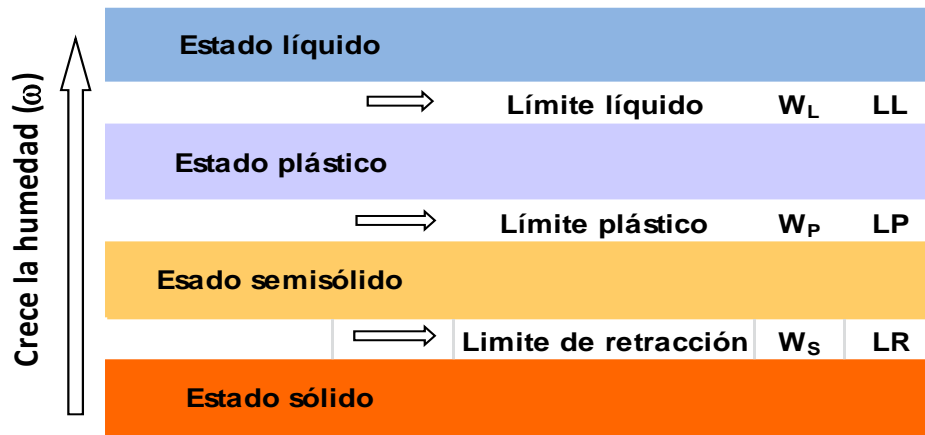


Tabla 4.1 Límites para los cuatro estados de los suelos finos Atterberg 1911.

Un suelo está en estado líquido (arcilla o limo muy húmedos) cuando se comporta como un fluido viscoso, deformándose por su propio peso y con resistencia al corte casi nulo.

Al perder agua, ese suelo pierde su fluidez, pero continúa deformándose plásticamente; dado que pierde su forma, sin agrietarse. Si se continúa con el proceso de secado (de la arcilla o limo), el suelo alcanza el estado semisólido, si al intentar el moldearlo se desmorona. Si se seca aún más, hasta un punto en el cual su volumen ya no se reduce por la pérdida de agua y el color toma un tono más claro, el estado del suelo se define como sólido.

El estado plástico se presenta en un rango estrecho de humedades, comprendidas entre los límites líquido (LL) y plástico (LP). Este rango genera el Índice de Plasticidad "IP", definido así:

$$IP = W_L - W_P \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{diferencia de contenido de} \\ \text{humedades en los LL Y LP} \end{array} \right. \quad [4.1]$$

En consecuencia, los límites de Atterberg son contenidos de humedad del suelo, para suelos finos (limos, arcillas), solamente. Los índices son rangos de humedad.

4.1 Índice de fluidez (I_f). Medida de la consistencia o la facilidad relativa con que un suelo puede deformarse espontáneamente dada por la relación numérica entre: a) La diferencia entre el contenido de agua de un suelo y su límite plástico, y b) su índice de plasticidad.

$$I_f = \frac{\omega - \omega_p}{IP} * 100 \quad (\text{en } \%) \quad [4.2]$$

Si $I_f \rightarrow 100\%$, el suelo en campo está cerca al LL; si $I_f \rightarrow 0\%$, el suelo en campo está cerca al LP. Pueden presentarse arcillas con $I_f < 0$, cuando $\omega < \omega_p$.

La plasticidad de un suelo se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de los minerales y en las arcillas, por su forma aplanada (lentejas) y pequeño tamaño, es alta, dependiendo, la plasticidad del suelo, del contenido de arcilla. Skempton (1953) expresó esta relación matemáticamente con la actividad A de la arcilla, mediante la fórmula 4.3, así:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcilla}} \quad \Rightarrow \quad \% \text{ de arcilla} = \% \text{ en peso } W_s \text{ de partículas con } \phi < 2\mu\text{m} \quad [4.3]$$

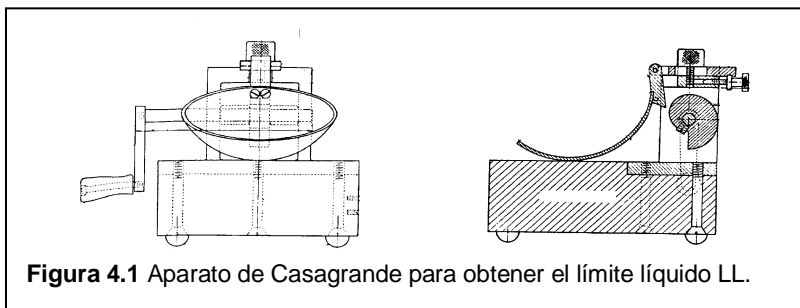
- La actividad de la caolinita es baja; Ejemplo $A = 0,38$
- La actividad de la illita es media; Ejemplo $A = 0,90$
- La actividad de la montmorillonita es alta. Ejemplo $A = 7,20$

Tabla 4.2. ACTIVIDAD DE LAS ARCILLAS

Arcilla	Superficie Específica m^2/gr	Actividad (Skempton)	Índice Plástico	LL
Montmorillonita	500-800	0.5 a 7.2	$>>50$	(?)Tixotrópico
Illita	60-120	0.3 a 0.9	33-50	60-90
Caolinita	20-40	0.1 a 0.4	1-40	30-75

Fuente: Gabriel Márquez y Alberto J. Martínez (Adaptado)

4.2 El límite líquido LL.
Es el contenido de humedad (LL) requerido para que una muestra en el aparato de Casagrande, (Figura 4.1),



cierre una ranura de 1/2" de amplitud a los 25 golpes, generados en la cápsula de bronce, con un ritmo de dos golpes por segundo (Ejercicio 4.1).

4.3 El límite plástico (L_P). Es el menor contenido de humedad (ω_P) para el cual el suelo se deja moldear. Esto se dice cuando, tomando bolas de suelo húmedo, se pueden formar rollitos de 1/8" sobre una superficie plana, lisa y no absorbente. Sin agrietarse, el suelo no alcanza el L_P, y si se presentan múltiples grietas tampoco se tiene el L_P.

4.4 El límite de retracción (L_R) (o Límite de Contracción). Contenido de humedad para el cual el suelo sometido a secado, mantiene constante su peso. Se coloca en una cápsula el suelo húmedo ($\omega > \omega_L$) y se determina su peso W_i y su volumen V_i , siendo V_i también el volumen de la cápsula. Se seca el suelo en la estufa y se obtiene su peso W_f y volumen V_f . El problema está en obtener V_f , el cual se logra conociendo el peso del mercurio desplazado por el suelo seco, operación que es delicada; así se tiene:

$$LR = \frac{(W_i - W_f) - (V_i - V_f) \cdot \gamma_w}{W_f} * 100 \quad [4.4]$$

En donde $(V_i - V_f)\gamma_w$ es el peso del agua perdida y $(W_i - W_f) - (V_i - V_f)\gamma_w$ es el peso del agua en la muestra cuando está en el límite de retracción.

El L_R se denomina también **límite de contracción** del suelo.

4.5 Índice de consistencia, I_c

Es una medida de la consistencia o facilidad relativa con que un suelo puede ser deformado, dada por la relación numérica entre a) la diferencia entre límite líquido y el contenido de agua de un suelo, y b) su índice de plasticidad.

$$I_c = \frac{\omega_L - \omega}{\omega_L - \omega_P} * 100$$

4.6 Índice de retracción, IR. Este, indica la amplitud del rango de humedades dentro del cual el suelo se encuentra en estado semisólido.

$$IR = LR - LP$$

Tabla 4.3- Consistencia de Arcillas saturadas V.S. Resistencia a la Compresión Inconfinada

Consistencia	Muy blanda	Arcilla Blanda	Medianamente compacta		Arcilla Compacta	Muy compacta	Arcilla Dura
Qu (kg/cm²)	< 0,25	0,25 a 0,5	0,5 a 1,0		1,0 a 2,0	2,0 a 4,0	> 4,0

Fuente: Terzaghi y Peck, 1980

Tabla 4.4- Compresibilidad Vs. Cc y LL

Compresibilidad	Índice de Compresión Cc	Límite Líquido WI
Ligera a baja	0 a 0,19	0 a 30
Moderada a Media	0,20 a 0,29	31 a 50
Alta	40	>51

Fuente: Sowers y Sowers. Londres 1978.

Tabla 4.5- PARÁMETROS TÍPICOS PARA SUELOS EN ESTADO NATURAL

Nombre descriptivo	Porosidad n (%)	Rela. D vacíos e	Hum de S. W sat%	PU Seco (gr/cm³)	PU Saturado
Arena uniforme, floja	46	0.85	32	1.43	1.89
Arena uniforme, densa	34	0.51	19	1.75	2.09
Arena gradada, floja	40	0.67	25	1.59	1.99
Arena gradada, densa	30	0.43	16	1.86	2.16
Arcilla glacial balda	55	1.2	45	1.22	1.77
Arcilla glacial dura	37	0.6	22	1.70	2.07
Arcilla blanda algo orgánica	66	1.9	70	0.93	1.58
Arcilla blanda muy orgánica	75	3.0	110	0.68	1.43
Arcilla blanda montmorillonítica	84	5.2	194	0.43	1.27

Gabriel Márquez Cárdenas, 1987.

Tabla 4.6- DENSIDAD DE SÓLIDOS, EN MINERALES

Mineral	Gs	Mineral	Gs	Mineral	Gs
Cuarzo	2.65	Haloisita	2.0-2.55	Moscobita	2.75-3.1
Caolinita	2.6	Feld. Potásico	2.57	Hornblenda	3.0-3.47
Illita	2.8	Clorita	2.6-2.76	Limonita	3.6-4.0
Montmorillonita	2.65-2.80	Biotita	2.8-3.2	Olivino	3.27-3.37

Fuente: Braja M. Das. 2001

Tabla 4.7- GRADOS DE SATURACIÓN EN SUELOS

Denominación	Grado de saturación (%)
Seco	0 - 25
Húmedo	25 - 50
Muy húmedo	50 - 80
Altamente saturado	80 - 95
Saturado	95 - 100

Alberto J. Martínez Vargas, 1990

EJERCICIOS

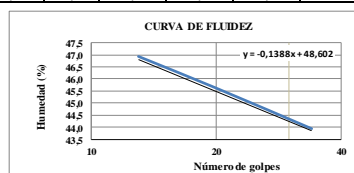
Ejercicio 4.1.

Calcular los siguientes valores de la plasticidad de los suelos

FECHA:	SONDEO N°:	1
PROYECTO:	MUESTRA N°:	1
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD:	1,5 m
DESCRIPCIÓN: Suelo de color pardo oscuro arenoso con orgánico	HOJA:	1 DE 1

LÍMITE DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Determinación N°	1	2	3	1	2	3
Número de golpes	34	20	13			
Recipiente N°	26	31	18	11	1	
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	22,00	19,75	18,10	17,31	16,90	
Recipiente+ Suelo seco (gr)	18,26	16,10	14,66	14,77	14,51	
Peso del agua (gr)	3,74	3,65	3,44	2,54	2,39	
Peso recipiente (gr)	9,75	8,10	7,33	6,20	6,48	
Peso suelo seco (gr)	8,51	8,00	7,33	8,57	8,03	
Humedad (%)	43,95	45,63	46,93	29,64	29,76	

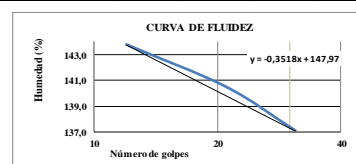
LÍMITE LÍQUIDO	45.1
LÍMITE PLÁSTICO	29.7
ÍNDICE PLÁSTICO	15.4



FECHA:	SONDEO N°:	3
PROYECTO:	MUESTRA N°:	5
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD:	7,5 m
DESCRIPCIÓN: Suelo arcillosos de color gris con vetas de color habano	HOJA:	1 DE 1

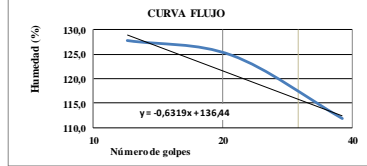
LÍMITE DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Determinación N°	1	2	3	1	2	3
Número de golpes	31	21	12			
Recipiente N°	46	23	17	8	1	
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	29,62	27,32	25,55	20,60	19,75	
Recipiente+ Suelo seco (gr)	17,13	15,63	14,55	14,53	13,90	
Peso del agua (gr)	12,49	11,69	11,00	6,07	5,85	
Peso recipiente (gr)	8,02	7,31	6,90	6,43	6,00	
Peso suelo seco (gr)	9,11	8,32	7,65	8,10	7,90	
Humedad (%)	137,10	140,50	143,79	74,94	74,05	

LÍMITE LÍQUIDO	139.2
LÍMITE PLÁSTICO	74.5
ÍNDICE PLÁSTICO	64.7



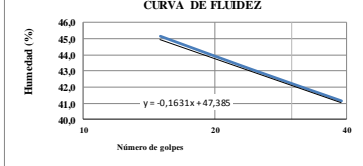
FECHA:	SONDEO N°:	12	
PROYECTO:	MUESTRA N°:	6	
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD:	7,8 m	
DESCRIPCIÓN:	Suelo limo arcilloso de color amarillo con vetas de color blanco	HOJA: 1 DE 1	
LÍMITE DE ATTERBERG			
Determinación N°	1	2	3
Número de golpes	38	21	12
Recipiente N°	43	21	9
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	32,25	31,09	29,92
Recipiente+ Suelo seco (gr)	21,03	19,16	17,46
Peso del agua (gr)	11,22	11,93	12,46
Peso recipiente (gr)	11,00	9,60	7,71
Peso suelo seco (gr)	10,03	9,56	9,75
Humedad (%)	111,86	124,79	127,79

LÍMITE LÍQUIDO	120,6
LÍMITE PLÁSTICO	68,3
ÍNDICE PLÁSTICO	52,3



FECHA:	SONDEO N°:	1	
PROYECTO:	MUESTRA N°:	4	
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD:	6,0 m	
DESCRIPCIÓN:	Limo arcilloso de color gris pardo con partículas meteorizadas	HOJA: 4 DE 16	
LÍMITE DE ATTERBERG			
Determinación N°	1	2	3
Número de golpes	39	24	15
Recipiente N°	20	6	17
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	24,42	21,90	22,00
Recipiente+ Suelo seco (gr)	20,19	17,59	17,77
Peso del agua (gr)	4,23	4,31	4,23
Peso recipiente (gr)	9,91	7,60	8,40
Peso suelo seco (gr)	10,28	9,99	9,37
Humedad (%)	41,15	43,14	45,14

LÍMITE LÍQUIDO	43,3
LÍMITE PLÁSTICO	25,8
ÍNDICE PLÁSTICO	17,6



Ejercicio 4.2.

Calcular los siguientes valores de plasticidad de las muestras de suelo y hacer la clasificación.

sondeo No	Muestra No	Profundidad m	Wn (%)	WI (%)	Wp (%)	Ip	P ₂₀₀	SUCS
1	1	0,5	34,6	54,1	31,5	22,6	85,0	
1	2	1,5	34,0	44,9	29,7	15,2	60,6	
1	3	3,0	52,8	54,0	37,4	16,6	69,9	
1	4	4,0	38,2	54,9	33,1	21,8	88,8	
1	5	4,0	29,7	43,0	25,7	17,3	75,9	
1	6	6,7	32,3	39,6	25,0	14,6	85,5	
2	1	0,2	37,0	58,8	32,1	26,7	75,8	
3	3	1,8	47,6	67,9	38,6	29,3	85,3	
5	1	1,5	36,7	42,8	32,7	10,1	39,8	
5	2	3,0	96,1	132,7	69,7	63,0	89,1	
5	3	4,0	52,6	61,8	37,9	23,9	71,9	
5	4	6,0	59,0	69,7	38,8	30,9	91,9	
5	5	7,0	30,1	39,7	29,0	10,7	81,1	
6	3	4,0	46,7	59,6	36,9	22,7	78,6	
6	4	6,2	47,9	68,5	41,2	27,3	83,4	
8	3	4,0	51,7	64,1	40,1	24,0	68,8	
8	4	5,5	42,9	54,1	34,8	19,3	80,9	
9	3	4,0	41,7	55,8	33,6	22,2	63,3	

- Wn** Humedad natural
- WI** Límite líquido
- Wp** Límite plástico
- Ip** Índice de plasticidad
- P₂₀₀** Fracción pasa tamiz No 200
- SUCS** Sistema Unificado de Calsificación de suelos

SONDEO No	MUESTRA No	PROFUNDIDAD (m)	LL%	LP%	IP%	PT ₂₀₀ (%)	SUCS
1	1	6,0	60	44,9	15,1	56,4	
1	2	8,0	105,7	75,8	29,8	70,6	
1	3	12,0	67,4	47,3	20,1	60,4	
1	4	14,0	60,0	44,9	15,1	56,4	
3	2	18,0	71,2	58,5	12,7	70,4	
4	3	17,0	52,2	41,7	10,5	63,7	
5	3	17,5	165,8	127,2	38,6	90,3	
6	2	13,0	140,1	103,6	36,5	70,2	
7	2	15,0	149,2	106,0	43,2	58,2	
7	3	16,5	58,0	47,9	10,2	78,2	
8	3	15,5	52,7	42,9	9,9	57,9	
9	2	14,0	93,6	71,8	21,8	74,9	
9	3	15,0	57,3	43,2	14,2	58,3	
10	2	11,0	68,9	50,0	19,0	63,8	
14	1	6,1	90,4	63,3	27,1	54,9	
14*	2	3,5	82,9	59,9	23,0	69,5	
16	2	4,0	110,9	79,3	31,6	82,2	
16	3	8,0	80,0	56,8	23,2	55,2	
17	2	6,5	50,1	40,7	9,3	55,6	
18	2	4,5	50,1	33,3	16,7	71,6	
19	1	5,0	87,6	62,5	25,0	82,3	
20	2	10,0	88,5	63,2	25,2	64,7	
20	3	12,0	79,3	47	32,4	70,1	
24	2	9,5	69,8	43,2	26,6	70,5	
25	2	8,5	102,1	84,2	17,9	57,8	
25	3	11,0	51,0	29,2	21,8	59,9	
26	2	9,0	142,4	118,9	23,6	55,1	
26	3	12,0	83,5	49,7	33,9	84,1	

DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO ON LINE:

Consistencia del Suelo – Límites de Atterberg – Índices. Blog de Santiago Osorio R.
<http://geotecnia-sor.blogspot.com.co/search/label/Indice%20de%20Liquidez>

Guía de Laboratorio para obtener los Límites de Atterberg. Fuente:
 trabsuelos.blogspot.com <http://civilgeeks.com/2015/07/13/guia-de-laboratorio-para-obtener-los-limites-de-atterberg/>

Introducción a algunas propiedades fundamentales de los suelos. Ing. Julio Roberto Nadeo U.T.N. e Ing. Julio Roberto Nadeo U.N.L.P. Argentina. See more at:
<http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Propiedades%20caracteristicas%20de%20los%20suelos.pdf>

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>



GEOMECÁNICA. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar P., Carlos Enrique. Universidad Nacional de Colombia (2016). See more at:
<http://galeon.com/geomecanica>