

2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

La cantidad de agua presente en una masa de suelo le da a éste una cierta coherencia o trabazón entre sus granos componentes, que le permite mantener un grado de estabilidad constante para dicho contenido de humedad. Si la humedad se incrementa el material tiende a ablandarse hasta llegar a parecerse a un líquido (lodo); si, por el contrario, el agua desaparece, el suelo se endurece. A la situación o estado que presenta el suelo en diferentes contenidos de humedad lo conoceremos simplemente como *consistencia*.

Los diferentes grados de consistencia suelen ser más evidentes en suelos de grano fino, ya que, como vimos en las propiedades mineralógicas en el capítulo anterior, las partículas logran mantener más agua en sus caras y bordes.

La consistencia de un suelo es una medida cualitativa del estado en el que se encuentra; junto con dos determinaciones cuantitativas, la granulometría y el ensaye de penetración estándar, constituyen las pruebas más empleadas para determinar propiedades de los suelos. Aun cuando la consistencia pueda provenir de un juicio subjetivo basado en la experiencia y la sensibilidad, se han definido (estandarizado) estados de consistencia y límites entre ellos que es necesario respetar para profundizar —compartiendo resultados— en el conocimiento de los suelos.

2.1 DEFINICIÓN

Como acabamos de decir, la noción de límites de consistencia de un suelo nace del concepto de que el suelo puede existir en cualesquiera de cuatro estados arbitrarios, dependiendo de su contenido de humedad. Esto se ilustra en la figura 2.1(A), en donde se muestra el suelo asentándose en agua y dejando que se seque lentamente.

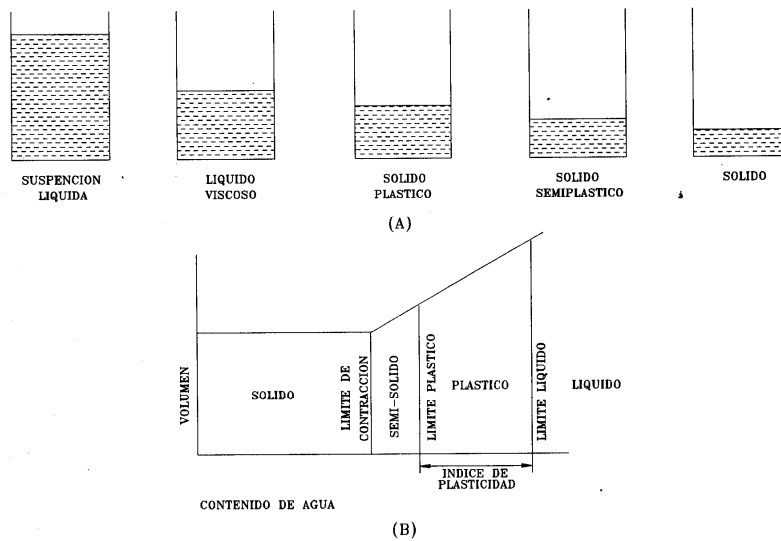


Figura 2.1. Límites de consistencia: (A) cambio de líquido a sólido a medida que el suelo se seca; (B) cambios en el volumen y consistencia con respecto al contenido de humedad.

Inicialmente, el suelo está en la forma de un líquido viscoso, con resistencia cortante nula. A medida que el contenido de humedad se reduce, comienza a adquirir algo de resistencia, pero aún es fácilmente remoldeable: ésta es la fase plástica-sólida. El secado adicional reduce su capacidad para ser remoldeado de tal forma que pueda agrietarse cuando se le remoldea; ésta es la fase semisólida. Eventualmente el suelo se vuelve tan seco como un cuerpo sólido frágil.

Las primeras ideas sobre límites de consistencia y su determinación fueron desarrolladas alrededor de 1910 por Atterberg, un químico e investigador agrícola de origen sueco. En su trabajo original Atterberg (1911) identificó cinco límites, pero solamente tres (límites de contracción, plástico y líquido) han sido usados en el estudio de las propiedades del suelo.

Los límites líquido (LL) y plástico (LP) representan los contenidos de humedad en la frontera entre las fases plástica y líquida y entre las fases semisólida y sólida, respectivamente, como se indica en la figura 2.1(B). En la misma figura se muestra el límite de contracción (LC), representado por el contenido de humedad al cual un secado adicional del suelo no ocasiona reducción adicional del volumen del suelo.

En términos electroquímicos, las partículas del mineral arcilloso están lo bastante alejadas en el límite líquido para reducir a casi cero la atracción electroquímica, y en su límite plástico hay una cantidad de agua mínima presente para mantener la flexibilidad de los enlaces.

2.2 OBTENCIÓN

Límite líquido. Para la obtención del límite líquido, el ensaye se inicia por amasar, con agua destilada, unos 100 g. de suelo seco que pasen en el tamiz número 40 de la ASTM; tratando de añadir la cantidad de agua necesaria para acercarse lo más posible al límite líquido.

Si se trabaja con un suelo de límite líquido elevado, como una bentonita o una montmorilonita, es recomendable dejar el suelo amasado en una cámara húmeda durante 24 horas para asegurar una mejor mezcla con el agua. La masa se coloca con una espátula en la cuchara de modo que ocupe la parte inferior de ella, como se muestra en la figura 2.2.

Después se abre un surco con un acanalador, del tipo mostrado en la figura 2.2, y se comienza a dar vueltas a la manivela, a razón de dos golpes por segundo, con lo cual, por medio de una excéntrica, se levanta la cuchara y se deja caer desde una altura de un centímetro. La prueba transcurre hasta que las paredes del surco formado se unen entre sí una distancia de 1.2 cm. Cuando esto ocurra, el límite líquido corresponderá al contenido de

humedad de suelo en el que el surco se une, siempre y cuando se hayan dado 25 vueltas a la manivela.

Como lo anterior no suele coincidir —25 vueltas a la manivela y 1.2 cm de contacto entre las paredes— para un contenido inicial de humedad; se efectúan varios ensayos añadiendo más agua, si se requiere que el número de golpes quede por debajo de 25 vueltas, o secando la masa de suelo extendiéndola y amasándola, si se necesitan más vueltas de la manivela.

Los contenidos de humedad, 3 o 4, correspondientes a esos ensayos, que hayan quedado entre 10 y 40 vueltas, se grafican en escala natural sobre el eje vertical del cuadro mostrado en la figura 2.3. Los respectivos números de vueltas de la manivela (o golpes sobre la base de la copa) se llevan en escala logarítmica al eje horizontal de la misma figura. Los puntos se ajustan a una línea recta, llamada curva de fluidez, para determinar LL. Éste será aquella humedad que intersekte al número de golpes $N = 25$ sobre dicha recta.

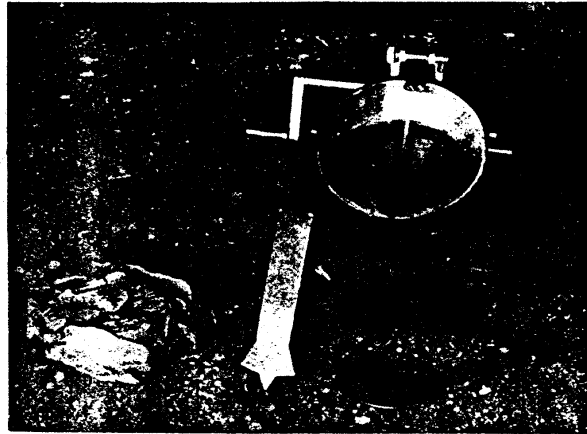


Figura 2.2. Copa de Casagrande para la obtención del límite líquido de un suelo. Se muestran los dos tipos de acanaladores, el de la ASTM a la derecha y el de Casagrande a la izquierda.

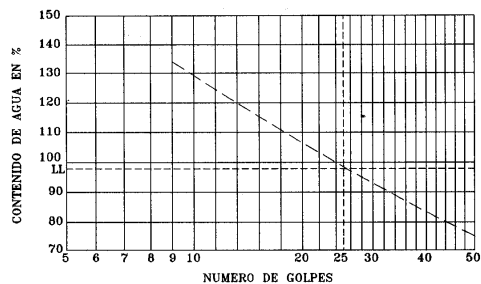


Figura 2.3. Curva de fluidez para la determinación del límite líquido.

Veremos enseguida algunas características de la prueba que serán de utilidad en su ejecución e interpretación, nos referiremos en especial al tipo de base en el que golpea la copa, a la clase de acanalador empleado y a las ayudas gráficas que reducen los ensayos a uno solo.

Efecto de la base de golpeo de la copa. En América se emplea mucho una base de Micarta número 221, fabricada por la Westinghouse; en cambio, en la Gran Bretaña se usa una base más blanda, lo que provoca que en ese país los límites líquidos obtenidos sean más altos (se requiere más humedad para cerrar el surco, ya que se reduce la fuerza de golpeo).

Casagrande recomienda que la dureza de la base sea tal que una bolita de acero de 0.794 cm de diámetro dejada caer desde una altura de 25 cm, rebote un distancia comprendida entre el 75% (18.75 cm) y el 90% (22.50 cm) de la altura de caída.

Debido a este tipo de inconvenientes, el mismo Casagrande propuso en 1958 sustituir el ensaye de tipo dinámico de la copa por un estático, con la condición de que fuera tan simple como para que pudiera competir con el de la copa.

El ensaye propuesto consiste en un dispositivo como el mostrado en la figura 2.4, en el que un cono empujado por un peso de 75 g penetra durante 10 segundos una muestra de suelo colocada como se indica. La caída del cono se frena para evitar los efectos dinámicos ya comentados.

La muestra de suelo se encuentra en su límite líquido cuando la punta del cono penetra 10 mm. Como en el caso de la copa, deberán efectuarse varias determinaciones con el fin de interpolar entre ellas la que corresponda a una penetración de 10 mm.

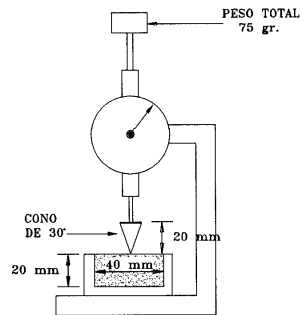


Figura 2.4. Cono diseñado por la Comisión Geotécnica Sueca (método estático).

En la figura 2.5 se presenta la correlación entre el método convencional de la copa y el del cono. Con este último procedimiento puede además determinarse el valor de LL en suelos con poca plasticidad, cuya dificultad se acrecienta en el método de la copa debido a los problemas para formar el surco.

El método del cono fue normalizado en la Unión Soviética en 1949. Las normas británicas (BS, por sus siglas en inglés) lo han estandarizado también, pudiéndose encontrar una descripción completa del procedimiento y de los aparatos empleados bajo la especificación BS 1377.

Diferentes tipos de acanaladores. Con el fin de formar el surco sobre el espécimen de suelo alojada en la copa se cuenta con diferentes tipos de acanaladores, dos de ellos ya fueron mostrados en la figura 2.2. En esta figura se muestra a la izquierda el acanalador propuesto por Casagrande y a la derecha el de la ASTM.

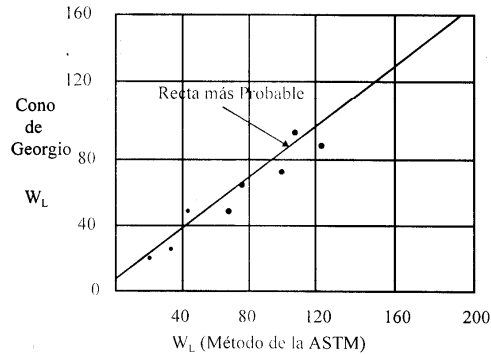


Figura 2.5. Correlación entre el método de la copa y el del cono para la determinación del límite líquido.

El de Casagrande tiene la ventaja de que mantiene siempre la misma profundidad de surco y deberá de preferirse en la mayoría de los casos. El de la ASTM no controla la profundidad del surco, pero es de utilidad en suelos turbosos, además se desgasta mucho menos con el uso; por ello el de Casagrande se tiene que sustituir regularmente. La correlación entre ambos tipos de acanalador es que el de la ASTM da menores límites líquidos que el de Casagrande.

En suelos poco plásticos el acanalador de Casagrande puede tener dificultades para formar un surco aceptable, ya que empuja el material fuera de la cuchara. Por ello es que Hoványi propuso un acanalador hueco (véase la figura 2.6) que evita esto, tal como se muestra en la figura 2.7, en donde pueden verse dos surcos efectuados por el mismo operario manteniendo todas las condiciones constantes a excepción del acanalador.

Ayudas gráficas. En el método dinámico que emplea la copa de Casagrande, es posible obtener el valor de LL efectuando sólo un ensaye o dos cuando mucho, mediante la

utilización del gráfico mostrado en la figura 2.8. En él observamos una línea de puntos con pendiente igual a 0.117, los puntos obtenidos en el ensaye se llevan a esta gráfica doblemente logarítmica, ajustando la curva de fluidez a esta pendiente y leyendo el valor de LL para un número de golpes de 25 (en el ejemplo mostrado en la figura, LL = 40.8 para N = 25).

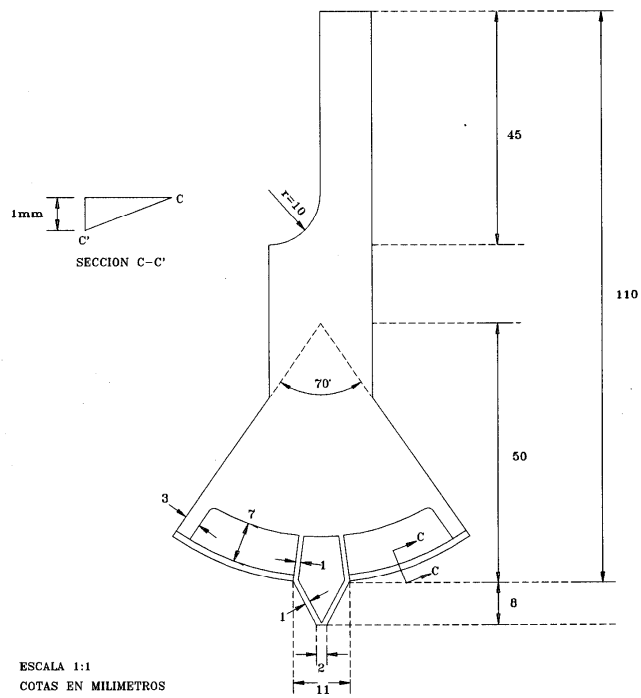


Figura 2.6. Acanalador de Hoványi.

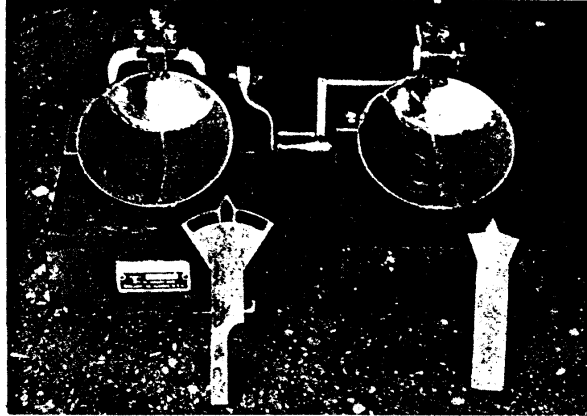


Figura 2.7. Comparación de los surcos obtenidos por un técnico experto con los acanaladores de Hoványi (izquierda) y Casagrande (derecha) en un suelo poco plástico ($LL = 25.2$, $IP = 4.8$). En ambos casos el surco se hizo de una sola pasada.

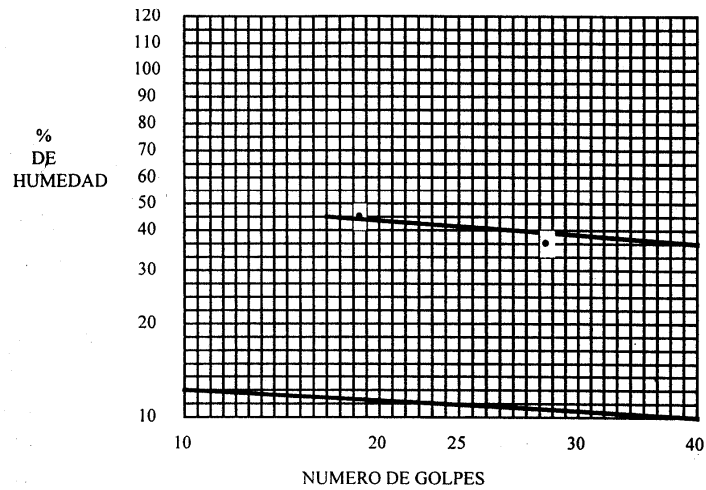


Figura 2.8. Gráfico de ayuda para la determinación del límite líquido con uno o dos puntos, en este caso la gráfica es logarítmica en ambos ejes.

Algunos investigadores han demostrado la utilidad de esta gráfica, ya que incluso se ha concluido que la determinación de LL mediante varios ensayos puede conducir a errores, debido sobre todo al técnico operario.

Como una alternativa a la construcción de un gráfico, los valores de LL pueden obtenerse también multiplicando los valores del contenido de humedad del espécimen de prueba por un factor de corrección, dado por la tabla 2.1, en este caso sólo se requiere de un ensayo.

Tabla 2.1. Factores de corrección para la obtención del límite líquido mediante el procedimiento de un punto.

No. de golpes	Factor F	No. de golpes	Factor F	No. de golpes	Factor F
15	0.95	22	0.99	29	1.01
16	0.96	23	0.99	30	1.02
17	0.96	24	0.99	31	1.02
18	0.97	25	1.00	32	1.02
19	0.97	26	1.00	33	1.02
20	0.98	27	1.01	34	1.03
21	0.98	28	1.01	35	1.03

LL = contenido de humedad del espécimen de prueba x factor F.

También existe una técnica que nos auxilia a obtener el valor de LL mediante un sólo punto, en caso de que estemos obteniendo LL con el método estático del cono mencionado anteriormente. En esta ocasión deberá emplearse la gráfica de la figura 2.9 con la única condición de que el punto obtenido se halle entre una penetración de 5 y 15 mm, una vez localizada la penetración y humedad correspondiente se procede a seguir la pendiente vecina (marcadas con línea continua en la figura), hasta llegar a la penetración 10 mm. En la misma figura se ejemplifica lo anterior con un caso marcado con línea discontinua.

Límite plástico. El ensayo se realiza con la fracción de suelo que pasa por el tamiz número 40, con un contenido de humedad algo superior al límite plástico. Con esta humedad será posible formar fácilmente una bola con el suelo sin que se resquebraje.

A continuación se toman unos 8 g. de este suelo, se forma con él una especie de elipsoide rodándose entre la palma de la mano y una superficie lisa que no absorba mucha humedad, hasta llegar a un diámetro de 3 mm. Si al llegar a este diámetro no se ha cuarteado el cilindro de modo que quede dividido en trozos de uno a 6 mm de longitud, se vuelve a formar y a rodar el elipsoide hasta llegar a este tipo de resquebrajamiento.

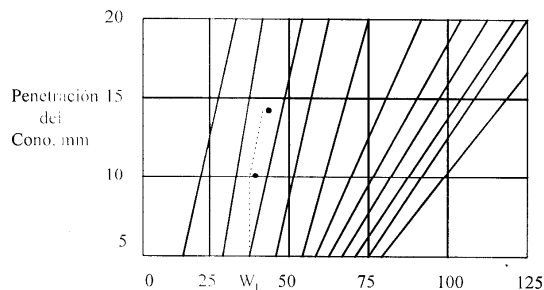


Figura 2.9. Gráfica que sirve para determinar el límite líquido con un sólo punto, mediante el procedimiento del cono.

El suelo se encontrará en su límite plástico cuando se cuarte al llegar precisamente a los 3 mm. Pero no importa que el cilindro se resquebraje antes, con tal que anteriormente haya llegado al menos una vez a los 3 mm. sin resquebrarse.

El proceso se ejecuta unas dos veces. La humedad promedio correspondiente —si la diferencia entre una determinación y otra no es significativa— corresponde al límite plástico buscado.

La tenacidad en el límite plástico es alta, debiéndose aplicar con las manos considerable presión para formar los rollitos; por el contrario, las arcillas de baja plasticidad son poco tenaces en el límite plástico.

Obviamente el procedimiento depende mucho del operador, por lo que el método de Harrison (1988) basado en un penetrómetro de cono pudiera ser exitoso. No estudiaremos aquí esta técnica, porque consideramos que sería de mayor provecho una investigación que incluyera varias pruebas, hasta llegar a demostrar la utilidad de dicho método.

Límite de contracción. Como se dijo anteriormente, en el método original de Atterberg, la determinación del límite de contracción de un suelo consistía en la realización de mediciones frecuentes de la longitud y peso de un mismo prisma, hasta que ya no se observara ninguna disminución de la longitud.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los suelos no presentan, prácticamente, disminución de volumen durante el proceso de secado abajo del límite de contracción, Terzaghi sugirió un método más simple de determinación, que esencialmente, consiste en medir el peso y el volumen de una muestra de suelo totalmente seca; en tal momento, puede decirse que el límite de contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus vacíos llenos de agua. De esta idea y teniendo en cuenta la figura 2.10, puede deducirse:

$$LC(\%) = \frac{\left(V_m - \frac{W_s}{S_s \gamma_w} \right) \gamma_w}{W_s} 100 = \left(\frac{V_m \gamma_w}{W_s} - \frac{1}{S_s} \right) 100$$

Expresión en la cual algunos de los términos se definen en la figura 2.10, LC es el límite de contracción, S_s es el peso específico relativo de la fase sólida, γ_w es el peso específico del agua (= 1.00 gr/cm³ en condiciones normales). Si S_m es el peso específico relativo de la masa de suelo, la expresión anterior puede quedar como:

$$LC(\%) = \left(\frac{1}{S_m} - \frac{1}{S_s} \right) 100$$

Nótese que $W_m = W_s$, dado que la muestra está totalmente seca. La aplicación de la fórmula anterior requiere de la determinación del volumen de la muestra seca del suelo. Terzaghi desarrolló un método para ello, que desde entonces ha permanecido como clásico en todos los laboratorios.

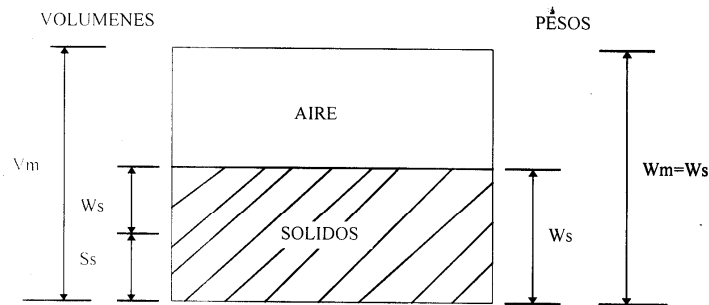


Figura 2.10. Esquema que sirve para aclarar la determinación del límite de contracción.

Un recipiente de vidrio (o lucita) como se detalla en la figura 2.11 se llena de mercurio hasta derramarse y se enrasa cuidadosamente, cubriéndolo con una placa del mismo material, provisto de tres patas. A continuación se coloca el recipiente en otro mayor; la muestra seca se deposita sobre la superficie del mercurio y se sumerge presionándola con las patas de la placa, hasta que dicha placa vuelve a quedar bien ajustada sobre el recipiente de vidrio, las patas impiden que la placa se ladee, manteniéndola sumergida. La cantidad de mercurio desplazado se recoge en el recipiente mostrado y se pesa, calculando así su volumen si se conoce el peso específico del mercurio, que para fines prácticos puede tomarse como 13.56 g/cm^3 .

En la determinación del límite de contracción según Terzaghi, es preciso determinar el peso específico relativo de los sólidos de la muestra por medio de una prueba independiente.

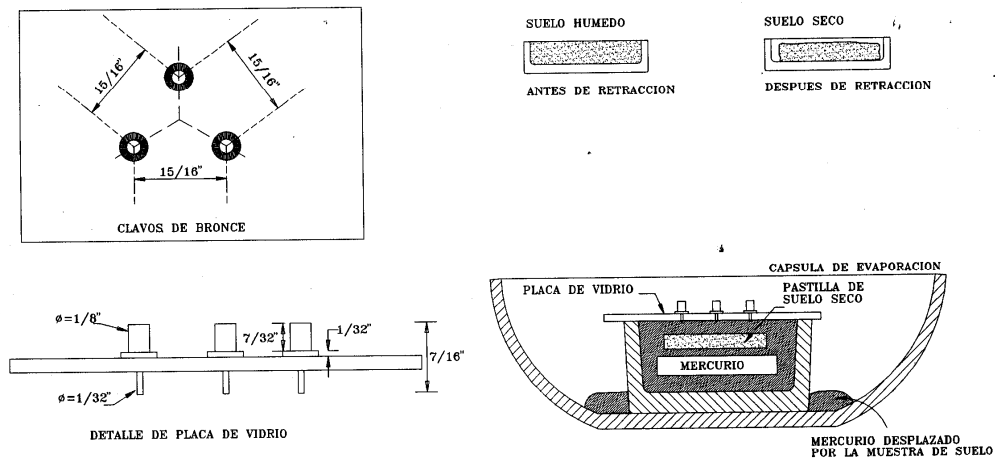


Figura 2.11. Detalle del dispositivo usado para la determinación del límite de contracción.

La Public Road Administration de los EE UU ha desarrollado otro método para la determinación del límite de contracción de los suelos, en el cual no se requiere contar con el peso específico relativo de los sólidos S_g . Según este procedimiento, el suelo se remoldea hasta una consistencia cercana al límite líquido, añadiendo agua si es preciso; con este suelo se llena una cápsula de volumen conocido. La superficie del suelo se alisa perfectamente con una espátula y se protege con una placa de vidrio; pesada la muestra se seca en un horno, hasta obtener peso constante, que se anota. El volumen de la muestra, ya seca, se determina con el método del mercurio anteriormente descrito. Se conocen así las siguientes cantidades:

V_1 = Volumen de la muestra húmeda, igual al volumen de la cápsula.

W_1 = Peso de la muestra húmeda.

V_2 = Volumen de la muestra seca.

W_3 = Peso de la muestra seca.

$$LC(\%) = 100 \frac{\Delta}{W_s} = 100 \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2)\gamma_w}{W_s}$$

En este método no es necesario conocer el peso específico de los sólidos del suelo, e inclusive, puede determinarse a partir de las cantidades medidas. Debe, sin embargo, hacerse notar que la determinación del peso específico relativo por este método no es suficientemente precisa, a causa de las burbujas de aire que inevitablemente contiene la muestra húmeda al ser colocada en la cápsula de secado.

La prueba para obtener el límite de contracción es difícil de llevar a cabo y sus resultados pueden variar de acuerdo con el método de prueba usado, y algunas veces incluso depende del contenido de humedad inicial del espécimen. Si éste se seca desde una humedad cercana a la del límite líquido (por ejemplo, cuando se usa el método de la PRA descrito anteriormente), pueden obtenerse valores de LC ¡mayores que LP! Esto es particularmente cierto en arcillas limosas y arenosas.

En sus clases de la Universidad de Harvard, Casagrande sugería que el contenido de humedad inicial en los ensayos de LC debían estar ligeramente por arriba del LP; sin embargo, es difícil preparar especímenes con tan bajos contenidos de humedad sin atrapar burbujas de aire.

Se ha descubierto que los suelos preparados según la sugerencia de Casagrande y dibujados cerca de la línea A de la carta de plasticidad (después profundizaremos sobre este tipo de gráficos), poseen un valor de LC cercano a 20. Si el suelo se dibuja una cantidad Δp verticalmente por arriba o por debajo de la línea A, entonces el valor de LC será menor o mayor que 20 menos Δp o más Δp . O sea, para suelos que quedan por arriba de la línea A:

$$LC = 20 - \Delta p$$

Para suelos que quedan por debajo de la línea A:

$$LC = 20 + \Delta p$$

Este procedimiento para obtener el valor de LC (para suelos preparados en la forma sugerida por Casagrande) ha demostrado ser tan preciso como la prueba misma.

Un método alternativo aún más simple se ilustra en la figura 2.13. Las líneas U y A de la carta de plasticidad se extienden hasta intersectarse en las coordenadas (-43.5, -46.4), asimismo, desde el punto que define al suelo se prolonga otra línea hasta el mismo punto, como se ilustra en la figura. Esta última línea cruza al eje LL en un valor aproximadamente igual a LC del suelo.

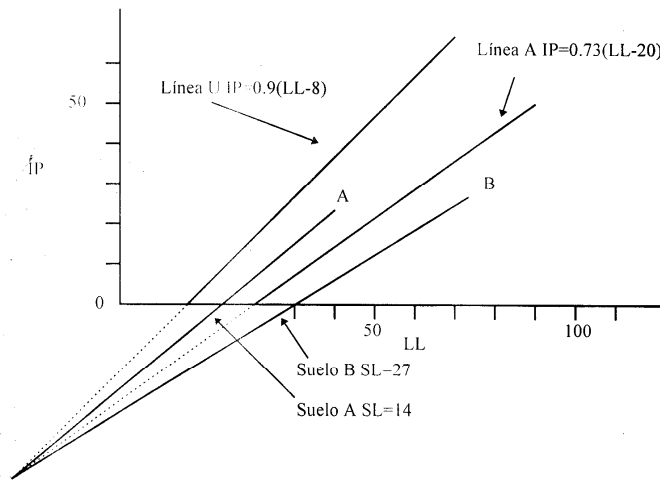


Figura 2.13. Procedimiento de Casagrande para la determinación del límite de contracción LC.

2.3 APLICACIONES BÁSICAS

La consistencia de un suelo, definida por pruebas fáciles de ejecutar (LL, LP y LC) y estandarizadas en todos los laboratorios de mecánica de suelos, es una propiedad índice que evalúa un tipo de comportamiento y que puede extenderse a la estimación de dos de las propiedades más importantes para ingenieros dedicados al campo de las cimentaciones: la resistencia y la compresibilidad.

En el siguiente capítulo detallaremos la forma en que podemos sacar provecho de los límites de consistencia, pero las ideas originales serán expuestas enseguida. Antes hablaremos de algunas aplicaciones básicas que se deducen de manera inmediata a partir de los límites de consistencia: la carta de plasticidad, el índice de fluidez, la actividad de las arcillas y el concepto de sensibilidad y tixotropía.

Carta de plasticidad. Esta gráfica ha sido propuesta por Arthur Casagrande después de estudiar miles de suelos y ubicarlos sobre un sistema de coordenadas. Este sistema se compone por un eje horizontal que representa los valores de LL y uno vertical sobre el que se grafican los de IP (índice de plasticidad = LL - LP). Sobre la carta se definen claramente tres líneas que son de gran utilidad en la clasificación de suelos. En la figura 2.14 se indican dichas líneas, así como su ecuación en función de los ejes propuestos.

Índice de fluidez. Según Terzaghi, el índice de fluidez (de gran utilidad en la relación consistencia-resistencia al corte) queda definido del siguiente modo:

$$IL = \frac{w - LP}{IP}$$

Expresión en la que w es la humedad del suelo (los demás términos ya han sido definidos). Nótese que IL es cero cuando w = LP y es uno cuando w = LL; por tanto, como la

mayoría de los suelos poseen una humedad comprendida entre LP y LL, su IL fluctuará entre 0 y 1, lo que acrecienta el carácter práctico de este índice

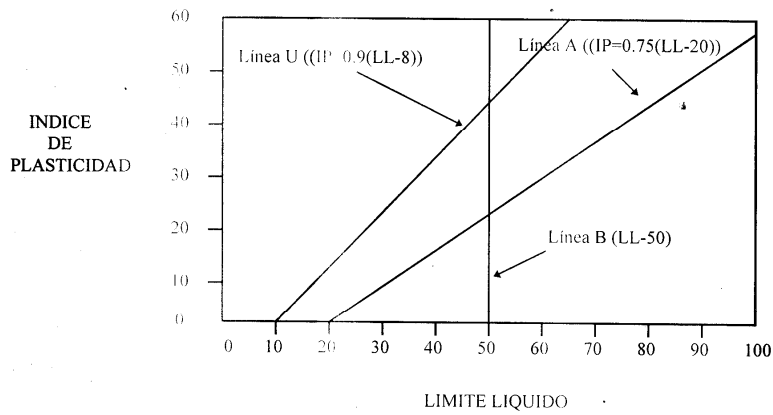


Figura 2.14. Carta de plasticidad, según propuesta de Casagrande.

Actividad de las arcillas. En 1953 Skempton encontró una relación entre el índice de plasticidad y la fracción de arcilla menor que 2μ (.002 mm) a la que denominó actividad:

$$\text{Actividad} = \frac{IP}{\text{fracción de arcilla } (\leq 0.002 \text{ mm})}$$

Dicha relación se presenta en la figura 2.15, en ella se puede ver que una serie de muestras de un estrato arcilloso define una línea recta que pasa por el origen. Este mismo concepto se relaciona con el tipo de mineral arcilloso, como se muestra en la figura 2.16.

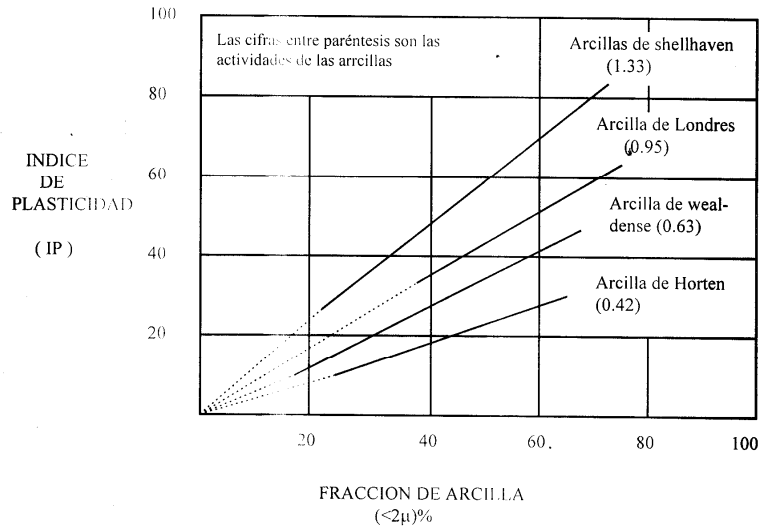


Figura 2.15. Actividad de las arcillas, según Skempton (1953).

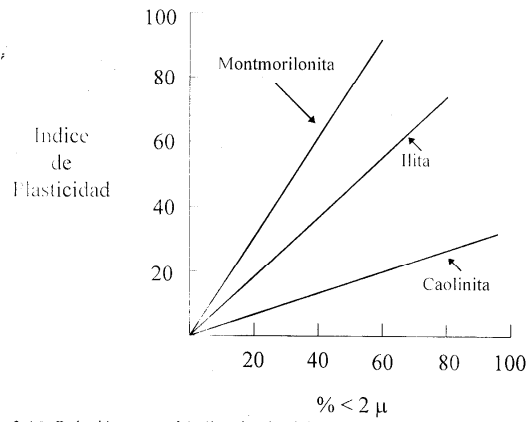


Figura 2.16. Relación entre el índice de plasticidad y el porcentaje de fracción arcillosa para diferentes tipos de mineral arcilloso.

Sensitividad y tixotropía. La sensibilidad de una arcilla, de acuerdo con Terzaghi, es:

$$S_t = \frac{\text{resistencia al corte sin drenaje (muestra inalterada)}}{\text{resistencia al corte sin drenaje (muestra remoldeada)}}$$

Según los valores de sensibilidad, las arcillas se clasifican del modo indicado por Skempton y Northey en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Clasificación de las arcillas de acuerdo con su grado de sensibilidad.

$S_t \cong 1$	sin sensibilidad
$1 < S_t < 2$	de baja sensibilidad
$2 < S_t < 4$	de sensibilidad media
$4 < S_t < 8$	sensitivas
$8 < S_t < 16$	muy sensitivas
$S_t > 16$	rápidas (quick clays)

La palabra tixotropía se usa para nombrar un fenómeno propio de las arcillas, sobre todo de su parte coloidal, y que consiste en la recuperación de su resistencia después de haberla perdido tras un enérgico amasado. Proviene del griego *thixis* que significa contacto o toque y *trepo* que quiere decir cambiar, mudar. Esta propiedad se vuelve muy evidente en arcillas cercanas a su LL, mientras que es imperceptible en arcillas próximas a su LP.

Las arcillas que presentan este fenómeno se vuelven prácticamente líquidas después del amasado; al poco rato, dejándolas en reposo, recuperan su consistencia sólida inicial mostrando la apariencia de que se han secado, pero se puede verificar que la pérdida de humedad por evaporación ha sido mínima, si no es que nula.

Las arcillas montmorilonitas presentan este fenómeno de manera notable; en tanto, las caolinitas y las ilitas exhiben muy poco endurecimiento tixotrópico.

Resistencia al corte. A partir de la definición esquematizada por la figura 2.1, el límite líquido representa el contenido de humedad mínimo para el cual el suelo posee una resistencia cortante nula. Sin embargo, debido a la forma en que se han definido los estándares de prueba que sirven para obtener LL, el suelo realmente tiene una pequeña resistencia.

Los procedimientos que siguen las ideas de Casagrande simulan una pendiente de falla debida a esfuerzos dinámicos, los cuales se presentan bajo condiciones rápidas de carga sin posibilidad de drenaje. La resistencia al corte del espécimen se reduce progresivamente al incrementarse el contenido de humedad hasta que la energía específica de entrada (en forma de golpecitos regulares) ocasiona una falla estándar en las paredes o pendientes del surco anteriormente definido.

El método alternativo del cono, propuesto desde 1922 por la Comisión Geotécnica Sueca, es también una prueba indirecta de la resistencia al corte que simula la falla de apoyo bajo condiciones rápidas de carga sin posibilidad de drenaje.

La conclusión inmediata sobre estos procedimientos de prueba es que todos los suelos exhiben en su límite líquido el mismo valor de resistencia al corte, bajo condiciones de drenaje impedido. Casagrande estimó que este valor era del orden de 2.6 kN/m^2 (0.26 ton/m^2), y más tarde, Skempton y Northey indicaron un rango entre 1 y 2 kN/m^2 (0.10 a 0.20 ton/m^2).

El procedimiento de rolado a mano usado en la prueba de límite plástico, puede considerarse como una medida de la dureza de un suelo (la energía requerida para romperlo) que está también relacionada con su resistencia cortante, aunque no existen analogías obvias del mecanismo de falla.

Varios investigadores han informado que todos los suelos en su límite plástico exhiben valores similares de su resistencia cortante bajo condiciones de drenaje impedido, dicha resistencia no se mantiene tan constante como el caso de LL, llegando a oscilar entre 100 y 200 kN/m² (10.2 y 20.4 ton/m²).

Desde 1910 se sabía que la consistencia representaba una medida de la resistencia al corte de los suelos, el mismo asistente de Atterberg, el geólogo Simon Johansson publicó en 1914 un artículo sobre la resistencia de los suelos con diferentes contenidos de humedad.

Como consecuencia de la discusión anterior, es notable el cambio de resistencia de los suelos en su rango de plasticidad, desde aproximadamente 1 kN/m² en su LL hasta alrededor de 100 kN/m² en su LP. El índice de plasticidad (IP) es por tanto el cambio de contenido de agua necesario para llevar la resistencia hasta un valor de cien veces aproximadamente su valor original, en todo el rango plástico.

Es entonces posible que un suelo remoldeado, con un contenido de humedad dentro del rango plástico, posea una resistencia al corte que oscile entre esos extremos; por lo que sería razonable suponer que para un suelo dado, su resistencia cortante real esté relacionada con su humedad y también que el patrón general de resistencia al corte cambia con el contenido de humedad.

Este cambio, a través del rango plástico, es, como hemos visto, similar para todos los suelos; entonces, debería ser posible predecir la resistencia al corte remoldeada de cualquier arcilla, a partir de su contenido de humedad y sus límites líquido y plástico

En el siguiente capítulo discutiremos algunas correlaciones que nos serán de utilidad en la determinación de la resistencia al corte de arcillas remoldeadas, en función de su consistencia (humedad, límite líquido y límite plástico).

Con ligeras modificaciones (que deberán tener en cuenta la consecuente pérdida de precisión) es posible usar estas relaciones para estimar la resistencia al corte de una arcilla inalterada. Esto es particularmente útil debido al hecho de que la mayoría de las arcillas, tanto en su estado natural como cuando se usan en obras térreas, se hallan en estado plástico.

Cambios volumétricos. Una consecuencia adicional de los conceptos anteriores es que los suelos con bajos índices de plasticidad, requieren sólo una pequeña reducción de su contenido de humedad para incrementar sustancialmente su resistencia al corte. Por el contrario, un suelo con un alto índice de plasticidad, no se estabilizará bajo las cargas hasta que se haya dado un gran cambio en la humedad. Esto implica que los suelos altamente plásticos serán menos estables y que puede existir una correlación entre plasticidad y compresibilidad (los cambios de humedad necesarios para dicha estabilidad implican cambios de volumen).

La consistencia también depende de la cantidad y tipos de minerales presentes en la arcilla, los cuales controlan la permeabilidad y por ende la velocidad de consolidación. También, en el siguiente capítulo veremos la correspondencia existente entre el límite líquido y el coeficiente de consolidación.