

# DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

I.N.V. E – 125 – 07

## 1. OBJETO

- 1.1 El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.
- 1.2 Para los fines de esta especificación, cualquier valor observado o calculado deberá aproximarse a la “unidad mas cercana”.
- 1.3 Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

## 2. EQUIPO

- 2.1 *Vasija de evaporación* – Una vasija de porcelana de 115 mm (4½") de diámetro, aproximadamente.
- 2.2 *Espátula* – Una espátula de hoja flexible de 75mm a 100 mm (3" a 4") de longitud y 20mm (¾") de ancho, aproximadamente.
- 2.3 *Aparato del Límite Líquido*

2.3.1 *De operación manual* – Es un aparato consistente en una cazuela de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 1.

2.3.2 *De operación mecánica* – Es un aparato equipado con un motor para producir la elevación y posterior caída de la cazuela (golpes) a una altura y velocidad controladas. Consta de una cazuela de bronce con los aditamentos y las dimensiones de la Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

*Nota 1.-* La base del aparato medidor del límite líquido debe tener una resiliencia entre 80 y 90 por ciento, cuando ha sido determinada de acuerdo con el procedimiento indicado en el Apéndice.

2.4 *Ranurador* – Un ranurador curvo (trapezoidal), conforme con las dimensiones exactas indicadas en las Figura 1. El calibrador no tiene que ser parte del ranurador.

*Nota 2.-* El ranurador plano no debe ser usado en reemplazo del ranurador curvo. Hay estudios que indican que el límite líquido aumenta levemente al utilizar el plano en lugar del curvo.

- 2.5** *Calibrador* – Ya sea incorporado o separado del ranurador, de acuerdo con la dimensión exacta "d", mostrada en la Figura 1, el cual puede ser, si fuere separado, una barra de metal de  $10.0 \pm 0.2\text{mm}$  ( $0.394 \pm 0.008"$ ) de espesor y de aproximadamente 50 mm (2") de longitud.
- 2.6** *Recipientes* – Hechos de material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con calentamientos y enfriamientos repetidos. Deben tener tapas que ajusten bien, para evitar pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final. Se requiere un recipiente para cada determinación del contenido de agua.
- 2.7** *Balanza* – Una balanza con una sensibilidad de 0.01 gr.
- 2.8** *Horno* – Un horno termostáticamente controlado, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) para secar las muestras.

## **MÉTODO A**

### **3. MUESTRA**

Se toma una muestra que pese aproximadamente 100 g. de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (No.40), obtenido de acuerdo con el método descrito en las normas INV E – 106 e INV E – 107.

### **4. AJUSTE DEL APARATO DEL LÍMITE LÍQUIDO**

- 4.1** Se deberá inspeccionar el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones de trabajo; que el pin que conecta la cazuela no esté tan gastado; que tenga juego lateral; que los tornillos que conectan la cazuela a su soporte estén ajustados; que los puntos de contacto en la cazuela y en la base no presenten un desgaste excesivo; que el borde de la cazuela no se encuentre desgastado y que la zona de la cazuela donde se ejecuta la ranura a la muestra de suelo no se encuentre gastada por el uso prolongado. Además, se debe inspeccionar el ranurador para verificar que las dimensiones son las exactas que se indican en la Figura 1.

Se considera que el desgaste es excesivo, cuando el diámetro del punto de contacto de la cazuela con la base excede de 13mm (0.5") o cuando cualquier punto sobre el borde de la cazuela se ha desgastado aproximadamente en la mitad del espesor original. Aun cuando se aprecie una ligera ranura en el centro de la cazuela, ésta no es objetable. Pero si la ranura se hace pronunciada antes de que aparezcan otros signos de desgaste, se considera que la cazuela está excesivamente gastada y deberá ser reemplazada.

Una base excesivamente desgastada puede pulirse, pero hasta cuando la tolerancia mostrada en la Figura 1 no exceda de 2.5 mm (0.1") y la distancia

entre la excéntrica de la cazuela y la base se mantenga dentro de la tolerancia especificada en la Figura 1

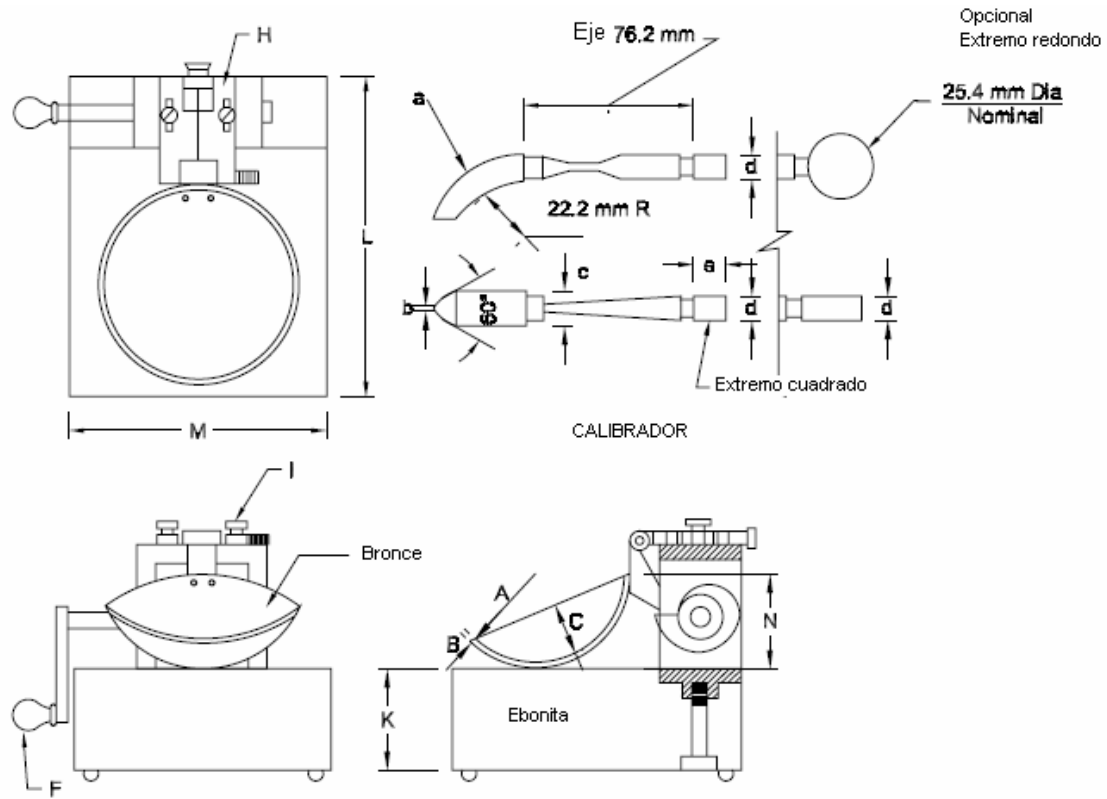
- 4.2** Por medio del calibrador del mango del ranurador y de la platina de ajuste H (Figura 1), se ajusta la altura a la cual levanta la cazuela, de tal manera que el punto de la cazuela que hace contacto con la base esté a  $10.0 \pm 0.2\text{mm}$  (0.394") sobre ésta. Se asegura la platina de ajuste H, apretando los tornillos I. Con el calibrador aún colocado, se comprueba el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, se oirá un sonido de roce cuando la excéntrica golpea contra la cazuela. Si la cazuela se levanta del calibrador o no se oye ruido, se debe hacer un nuevo ajuste.

## **5. PROCEDIMIENTO CUANDO SE UTILIZA EL RANURADOR CURVO.**

- 5.1** Se coloca la muestra de suelo en la vasija de evaporación y se mezcla completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Se mezcla completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

*Nota 3.-* Algunos suelos absorben el agua lentamente, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y dando un mayor tiempo de absorción, (1 hora aproximadamente). Se puede usar agua potable para las pruebas rutinarias, si pruebas de comparación no muestran diferencias entre los resultados obtenidos usando agua potable, agua destilada o agua desmineralizada. Sin embargo pruebas para confirmación o de discusión se deben hacer usando agua destilada o desmineralizada.

- 5.2** Cuando agua suficiente ha sido mezclada perfectamente con el suelo hasta formar una pasta uniforme de consistencia dura, se coloca una cantidad adecuada de esta mezcla en la cazuela encima del punto donde ésta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y a la vez, dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor. Se debe usar el menor número posible de pasadas con la espátula, evitando atrapar burbujas de aire en la masa de suelo. El suelo excedente se debe devolver al recipiente mezclador y se debe tapar con el fin de que se retenga la humedad de la muestra. Se divide el suelo en la cazuela de bronce con una firme pasada del ranurador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo, de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas como se ve en la Figuras 2. Para evitar rasgar los lados de la ranura y el desmoronamiento de la pasta del suelo en la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas, de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el ranurador debe penetrar un poco más profundo, hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. La ranura se deberá hacer con el menor número posible de pasadas.



Dimensiones	Aparato de límite líquido							Ranurador			
	Conjunto de la cazuela				Base			Extremo Curvado			
Descripción	A	B	C	N	K	L	M	a	b	c	d
	Radio de la copa	Espesor de la copa	Profundidad de la copa	Copa desde la guía del elevador hasta la base	Espesor	Largo	Ancho	Espesor	Borde cortante	Ancho	Diámetro
Métrico, mm	54	2	27	47	50	150	125	10	2	13.5	10
Tolerancia, mm	2	0.1	1	1.5	5	5	5	0.1	0.1	0.1	0.2
Inglés, pulg	2.13	0.079	1.063	1.85	1.97	5.9	4.92	0.394	0.079	0.531	0.3937
Tolerancia, pulg		0.004	0.04	0.06	0.2	0.2	0.2	0.004	0.004	0.004	0.008

Nota:

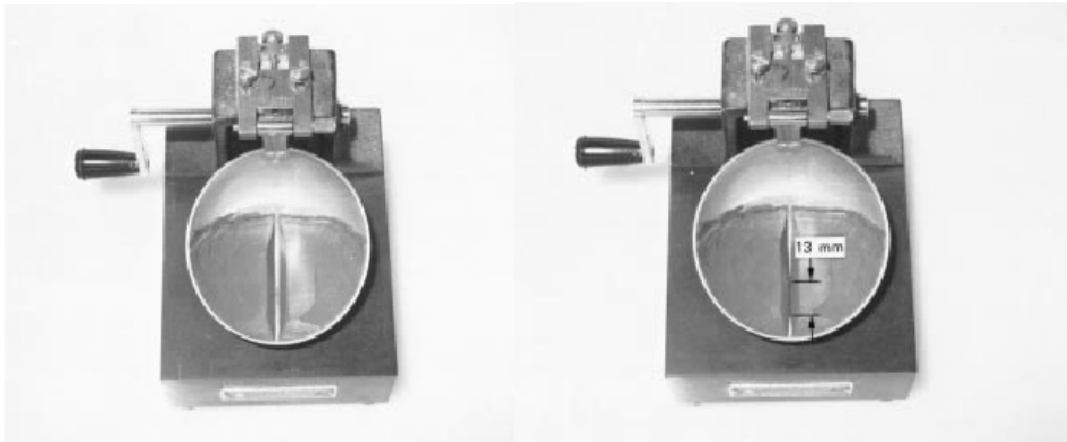
La platina "H" debe incluir un tornillo de seguridad (I).

Cuando se usan ranuradores podrá admitirse +0.1 mm de tolerancia para "b".

Las patas para la base deberán ser de material resistente.

Las unidades métricas son las dimensiones requeridas; las inglesas son solo aproximadas.

**Figura 1.** Aparato manual para límite líquido



**Figura 2.** Equipo de Límite líquido con muestra de su suelo dividida

- 5.3** Se levanta y golpea la cazuela girando la manija F, a una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de cerca de 13mm (0.5"). Se anota el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Algunos suelos tienden a deslizarse en lugar de fluir sobre la superficie de la cazuela. Cuando esto ocurra, se deberá agregar más agua a la muestra y mezclar de nuevo. Se coloca nuevamente el suelo humedecido en la cazuela, se hace la ranura con el ranurador y se repite la Sección 5.2. Si el suelo se sigue deslizando sobre la cazuela a un número de golpes inferior a 25, este ensayo no es aplicable y se deberá indicar que el Límite Líquido no se puede determinar.

- 5.4** Se saca una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula; se toma de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto y se coloca en un recipiente adecuado.

Se pesa y se anota el valor. Se coloca el suelo con el recipiente dentro del horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta obtener una masa constante y se vuelve a pesar tan pronto como se haya enfriado antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Se anota esta masa, así como la pérdida de masa debida al secamiento y la masa del agua.

- 5.5** Se transfiere el suelo sobrante en la cazuela de bronce a la cazuela de porcelana. La cazuela y el ranurador se lavan y se secan para prepararlas para el tanteo siguiente.
- 5.6** Se repite la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales con el suelo restante en la vasija de porcelana, al cual se le agrega agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en

cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25, de manera que la oscilación entre las 3 determinaciones sea de, por lo menos, 10 golpes.

## 6. PROCEDIMIENTO CUANDO SE UTILIZA EL RANURADOR PLANO.

El procedimiento debe ser igual al descrito en la Sección 5 excepto en la Sección 5.2 para la formación de la ranura. Ésta se forma en la pasta de suelo hundiéndolo el lado biselado del ranurador hacia delante en una línea que va desde el punto más alto hasta el más bajo del borde de la cazuela. Al hacer la ranura se sostiene el ranurador contra la superficie de la cazuela y se forma un arco, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la cazuela durante su movimiento. En suelos en los que no se pueda hacer la ranura en una sola pasada sin desagarrarlo, se corta la ranura con varias pasadas del ranurador. También se puede hacer una ranura ligeramente menor usando una espátula y usando luego el ranurador hasta completar la dimensión deseada. Se debe tener un cuidado extremo con el fin de evitar que la pasta de suelo se deslice sobre la superficie de la cazuela.

## 7. CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje de la masa del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} \times 100$$

El porcentaje de humedad se debe calcular con aproximación al entero más próximo.

- 7.2** *Preparación de la curva de fluidez* – La "curva de fluidez", que representa la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la cazuela de bronce, se dibuja en un gráfico semilogarítmico, con el contenido de humedad como abscisa sobre la escala aritmética y el número de golpes como ordenada sobre la escala logarítmica. La curva de flujo es una línea recta promedia que pasa tan cerca, como sea posible, de los tres o más puntos dibujados.
- 7.3** *Límite Líquido* – El contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes se toma como Límite Líquido del suelo y se aproxima este valor al número entero más cercano.

## MÉTODO B

## 8. MUESTRA

Se toma una muestra con una masa de aproximadamente 50 g, como se explica en la Sección 3.

## **9. PROCEDIMIENTO**

- 9.1** El procedimiento será igual al descrito en las Secciones 5.1 a 5.5, a excepción de la humedad añadida a la muestra que será de 8 a 10 ml y de la muestra para humedad, tomada de acuerdo con la Sección 5.4, la que se tomará sólo para el ensayo aceptado, descrito en 9.3.
- 9.2** Se deberán observar por lo menos dos cierres de la ranura antes de que se acepte una de ellas para anotarla, con el fin de verificar que el número de golpes es verdaderamente característico del suelo que se está ensayando.
- 9.3** Para lograr una precisión igual a la obtenida por el método normal de los tres (3) puntos (Método A), el número de golpes aceptado para el ensayo debe restringirse a un rango entre 22 y 28. Después de obtener el cierre preliminar de la ranura en el rango aceptable de golpes, se devuelve el resto de suelo que queda en la cazuela al recipiente para mezclar sin añadirle más agua y se repite el procedimiento como se explica en las Secciones 5.2 y 5.3. Si el segundo cierre ocurre dentro del rango aceptable (22-28 golpes inclusive) y el segundo cierre no difiere en más de dos golpes (2) del primero, se toma un espécimen para la determinación del contenido de agua como se indica en la Sección 5.4.
- 9.4** Se aceptarán cierres de la ranura que requieran de 15 a 40 golpes, siempre y cuando que se toleren variaciones de  $\pm 5\%$  en relación con el verdadero Límite Líquido.

## **10. CÁLCULOS**

El contenido de humedad se calcula en la forma indicada en la Sección 7.1

## **11. LIMITE LÍQUIDO**

- 11.1** El Límite Líquido se puede determinar por uno de los siguientes métodos: mediante el nomograma (Figura 3); por medio del diagrama de la Figura 4, o por cualquier otro método de cálculo que dé valores de Límite Líquido con la misma precisión. El método normal de los tres (3) puntos debe emplearse como ensayo de referencia para resolver cualquier duda.
- 11.2** La clave de la Figura 3 indica el modo de usar el nomograma. (Pendiente media).
- 11.3** El diagrama de la Figura 4 (curva de fluidez múltiple) se usa dibujando sobre el mismo, un punto que represente el contenido de humedad. versus el número de golpes. Luego se traza una línea por dicho punto, que sea paralela a la curva más cercana del diagrama. El Límite Líquido será el contenido de humedad correspondiente a la intersección de esta línea con la de 25 golpes.
- 11.4** El Límite Líquido también puede ser calculado utilizando el método del factor corrector K (Tabla 1) el cual usa el contenido de humedad de la muestra del

punto considerado para el cálculo, multiplicado por el factor k correspondiente al número de golpes requeridos para el segundo cierre de la ranura, descrito en la sección 9.3.

$$LL = W_N \times \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad o \quad LL = K \times W_N$$

donde:

N = número de golpes para que se cierre la ranura;

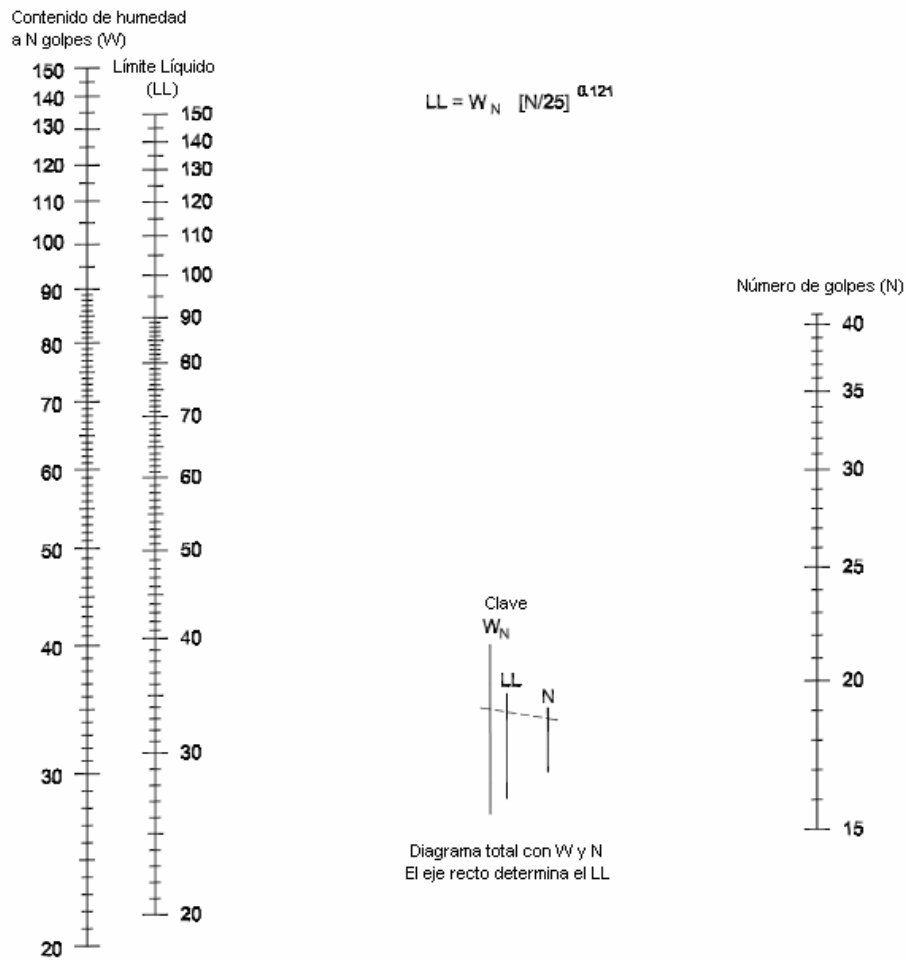
$W_N$  = contenido de agua para el punto realizado que requirió N golpes para cerrar la ranura, y

K = factor de corrección Tabla 1

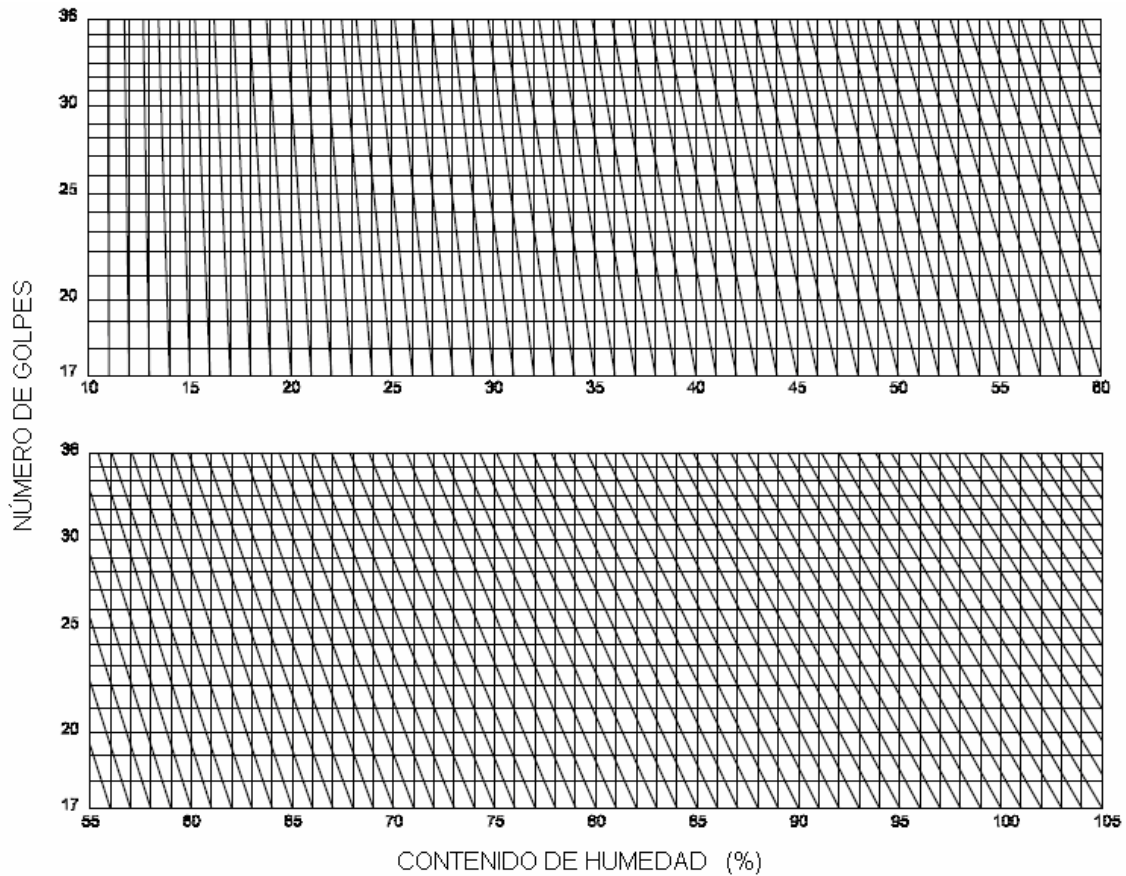
**Tabla 1.** Factores para la Obtención del Límite Líquido a partir de la humedad y del número de golpes que causan el cierre de la ranura

Número de Golpes N	Factor para Límite Líquido, K
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014





**Figura 3.** Nomograma desarrollado por la Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U.S. Army, para determinar el límite líquido usando el método de la pendiente media



**Figura 4.** Diagrama efectuado por la Washington State Highway Department para el cálculo del límite líquido

## ENSAYOS DE COMPROBACIÓN

### 12. METODOS QUE SE PUEDEN USAR

En caso de desacuerdos importantes y donde sea necesario hacer ensayos de comprobación, se usa el Método “A” utilizando el ranurador curvo, anteriormente descrito. Los resultados de los ensayos de Límite Líquido son afectados por:

- El tiempo requerido para hacerlo
- El contenido de humedad con el cual se inicia el ensayo.
- La adición de suelo seco a la muestra preparada.

### 13. PROCEDIMIENTO

**13.1** Al hacer la prueba del Límite Líquido para comprobar resultados o cuando la prueba decida alguna controversia, se deberá usar las siguientes programaciones de tiempo:

- Mezclado de suelo con agua: 5-10 minutos empleándose el periodo más largo para los suelos más plásticos.
- Curado en el humedecedor: 30 minutos.
- Remezclado antes de colocar el material en la cazuela de bronce: Agregar 1 ml de agua y mezclar durante 1 minuto
- Colocación de la cazuela de bronce, ensayo y pesada: 3 minutos.
- Adición de agua y remezcla po 3 minutos.

**13.2** No se debe reportar ningún ensayo que haya requerido más de 35 o menos de 15 golpes de la cazuela de bronce.

En ningún caso se debe agregar material seco a la muestra húmeda en la cazuela para disminuir la humedad o para aumentar la cantidad de muestra.

### 14. PRECISIÓN

**14.1** Este planteamiento se aplica a suelos con límite líquido entre 21 y 67.

**14.2** *Repetibilidad (un solo operador)* – Dos resultados obtenidos por el mismo operador, con la misma muestra, en el mismo laboratorio y usando los mismos aparatos y en días diferentes deben cuestionarse si los resultados difieren en más de 7% de su promedio.

**14.3** *Reproducibilidad (varios laboratorios)* – Dos resultados obtenidos por diferentes operadores, en diferentes laboratorios, deben cuestionarse si ellos difieren de uno a otro en más del 13% de su promedio.

### 15. NORMAS DE REFERENCIA

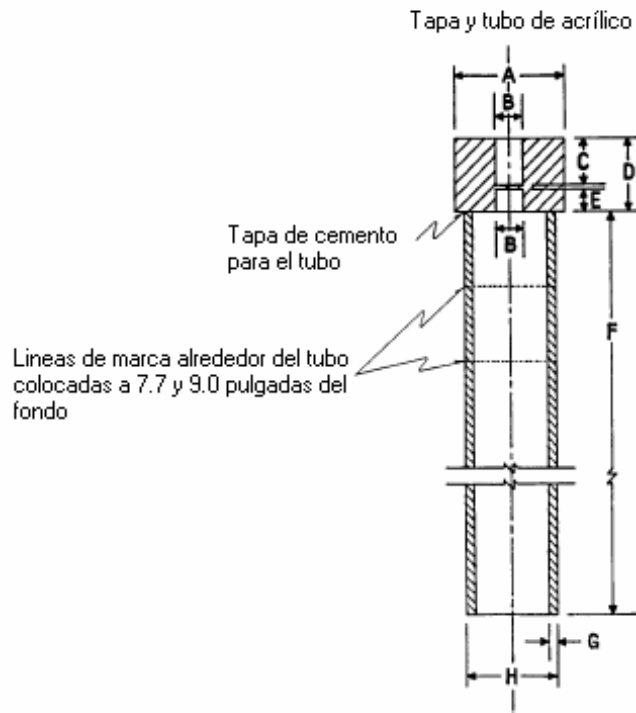
AASHTO T 89-02

ASTM D 4318- 00

## **APÉNDICE: PRUEBA DE RESILIENCIA DE LA BASE DEL EQUIPO DE LÍMITE LÍQUIDO.**

El aparato para medir la resiliencia de la base del equipo de límite líquido se enseña en la Figura 5 y se complementa con la Tabla 2. El aparato consiste en un tubo y su tapa de acrílico transparente, una bola pulida de acero de 8mm de diámetro y una barra pequeña imantada. El cilindro debe estar fijado permanentemente a la tapa o atornillado a ésta como se ve en el dibujo. La bola de acero fijada a la barra pequeña imantada está colocada por dentro de la tapa. Se coloca entonces el cilindro encima de la base que se va a probar. Sosteniendo el tubo hasta tocar ligeramente la base del equipo del límite líquido con una mano, se suelta la bola retirando el imán fuera de la tapa. Se deben usar las medidas de la escala que están en la parte exterior del cilindro para determinar el punto más alto alcanzado por la parte inferior de la bola al rebotar. Se repite la caída de la bola por lo menos 3 veces, colocando el probador en diferente posición para cada caída. El promedio del rebote de la bola de acero expresado como porcentaje del total de la caída, es igual a la resiliencia de la base del equipo.

Las pruebas de resiliencia de la base se deben realizar a temperatura ambiente.



**Figura 5.** Probador de resiliencia

**Tabla 2.** Medidas del probador de resiliencia

Dimensión	Descripción	Medida, mm
A	Diámetro Tapa	38.0
B	Diámetro Perforación	9
C	Profundidad de la perforación	18
D	Altura tapa	25.5
E	Profundidad de la perforación	8.0
F	Longitud del tubo	250.0
G	Espesor de la pared	3.2
H	Diámetro exterior del tubo	31.8