

## DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

INV E – 125 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del límite líquido de los suelos, definido según se indica en la Sección 2.
- 1.2** Se presentan dos métodos para preparar las muestras de prueba: Por vía húmeda, descrito en el numeral 9.1, y por vía seca, como se describe en el numeral 9.2. El método por utilizar deberá ser especificado por el cliente. Si no se especifica ninguno, se empleará la preparación por vía húmeda.
- 1.3** La norma presenta dos métodos para determinar el límite líquido: el Método A, que consiste en un ensayo de varios puntos, el cual se describe en las secciones 10 y 11; y el Método B, consistente en un ensayo de un solo punto, el cual se describe en las secciones 12 y 13. El método por utilizar será especificado por el cliente. Si no se especifica ninguno, se deberá emplear el Método A.
- 1.3.1** El método multipunto es, por lo general, más preciso que el de un solo punto. Se recomienda que aquel se emplee en los casos donde los resultados puedan ser objeto de discusión o cuando se requiera una buena precisión.
- 1.3.2** No se recomienda que el método de un solo punto sea utilizado por operadores inexpertos, debido a requiere que el operador tenga la experiencia suficiente para saber que una muestra de ensayo se encuentra, aproximadamente, en su límite líquido.
- 1.3.3** La correlación a partir de la cual se basan los cálculos del método de un punto puede resultar inválida en ciertos suelos, tales como los orgánicos o los que se presentan en ambiente marino. Se recomienda que el límite líquido de estos suelos se determine mediante el método multipunto.
- 1.4** El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo a las propiedades

de la muestra como conjunto, cuando se usen estos ensayos para evaluar las propiedades de un suelo.

- 1.5 A los fines de comparar valores medidos o calculados con límites especificados, el valor medido o calculado se deberá redondear al dígito significativo más próximo al del límite especificado.
- 1.6 Esta norma reemplaza la norma INV E-125-07.

## 2 DEFINICIONES

---

2.1 Las definiciones específicas aplicadas a esta norma son las siguientes:

- 2.1.1 *Límites de Atterberg* – Originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. En el uso actual de la ingeniería el término se aplica solamente a los límites líquido y plástico y, en algunas referencias, también al límite de contracción. Los límites líquido y plástico de los suelos (junto con el límite de contracción) son mencionados a menudo en conjunto como límites de Atterberg. Estos límites dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos.
- 2.1.2 *Consistencia* – Facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.
- 2.1.3 *Límite líquido (LL,  $w_L$ )* – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

## 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1 Se procesa la muestra de suelo para remover cualquier porción retenida en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). El límite líquido se determina mediante tanteos, en los cuales una porción de la muestra se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, permitiendo que esas dos partes fluyan como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada. El límite líquido multipunto, Método A,

requiere 3 o más tanteos sobre un rango de contenidos de agua, cuyos resultados se dibujan para establecer una relación a partir de la cual se determina el límite líquido. El método de un punto, Método B, usa los datos de dos tanteos realizados con un solo contenido de agua, multiplicado el valor obtenido por un factor de corrección.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** La determinación del límite líquido interviene en varios sistemas de clasificación de suelos, dado que contribuye en la caracterización de la fracción fina de los suelos. El límite líquido, solo o en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad, se usa con otras propiedades del suelo para establecer correlaciones sobre su comportamiento ingenieril, tales como la compresibilidad, la permeabilidad, la compactabilidad, los procesos de expansión y contracción y la resistencia al corte.
- 4.2** Los límites líquido y plástico de un suelo, junto con su contenido de agua, se usan para calcular su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad, junto con el porcentaje de partículas menores de 2  $\mu\text{m}$ , brinda una idea aceptable de la actividad de la fracción fina de un suelo.
- 4.3** El límite líquido de un suelo que contiene cantidades apreciables de materia orgánica disminuye dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes del ensayo. La comparación de los valores de límite líquido de una muestra, antes y después de secada al horno, se puede emplear como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica del suelo.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** *Aparato del límite líquido* – Dispositivo mecánico, consistente en una cazuela de bronce, suspendida de un soporte diseñado para controlar su caída sobre la superficie de un bloque de material resiliente, que sirve como base del aparato. La Figura 125 - 1 muestra las características principales y las dimensiones críticas del dispositivo, el cual puede ser operado manualmente o por medio de un motor eléctrico.

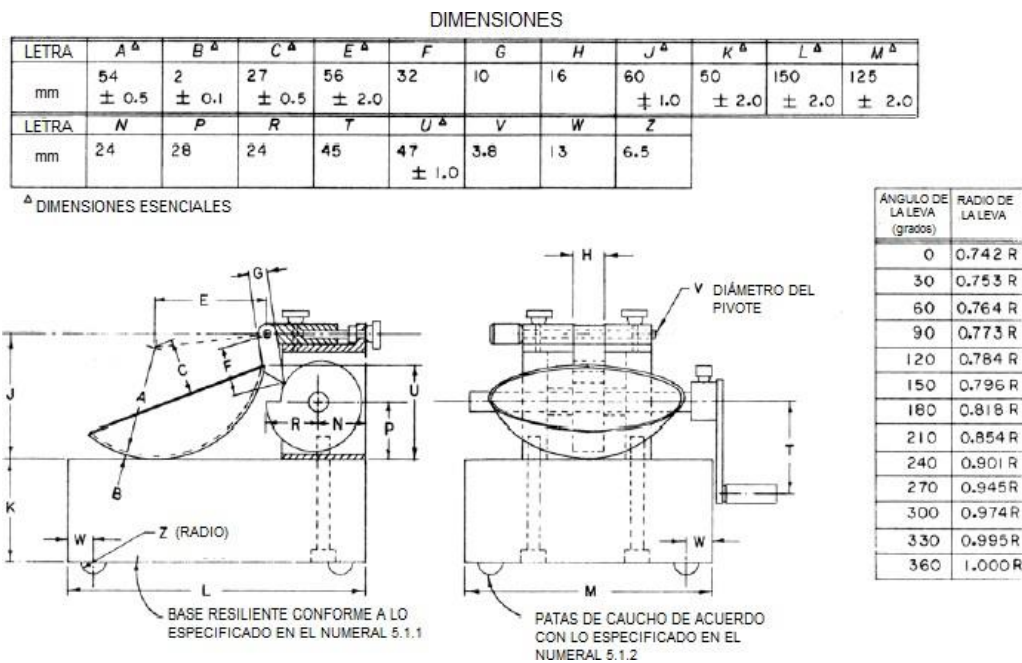


Figura 125 - 1. Aparato del límite líquido de operación manual

- 5.1.1 Base** – Bloque de un material que presente un rebote resiliente entre 77 y 90 %. Detalles de la medida de la resiliencia de la base se presentan en el Anexo A.
- 5.1.2 Patas de caucho** – Para soportar la base, diseñadas para suministrar aislamiento dinámico de la base con respecto a la superficie de trabajo.
- 5.1.3 Cazuela (copa)** – De bronce, con una masa de 185 a 215 g incluyendo el soporte de la copa.
- 5.1.4 Leva** – Diseñada para elevar la copa de manera suave y continua hasta su altura máxima, sobre una distancia correspondiente a una rotación de la manija de, al menos, 180° sin desarrollar una velocidad ascendente o descendente de la cazuela cuando ésta es levantada por la leva (el movimiento preferido de la manija es el de una curva de levantamiento uniformemente acelerado).
- 5.1.5 Soporte** – Construido de manera que permita el ajuste conveniente y seguro de la altura de caída de la cazuela a 10 mm (0.394"), diseñado de manera que el conjunto de la cazuela y su manivela esté unido al soporte únicamente por medio de un pivote removible. En el dibujo de la Figura 125 - 2 se puede ver la definición y la determinación de la altura de caída de la cazuela.

**5.1.6 Accionamiento por motor (opcional)** – Como alternativa a la manivela de operación manual, el dispositivo puede estar equipado con un motor que haga levantar la cazuela a  $2 \pm 0.1$  revoluciones por segundo y que esté aislado del resto del aparato por soportes de caucho u otro medio que evite que la vibración del motor sea transmitida al resto del aparato. El motor debe estar equipado con un interruptor de encendido y apagado y un medio de situar convenientemente la cazuela para el ajuste de la altura de caída. El aparato a motor debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el equipo de operación manual.

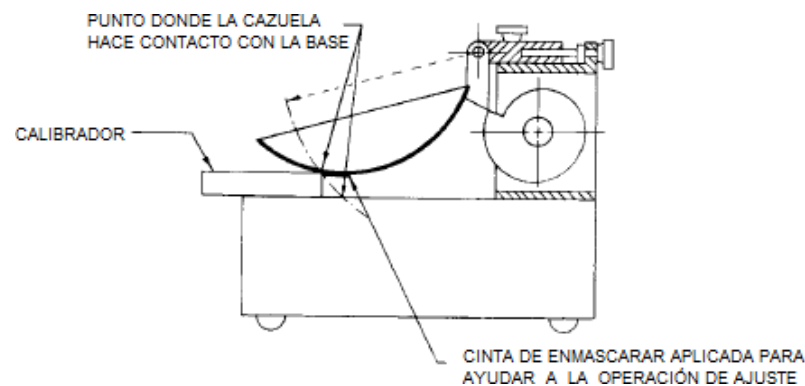


Figura 125 - 2. Calibración de la altura de caída

**5.2 Ranurador** – Herramienta plana hecha de plástico o de un metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas en la Figura 125 - 3. El ranurador puede tener cualquier diseño, mientras se garantice que se mantienen sus dimensiones esenciales. El ranurador puede tener, aunque no es obligatorio, un calibre para ajustar la altura de caída de la cazuela.

*Nota 1: Antes de la adopción de esta norma, se especificaba el empleo de un ranurador curvo, el cual no es tan preciso como el plano, puesto que no controla la profundidad del suelo en la cazuela. Hay algunos datos que indican que el límite líquido determinado a partir del uso de un ranurador plano es ligeramente superior al determinado a partir del ranurador curvo.*

## DIMENSIONES

LETRA	A <sup>Δ</sup>	B <sup>Δ</sup>	C <sup>Δ</sup>	D <sup>Δ</sup>	E <sup>Δ</sup>	F <sup>Δ</sup>
mm	2	11	40	8	50	2
	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 0.1	± 0.5	± 0.1
LETRA	G	H	J	K <sup>Δ</sup>	L <sup>Δ</sup>	N
mm	10	13	60	10	60°	20
	MÍNIMO			± 0.05	± 1°	

<sup>Δ</sup> DIMENSIONES ESENCIALES

NOTA: LA DIMENSIÓN "A" DEBE SER 1.9 - 2.0 Y LA DIMENSIÓN "D" DEBE SER 8.0 - 8.1 CUANDO EL RANURADOR ES NUEVO, CON EL FIN DE PERMITIR UNA VIDA DE SERVICIO ADECUADA

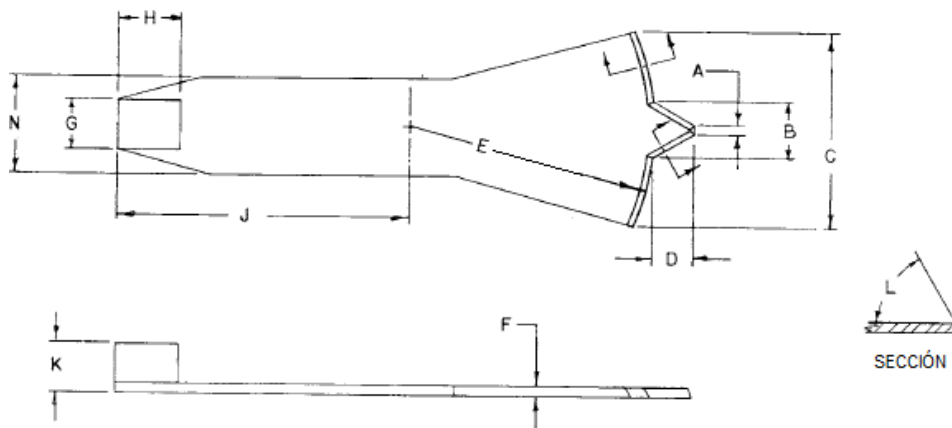


Figura 125 - 3. Ranurador plano

- 5.3 Calibrador** – Bloque metálico para ajustar la altura de caída libre de la cazuela, cuyas dimensiones se presentan en la Figura 125 - 4. El diseño del calibrador puede variar, siempre que le permita apoyarse de manera firme sobre la base sin sufrir oscilaciones, y que el lado que hace contacto con la cazuela durante la operación de ajuste de la altura de caída libre de ésta sea recto, de no menos de 10 mm (3/8") de ancho y sin biselos o curvaturas.

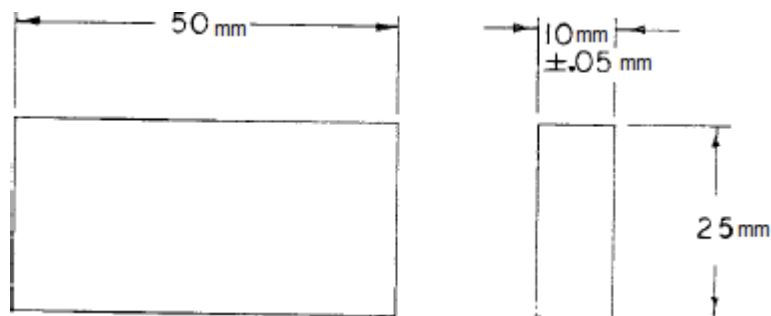


Figura 125 - 4. Calibrador de la altura de caída libre de la cazuela

- 5.4** *Recipientes para la determinación de la humedad* – Recipientes pequeños, hechos de un material resistente a la corrosión, con tapas de ajuste de precisión. Se pueden usar latas de aluminio o de acero inoxidable de 25.4 mm (1") de altura por 50.8 mm (2") de diámetro. Se requiere un recipiente para cada determinación del contenido de agua.
- 5.5** *Balanza* – Con legibilidad de 0.01 g.
- 5.6** *Recipiente para mezclar y almacenar las muestras preparadas* – Durante estas operaciones se debe impedir que la muestra pierda agua y que el recipiente contamine la muestra de cualquier manera. Al efecto, resulta apropiado un recipiente de plástico, vidrio o porcelana de 114 mm (4 ½") de diámetro y una bolsa plástica de tamaño suficiente para envolverlo completamente.
- 5.7** *Espátula* – Una espátula de hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3 a 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho.
- 5.8** *Horno* – Un horno termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).

## 6 MATERIALES

---

- 6.1** *Agua* – Se puede emplear agua destilada o desmineralizada.

## 7 MUESTREO Y ELABORACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

---

- 7.1** Las muestras deben ser representativas de los suelos cuyas características se desean conocer. Las muestras cuyos especímenes se van a preparar usando el método de preparación húmeda (numeral 9.1) se deben conservar con el contenido de agua con el cual fueron tomadas en el terreno hasta el instante de su preparación para el ensayo.
- 7.1.1** Donde las operaciones de muestreo han respetado la estratificación natural de la muestra, los diferentes estratos se deben mantener separados y los ensayos sobre el estrato de interés se realizarán sobre un espécimen que presente la menor contaminación posible de los materiales de los estratos vecinos. Cuando se pretenda usar una mezcla de suelos en la construcción, la muestra de ensayo se deberá

obtener combinando las muestras parciales en las mismas proporciones.

- 7.2** *Espécimen* – Se obtiene una porción representativa de la muestra, suficiente para suministrar de 150 a 200 g de material que pase el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Las muestras que fluyen libremente, se pueden reducir por cuarteo. Los suelos cohesivos que no fluyen libremente se deben mezclar completamente con una espátula o un cucharón dentro de un recipiente, tomando como representativa una porción, recogida con el cucharón, de la masa mezclada.

## 8 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

---

### 8.1 Verificación del desgaste

- 8.1.1** *Aparato del límite líquido* – Se comprueba que se encuentre limpio y en buen estado y se verifican los siguientes aspectos:

**8.1.1.1** *Desgaste de la base* – El sitio de la base donde golpea la cazuela debe mostrar una huella de no más de 10 mm (3/8") de diámetro. Si es mayor, la base se debe maquinar para remover los rastros de desgaste, siempre que esta operación no haga que la base presente un espesor menor que el especificado en el numeral 5.1 y se mantengan las otras relaciones dimensionales.

**8.1.1.2** *Desgaste de la cazuela* – La cazuela se debe reemplazar cuando la depresión debida al desgaste que produce el ranurador alcance 0.1 mm (0.004") o cuando su espesor original se haya reducido a la mitad. Se debe verificar que la cazuela se encuentre firmemente adherida al soporte.

**8.1.1.3** *Desgaste del soporte de la cazuela* – Se debe verificar que su pivote no apriete y que no esté desgastado al punto de permitir un juego de más de 3 mm (1/8") en el punto más bajo del aro.

**8.1.1.4** *Desgaste de la leva* – No podrá estar desgastada al punto de que la cazuela golpee la base antes de que el soporte de la cazuela pierda contacto con la leva.



**8.1.1.5 Patas de caucho** – Se deben reemplazar cuando a causa de la edad se vuelvan duras, agrietadas o quebradizas.

**8.1.2 Ranuradores** – Se debe verificar su desgaste de manera regular. La rapidez del desgaste depende del material de su construcción y de los tipos de suelo sobre los cuales se emplean. Los suelos con contenidos significativos de arena fina propician el desgaste rápido; por lo tanto, cuando se ensayen materiales de esta clase, los ranuradores se deberán verificar con mayor frecuencia que cuando se emplean con otros suelos.

*Nota 2: Se puede verificar apropiadamente el ancho de la punta del ranurador usando un amplificador de medición equipado con una escala milimétrica. Este elemento se puede adquirir en muchas compañías que suministran equipos de laboratorio.*

**8.2 Ajuste de la altura de caída libre de la cazuela** – La altura se debe ajustar de manera que la parte de la cazuela que golpea la base se eleve a una altura de  $10 \pm 2$  mm. Ver las Figuras 125 – 2 y 125 - 5 para establecer la ubicación adecuada del calibrador en relación con la cazuela durante el ajuste.

*Nota 3: Un buen procedimiento para ajustar la altura de caída es el siguiente: se coloca una pieza de cinta de enmascarar a través de la parte inferior de la cazuela, paralela al eje del pivote del soporte de la cazuela. El borde de la cinta que queda más alejado del soporte debe bisectar el punto en el cual la cazuela hace contacto con la base. Si la copa es nueva, se coloca un trozo de papel carbón sobre la base y se permite que la cazuela caiga varias veces sobre él para definir el punto de contacto. Se sujeta la cazuela al dispositivo y se gira la manivela hasta que la cazuela se eleva a su máxima altura. Se desliza el calibrador bajo la cazuela desde el frente del aparato y se verifica si hace contacto con ella o con la cinta (ver Figura 125 - 2). Si hace contacto con las dos al mismo tiempo, se considera que la altura de caída es correcta. En caso contrario, se deberá ajustar la cazuela hasta que se logre el contacto simultáneo. El ajuste se verifica girando la manivela a una velocidad de 2 revoluciones por segundo mientras se sostiene el calibrador en posición contra la cinta y la cazuela. Si se oye un ruido de roce o de campanilleo débil sin que la cazuela se eleve del calibrador, se considera que el ajuste es correcto. Si no se escucha el sonido, o la cazuela se separa del calibrador, se deberá ajustar la altura de caída. Si la cazuela se balancea sobre el calibrador durante la operación de verificación, significa que el pivote de la leva está muy desgastado y se deberán reemplazar las partes desgastadas. Terminada la operación de ajuste, se deberá remover la cinta de enmascarar de la cazuela.*



Figura 125 - 5. Ajuste de la altura de caída libre de la cazuela

## 9 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

---

**9.1** *Método de preparación por vía húmeda* – Salvo que se especifique que la preparación se debe realizar por vía seca, el espécimen de prueba se deberá preparar como se describe a continuación:

**9.1.1** *Material que pasa en su totalidad por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40):*

**9.1.1.1** Empleando métodos manuales y visuales, se establece si el espécimen mencionado en el numeral 7.2 tiene poco o ningún material retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Si es el caso, se preparan de 150 a 200 g de material mediante una mezcla íntima con agua en el recipiente de mezclado, usando la espátula. Si se desea, se moja el material con una pequeña cantidad de agua, suficiente para ablandar el material antes de proceder al mezclado. Si se usa el Método A, se ajusta la humedad del suelo de manera de llevarlo a una consistencia que requiera de 25 a 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura (Ver nota 4). Si se usa el método B, la consistencia del suelo debe ser tal, que dé lugar a un número de golpes comprendido entre 20 y 30.

**9.1.1.2** Si durante el mezclado se encuentra que había una pequeña cantidad de material de tamaño mayor a 425  $\mu\text{m}$ , esas partículas se deberán remover manualmente, si resulta posible. Si la remoción a mano no es factible, se deberán retirar esos pequeños porcentajes del material grueso (siempre que su proporción no supere el 15 %) trabajando el material sobre el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Para efectuar este procedimiento, se usará una lámina de caucho u otro elemento que no distorsione el tamiz ni degrade el material que quedaría retenido si se usara el método descrito en el numeral 9.1.2. En caso de que se detecte un porcentaje más elevado de partículas gruesas o no se considere práctico removerlas como se acaba de describir, la muestra se deberá lavar como se describe en el numeral 9.1.2. Si las partículas gruesas halladas durante el mezclado son concreciones, conchillas u otras partículas frágiles, ellas no se deberán partir para obligarlas a pasar el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), sino que se deberán remover de manera manual o mediante lavado.

**9.1.1.3** Se coloca el material preparado en el recipiente para mezcla y almacenamiento, se verifica su consistencia (se efectúan ajustes si se requieren), se cubre para prevenir pérdidas de humedad y se deja en reposo durante no menos de 16 horas (toda la noche). Cumplido este plazo, el suelo se remezcla antes de proceder al ensayo.

*Nota 4: El tiempo necesario para mezclar un suelo de manera adecuada es muy variable, pues depende de su plasticidad y su contenido inicial de agua. En el caso de arcillas duras y pesadas se pueden requerir hasta 30 minutos.*

**9.1.2** *Material que contiene partículas retenidas en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40):*

**9.1.2.1** Se coloca el espécimen descrito en el numeral 7.2 dentro de un recipiente, con una cantidad de agua suficiente para cubrirlo y se permite que se empape hasta que se ablanden todos los terrones y no haya finos adheridos a las partículas gruesas (nota 5).

*Nota 5: En algunos casos, los cationes de las sales presentes en el agua potable se intercambian con los cationes del suelo, alterando significativamente los resultados del ensayo. A menos que se tenga la certeza de la inexistencia de dichos cationes en el agua potable, se deberá usar agua destilada o desmineralizada en las operaciones de inmersión y lavado. Como regla general, no se permite el empleo de agua que contenga más de 100 mg/l. de sólidos disueltos.*

**9.1.2.2** Si el material contiene una gran cantidad de partículas retenidas en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), la operación de lavado que se describe en seguida se deberá realizar en incrementos, lavando una cantidad no mayor de 500 g (1 lb) en cada ocasión. Se coloca el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) en el fondo de un recipiente limpio y se vierte la mezcla de suelo- agua sobre el tamiz, cuidando que no se produzca ninguna pérdida. Si hay presentes partículas de grava o arena, ellas se deberán enjuagar, tantas veces como sea posible, con pequeñas cantidades de agua tomadas de una botella de lavado, descartándolas con posterioridad. Un medio alternativo consiste en encajar el tamiz de 2.0 mm (No. 10) sobre el de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) y verter la mezcla de suelo-agua sobre aquél, enjuagando el material y retirando las partículas mayores de 2 mm. Luego de lavar y remover tanto material grueso como resulte posible, se agrega agua al recipiente en cantidad suficiente para que cubra la superficie de la malla

del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) al menos 13 mm ( $\frac{1}{2}$ " ). Se agita la mezcla revolviéndola con los dedos y formando remolinos mientras el tamiz se mueve hacia arriba y hacia abajo, para separar todo material fino de las partículas gruesas. Los terrones que no se hayan desleído se deberán disgregar, frotándolos con suavidad sobre el tamiz con las yemas de los dedos. La operación de lavado se completa levantando el tamiz por encima de la superficie del agua y enjuagando el material retenido con una pequeña cantidad de agua limpia. El material que quede retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se deberá descartar.

**9.1.2.3** Se reduce la humedad del material que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) hasta que se acerque al límite líquido. Esta reducción se puede llevar a cabo por alguno de los métodos que se describen a continuación o por una combinación de ellos: (a) exponiéndolo a corrientes de aire a temperatura ambiente, (b) exponiéndolo a corrientes de aire tibio por medio de un secador de pelo, (c) decantando el agua clara de la superficie de la suspensión, (d) filtrándolo en un embudo Büchner o usando filtros de vela, o (e) drenándolo en un colador o en un plato de yeso de Paris forrado con un papel filtro resistente a la humedad. Si se emplea el plato, se deberá tener la precaución de que nunca se sature tanto como para que no logre absorber agua en su superficie. El plato se deberá secar completamente entre usos sucesivos. Durante la evaporación y el enfriamiento, el material se deberá agitar a menudo para evitar el sobreseca de los bordes y picos de las partículas de suelo en la superficie de la mezcla. Para materiales que contengan sales solubles, se usarán los métodos (a) o (b), con el fin de evitar la eliminación de las sales del espécimen de prueba.

**9.1.2.4** Cuando corresponda, se remueve el material retenido sobre el papel de filtro. Se mezcla completamente el material en el recipiente de mezcla, usando una espátula. El contenido de agua de la mezcla se deberá ajustar, de ser necesario, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada o desmineralizada o permitiendo que se seque a temperatura ambiente mientras se agita. Si se va a usar el método A, el material deberá encontrarse con un contenido de agua tal, que requiera entre 25 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la

ranura. Si se va a emplear el método B, la humedad deberá corresponder a un número de golpes comprendido entre 20 y 30. De ser necesario, se coloca el material mezclado en el recipiente de almacenamiento, cubriéndolo para evitar pérdidas de humedad y dejándolo en reposo por un período no menor de 16 horas, luego del cual el suelo se deberá mezclar antes de proceder al ensayo.

## **9.2** *Método de preparación por vía seca:*

- 9.2.1** El espécimen, obtenido según se describe en el numeral 7.2, se seca a temperatura ambiente o en un horno a una temperatura que no exceda de 60° C (140° F), hasta que los terrones de suelo se puedan disgregar con facilidad y su apariencia sea completamente seca.
- 9.2.2** Se pulveriza el material en un mortero empleando una maja forrada en caucho u otro procedimiento que no cause rotura de las partículas individuales del suelo. Cuando las partículas gruesas halladas durante el proceso correspondan a concreciones, conchillas u otros materiales frágiles, ellas no se deben triturar para obligarlas a pasar por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), sino que se deben remover manualmente o mediante otro medio como, por ejemplo, el lavado. Si se emplea este último, se procederá como se indica en los numerales 9.1.2.1 a 9.1.2.4.
- 9.2.3** Se separa el material a través del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), sacudiendo el tamiz manualmente para asegurar la separación de la fracción fina. El material que quede retenido en el tamiz se vuelve a procesar en el mortero y se tamiza nuevamente. El proceso se detiene cuando la mayor parte del material fino se ha desagregado y el retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) está compuesto únicamente por partículas individuales.
- 9.2.4** El material retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) se coloca en un recipiente y se sumerge en una pequeña cantidad de agua. La mezcla formada se pasa por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40), capturando en un recipiente de lavado el agua y los finos suspendidos que contenga. Se vierte esta suspensión en el recipiente que contiene el suelo seco que previamente se pasó por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No. 40). Se descarta todo material que haya quedado retenido en este tamiz.
- 9.2.5** A continuación, se procede como se indica en los numerales 9.1.2.3 y 9.1.2.4.

## MÉTODO A – DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO CON VARIOS PUNTOS DE ENSAYO

### 10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se remezcla completamente el espécimen, ajustando su contenido de agua para que adquiera la consistencia requerida para que sean necesarios entre 25 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura que se forma en el suelo. Se coloca una cantidad adecuada de suelo 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 (Figura 125 - 6). 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, el cual se debe tapar con el fin de retener la humedad de la muestra.



Figura 125 - 6. Colocación del suelo dentro de la cazuela

- 10.2** El suelo colocado sobre la cazuela de bronce se divide con una pasada firme del ranurador, hundiendo el lado biselado de éste hacia adelante 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 (Ver Figura 125 - 7). En suelos en los que no se pueda hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrarlos, la ranura se corta 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.

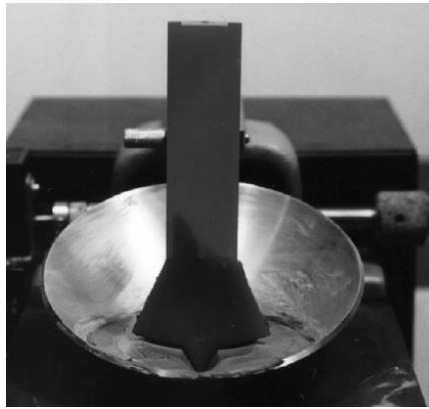


Figura 125 - 7. Ubicación correcta del ranurador para la formación de la ranura

**10.3** Se verifica que no haya restos de suelo ni en la base ni en la parte inferior de la cazuela. Entonces, se levanta y golpea la cazuela girando la manija a una velocidad de 1.9 a 2.1 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 13 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) (ver Figuras 125 - 8.a y 125 - 8.b). Por ningún motivo se deberá sostener la base del equipo con una mano mientras se gira la manivela.

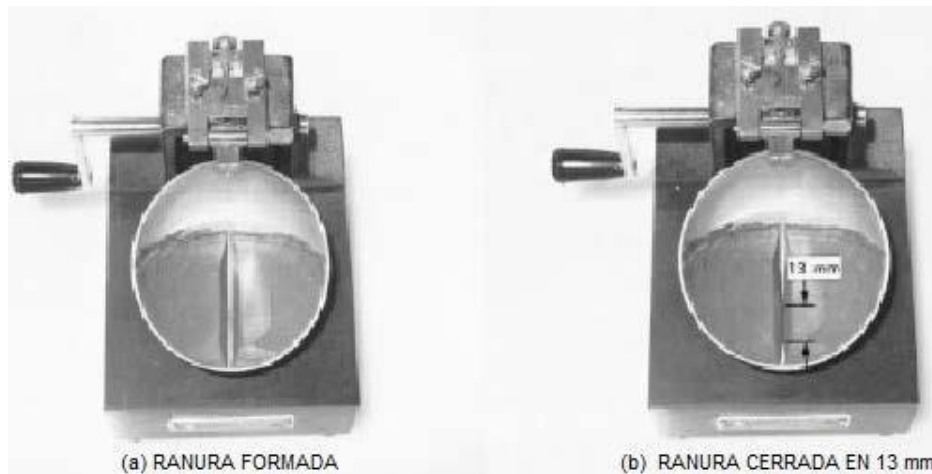


Figura 125 - 8. Ranura antes y después de cerrarse

**10.4** Se debe verificar que la ranura no se haya cerrado de manera prematura a causa de una burbuja de aire atrapada en el suelo. Ello se hace observando que ambos lados de la ranura hayan fluido de manera similar. Si no fue así, se deberá reconfigurar el suelo en la cazuela, añadiendo una pequeña cantidad de éste para reponer la porción perdida durante el ranurado y se repiten los pasos 10.1 a 10.3. Si el suelo se desliza sobre la superficie de la cazuela, se deberán repetir los pasos 10.1 a 10.3 empleando una humedad mayor. Si

luego de varios ensayos con contenidos de agua sucesivamente mayores, la pasta de suelo se continúa deslizando en la cazuela o si el número requerido de golpes para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se informa que no es posible determinar el límite líquido y que el suelo es no plástico (NP), sin que sea necesario realizar el ensayo de límite plástico.

- 10.5** Se registra el número de golpes, N, requerido para cerrar la ranura en la longitud indicada en el numeral 10.3. Se saca una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula, tomando parte 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 de masa conocida y se tapa.
- 10.6** Se transfiere a la vasija de mezclado el suelo que sobró en la cazuela de bronce. La cazuela y el ranurador se deben lavar y secar, para tenerlas listas para el tanteo siguiente.
- 10.7** Se remezcla el suelo restante en la vasija, agregándole agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez y se repiten los pasos 10.1 a 10.6. La finalidad de este procedimiento es obtener muestras con consistencias tales, 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 y 15–25.
- 10.8** Se toma el recipiente con la porción de suelo (Ver numeral 10.5), se pesa y se anota el valor obtenido. Se coloca en seguida 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 y antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Se anota esta masa, así como la pérdida de masa debida al secado. La determinación de la masa inicial (recipiente más porción de suelo húmedo) se deberá realizar inmediatamente se termine el ensayo. Si éste se interrumpe por más de 15 minutos, la masa se deberá determinar en el momento de la interrupción.

## 11 CÁLCULOS

- 11.1** Se calcula el contenido de agua de cada porción del suelo, expresándolo como porcentaje de la masa del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de agua} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} \times 100 \quad [125.1]$$



- 11.2** *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 semi-logarítmico, con el contenido de agua como ordenada en la escala aritmética y el número de golpes como abscisa en la escala logarítmica. La curva de fluidez es una línea recta promedio que pasa tan cerca, como sea posible, de los tres o más puntos dibujados.
- 11.3** *Límite líquido* – El contenido de agua correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes se toma como Límite Líquido del suelo y se redondea al número entero más cercano.

*Nota 6: Se pueden usar métodos de cómputo sustitutivos del método gráfico, para ajustar los datos a una línea recta y determinar el límite líquido.*

## **MÉTODO B – DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO A PARTIR DE UN SOLO PUNTO DE ENSAYO**

### **12 PROCEDIMIENTO**

---

- 12.1** Se procede como se ha indicado en los numerales 10.1 a 10.5, excepto que la humedad del suelo deberá corresponder a un número de golpes entre 20 y 30 para cerrar la ranura de suelo en la cazuela. Si al hacer la prueba se obtienen más de 30 golpes o menos de 20, se deberá ajustar la humedad del suelo y repetir el ensayo.
- 12.2** Inmediatamente después de recoger la muestra para determinar la humedad (como se describió en el numeral 10.5), se recupera la forma del suelo en la cazuela añadiendo una pequeña cantidad de él para recuperar la cantidad perdida a causa del ranurado y de la toma de la porción para hallar la humedad, y se repiten los pasos 10.2 a 10.5.
- 12.3** Si el cierre de la segunda ranura requiere el mismo número de golpes que la primera o no hay más de dos golpes de diferencia, se toma una porción del suelo para verificar su humedad. Si la diferencia es de más de dos golpes, el suelo se deberá remezclar en su totalidad y se repetirá el procedimiento, comenzando por el paso 12.1, hasta que el número de golpes requerido para el cierre de la ranura entre una y otra prueba no difiera en más de dos.

### 13 CÁLCULOS

**13.1** Se calcula el contenido de humedad de cada porción del suelo, de la misma manera descrita para las muestras del método A.

**13.2** Se calcula el límite líquido de cada porción con alguna de las dos fórmulas siguientes:

$$LL_N = w_N \times \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad [125.2]$$

O:

$$LL_N = K \times w_N \quad [125.3]$$

Donde:  $LL_N$ : Límite líquido a partir de un punto, para un tanteo, %;

$N$ := Número de golpes para que se cierre la ranura en un tanteo;

$w_N$ : Contenido de agua para un tanteo;

$K$ : Factor de corrección (Tabla 125 - 1).

Tabla 125 - 1. Factores de corrección para obtener el 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
20	0.973
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

**13.3** Se tomará como límite líquido del suelo el promedio de los valores obtenidos en los dos tanteos, valor que se deberá aproximar al entero más cercano. Si la diferencia entre los dos valores redondeados es mayor de uno (1), se repetirán

el procedimiento descrito en la Sección 12 y los cálculos descritos en los numerales 13.1 y 13.2.

## **14 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 4318 – 10

### **ANEXO A (Aplicación obligatoria)**

#### **PRUEBA DE RESILIENCIA DE LA BASE DEL EQUIPO DE LÍMITE LÍQUIDO**

---

**A.1** El aparato para medir la resiliencia de la base del equipo de límite líquido se enseña en la Figura 125A - 1. El aparato consiste en un tubo y su tapa de acrílico transparente, una bola pulida de acero de 8 mm 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 barra pequeña imantada se sostiene por dentro de la tapa y la bola de acero se fija a la barra dentro del hueco 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 marcas 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.

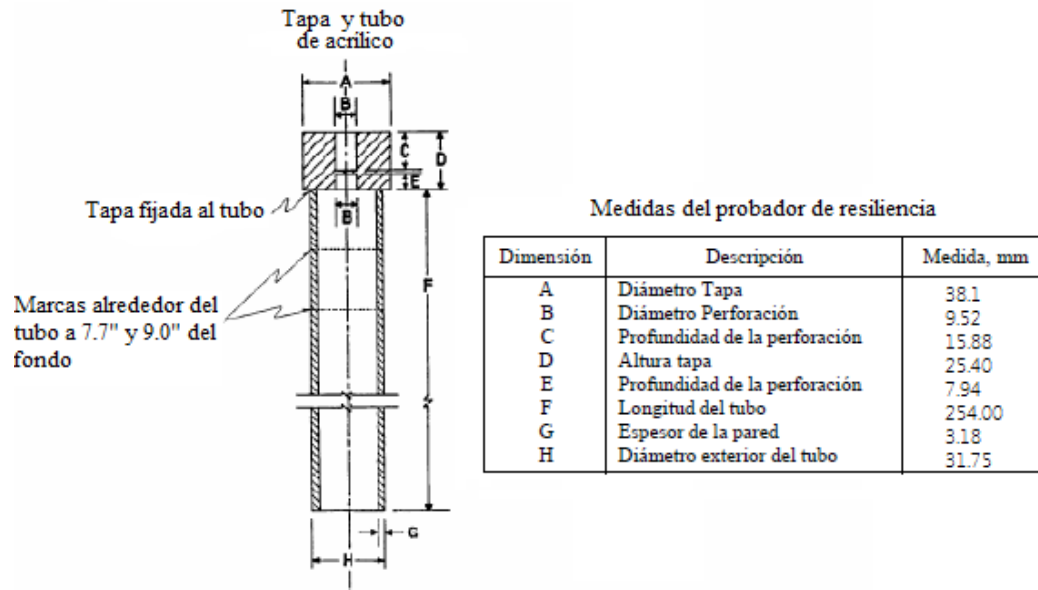


Figura 125A - 1. Probador de resiliencia