

## **Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande**

### **1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION**

**1.1** La presente norma tiene por objeto establecer el procedimiento para determinar el límite líquido de un suelo mediante la utilización del aparato de Casagrande.

**1.2** Se define el límite líquido, a los efectos de esta norma, como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de dos golpes por segundo.

### **2 NORMAS PARA CONSULTA**

UNE 53 549. Determinación de la dureza en grados internacionales de los elastómeros.

UNE 37 103. Parte 2. Aleaciones de cobre para el moldeo. Designaciones, composición y características mecánicas.

UNE 103 100. Preparación de muestra para los ensayos de suelos (Nota 1).

UNE 7 050. Cedazos y tamices de ensayo.

**Nota 1.** NLT-101/72. Preparación de muestra para los ensayos de suelos.

### **3 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO**

**3.1 Aparato de Casagrande.** Es un utensilio mecánico que consiste en una cuchara de aleación de cobre, suspendida de un dispositivo diseñado para controlar su caída sobre una base dura.

En la Figura 1 se muestra un dibujo con las características y dimensiones que debe tener este aparato.

El diseño de dicho utensilio puede variar siempre y cuando se conserve las dimensiones esenciales. El accionamiento de la cuchara puede ser manual o con motor eléctrico.

**3.1.1** La base es de un elastómero con una dureza durométrica D de 80 a 90, según la norma

UNE 53 549 y una elasticidad tal que, dejando caer sobre la base una bola de acero de 8 mm de diámetro desde una altura de 25 cm., el rebote debe oscilar entre el 75 y el 90 por 100. Los ensayos se realizarán con la base unida al pie, siendo éste del mismo material y diseñado para aislar aquélla de la superficie de trabajo.

**3.1.2** La cuchara debe fabricarse con la aleación de cobre denominada C-2410, según la norma UNE 37103, Parte 2, y su masa incluyendo el gancho de suspensión, debe estar comprendida entre 185 y 215 g.

**3.1.3** La leva debe desplazar la cuchara de forma suave y continua hasta la altura máxima, recorriendo para ello un arco que como mínimo sea el correspondiente a un giro de 180°. El diseño de la leva y del dispositivo de arrastre debe ser tal que consiga un movimiento parabólico uniformemente acelerado durante la elevación de la cuchara y asegure que ésta quede quieta en el momento de iniciarse la caída.

**3.1.4** El dispositivo de elevación de la cuchara debe estar construido de manera que permita ajustar la altura de caída de ésta a 10 mm. El gancho de suspensión de la cuchara debe ir sujeto al dispositivo mediante tornillos que permitan retirar tanto la cuchara como el gancho de suspensión para su limpieza.

**3.1.5** Opcionalmente, el dispositivo puede ir equipado con un motor que haga girar la leva, como una alternativa a la manivela manual mostrada en la Figura 1. Este motor debe hacer girar la leva a  $2 \pm 0,1$  revoluciones por segundo, y tiene que estar aislado del resto del dispositivo por almohadillas de goma o cualquier otro medio que evite que la vibración del motor se transmita al resto del aparato. Debe disponer asimismo de un conmutador de encendido-apagado.

**3.2 Acanalador normalizado.** El denominado de Casagrande o plano se muestra en la Figura 2 con las dimensiones exigidas. Su diseño puede variar siempre y cuando se mantengan las dimensiones esenciales. Lleva incorporado un calibre de ajuste de la altura de caída de la cuchara.

DIMENSIONES

LETRA	A Δ	B Δ	C Δ	E Δ	F	G	H	J Δ	K Δ	L Δ	M Δ	X
MM	54	2	27	56	28	10	28	60	50	150	125	19
	± 0,5	± 0,1	± 0,5	± 2,0				± 1,0	± 2,0	± 2,0	± 2,0	
LETRA	N	P	R	T	U Δ	V	W	Z	D	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Y
MM	17	28	21	45	47	4	13	6,5	23	75°	60°	12,7
					± 1,0					± 1°	± 1°	

Δ DIMENSIONES ESENCIALES

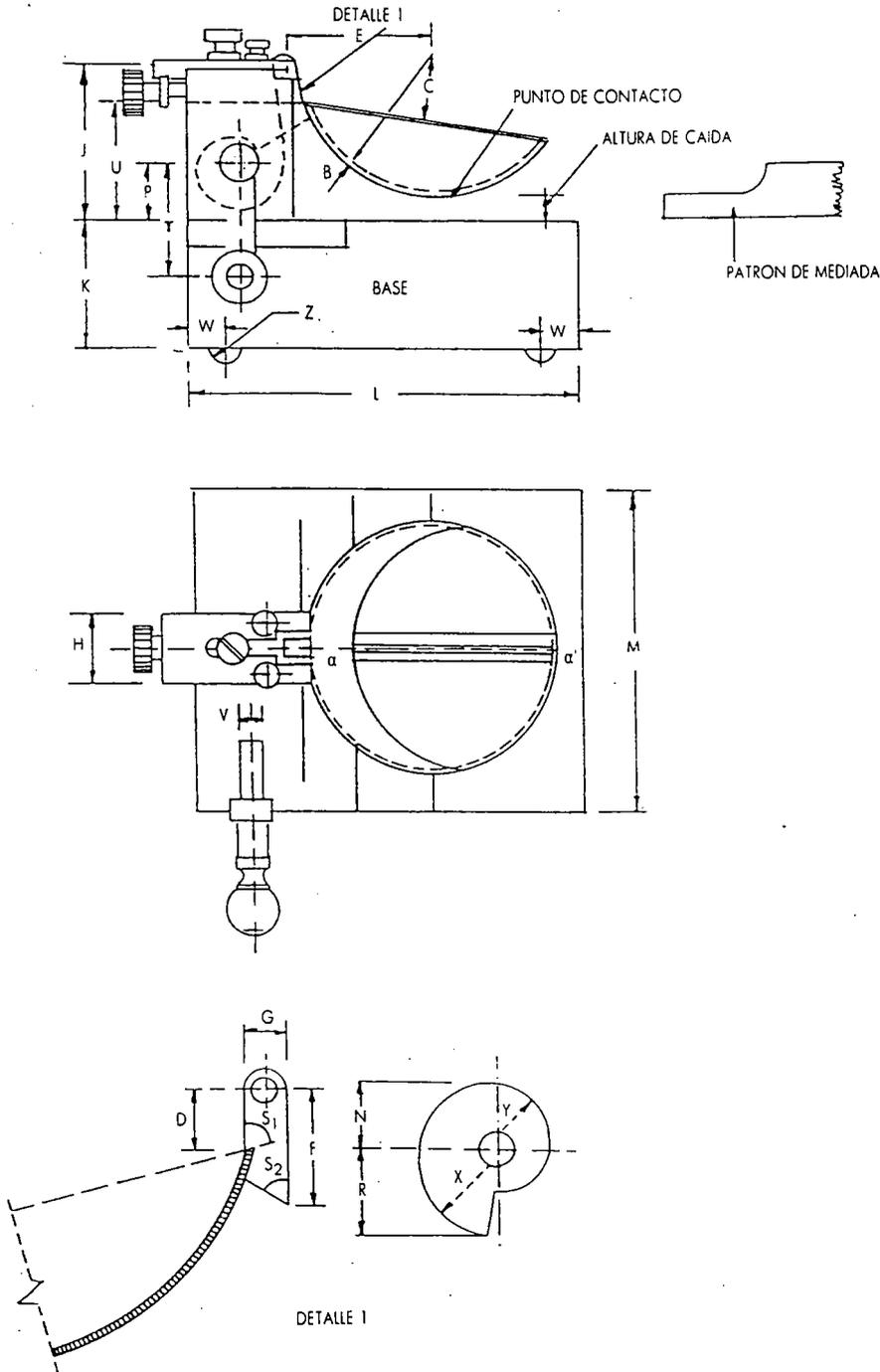


FIGURA 1. Aparato de Casagrande para la determinación del límite líquido.

Además se pueden utilizar los acanaladores, curvo de la ASTM y hueco o de Hovanyi, descritos en las Figuras 3 y 4, en los casos que se especifican más adelante. El material utilizado en la fabricación de los acanaladores debe ser no corroible y tal que le proporcione la rigidez suficiente para conseguir un surco uniforme (Nota 2).

**Nota 2.** Es conveniente que la dureza del material del acanalador sea inferior a la del material de la cuchara, a fin de evitar un rápido deterioro de ésta.

**3.3** Espátulas de hojas flexibles de varios tamaños.

**3.4** Pesasustancias con tapa.

**3.5** Una balanza de 100 g como mínimo de capacidad que aprecie 0,01 g.

**3.6** Un tamiz 400  $\mu\text{m}$  UNE 7 050 (Nota 3).

**Nota 3.** 1  $\mu\text{m}$  (1 micrómetro) =  $10^{-3}$  mm.

**3.7** Una superficie lisa, tal como un cristal de 300  $\times$  300 mm de lado y 10 mm de espesor para amasar el suelo.

**3.8** Estufa de desecación cuya temperatura sea regulable hasta 115 °C.

**3.9.** Mortero con mazo de goma o molino que disponga de bolas del mismo material.

**3.10** Cámara húmeda que mantenga una humedad relativa de  $95 \pm 5$  por 100 y una temperatura de  $20 \pm 3$  °C.

**3.11** Calibre, pinzas para manipular los recipientes calientes, frasco lavador y agua destilada (Nota 4).

**Nota 4.** Puede utilizarse agua natural, siempre que se compruebe, mediante ensayos comparativos con agua destilada, que no se altere el resultado para el tipo de suelo de que se trate.

#### 4 CALIBRADO DE LOS EQUIPOS

**4.1 Aparato de Casagrande.** Se debe comprobar que todo el conjunto esté limpio y en buen funcionamiento. La zona de la base en la que golpea la cuchara no debe presentar una huella con un diámetro superior a 10 mm. Si fuera mayor, hay que mecanizar la base, para eliminar el desgaste, con objeto de que se sigan verificando las características expuestas en el apartado anterior. La cuchara debe estar firmemente enganchada al soporte de sujeción y debe reemplazarse cuando el acanalador haya formado una huella de más de 0,1 mm de profundidad.

El pivote del gancho de suspensión no debe estar

desgastado hasta tal punto que permita un movimiento lateral de más de 3,0 mm en el punto más bajo.

Si la cuchara cae antes de que el gancho de suspensión pierda el contacto con la leva, ésta se debe sustituir.

**4.2 Acanaladores.** Se debe inspeccionar frecuente y regularmente los acanaladores a fin de verificar su desgaste. Los suelos arenosos desgastan rápidamente los acanaladores, por consiguiente, cuando se ensaya este tipo de material deben inspeccionarse con más frecuencia. Estos utensilios se desechan cuando no posean las dimensiones esenciales referenciadas en las Figuras 2, 3 ó 4.

**4.3 Ajuste de la altura de caída.** La altura de caída de la cuchara debe ajustarse de manera que el punto de contacto con la base, fácilmente localizable a simple vista en la cuchara por formarse una mancha más brillante a causa de los golpes, o bien con la ayuda de aceite y fijándolo posteriormente con tinta, caiga desde una altura de  $10 \pm 0,05$  mm. La comprobación se puede hacer por medio de un patrón que llevan los acanaladores en la parte posterior. Ver Figura 1.

#### 5 PREPARACION DE LA MUESTRA

**5.1 Por secado y desmenuzado.** Cuando la muestra a ensayar se encuentra en un estado tal que no sea posible individualizar manualmente las partículas se procede según se indica a continuación.

**5.1.1** Se seca al aire o en estufa a una temperatura que no exceda los 60 °C, hasta que los terrones de tierra se desmenucen fácilmente; una porción representativa de la muestra total del suelo a ensayar, suficiente para proporcionar de 150 a 200 g de material que pase por el tamiz 400  $\mu\text{m}$  UNE 7 050, siguiendo las instrucciones de la norma UNE 103 100. Se pulveriza la muestra en un mortero empleando una maza con extremo de goma, o en un molino que disponga de bolas del mismo material, de manera que no se destruyan los granos individuales. Se pasa por el tamiz 400  $\mu\text{m}$  UNE 7 050. Se repiten las operaciones de pulverización y tamizado cuantas veces sea necesario, hasta asegurarse de que se ha disgregado todo el material más fino y que el material retenido por el tamiz 400  $\mu\text{m}$  UNE 7 050 sólo consiste en granos de arena o grava individuales.

**5.1.2** Si antes de la pulverización se encuentran materiales como concreciones, conchas u otras partículas frágiles, no se deben triturar para que pasen

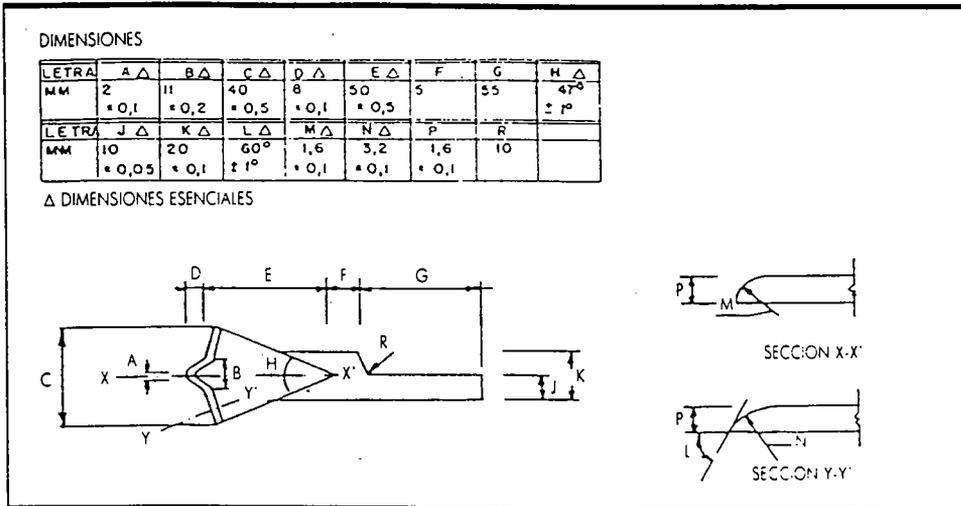


FIGURA 2. Acanalador de Casagrande.

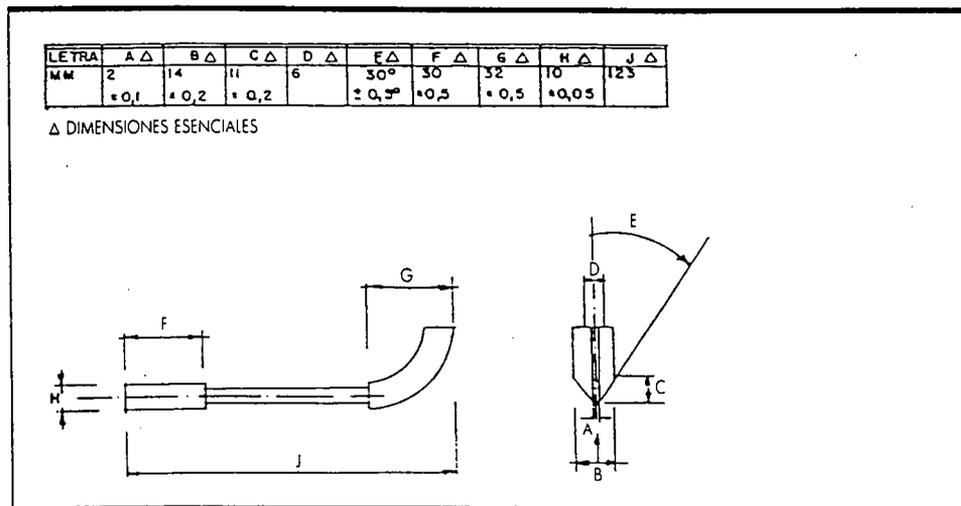


FIGURA 3. Acanalador de la ASTM

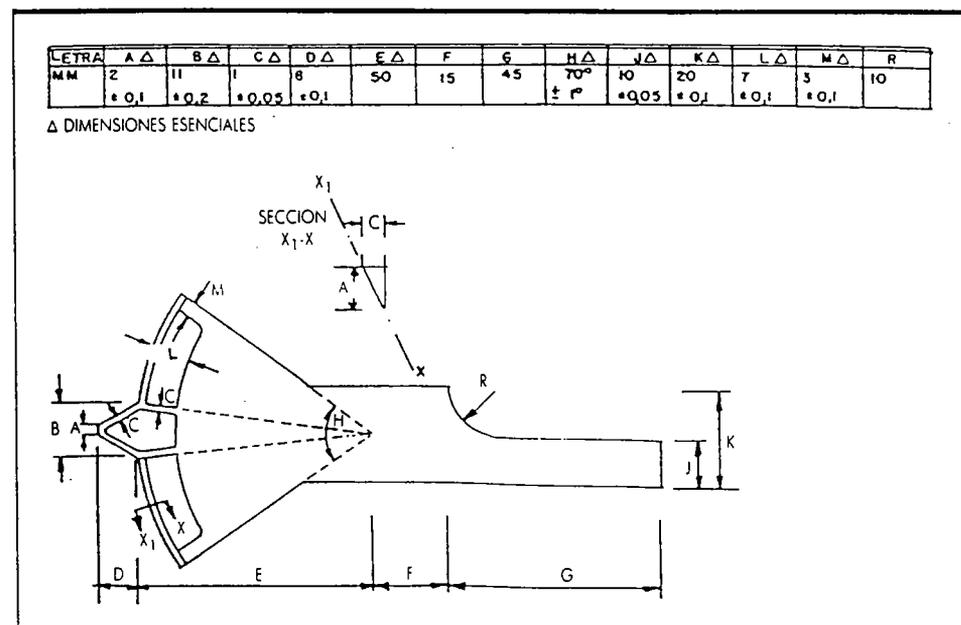


FIGURA 4. Acanalador de la Hovanyi.

a través del tamiz requerido, sino hay que quitarlos a mano u otro medio adecuado, tal como el lavado.

**5.1.3** El material que pasa por el tamiz 400  $\mu\text{m}$  UNE 7 050, en cantidad mínima de 150 g, se amasa, sobre el cristal mediante espátulas, con la cantidad de agua necesaria a juicio del operador que realiza el ensayo, para que se precisen de 35 a 30 golpes para conseguir cerrar los 13 mm del surco. Se deja la mezcla en reposo durante dos horas en cámara húmeda. Después se amasa de nuevo, añadiendo agua si fuese necesario al final de este período.

**5.2 En suelo natural. Vía directa.** En suelos orgánicos y en los inorgánicos con alto contenido de limo o arcilla, el proceso de secado previo puede dar lugar a una variación apreciable del límite líquido. Por consiguiente, en suelos homogéneos de grano fino, en los que su contenido de humedad natural permita el amasado mediante espátula, se opera de la siguiente forma.

**5.2.1** Se toman 200 g de muestra representativa y se dividen sobre la superficie del cristal en varias porciones por medio de una espátula. Si contiene algunas partículas apreciablemente mayores de 400  $\mu\text{m}$ , tales como concreciones o conchas, se retiran por medio de una pinza y se determina su masa para conocer la proporción que representan con respecto al total de la muestra tomada.

**5.2.2** Se añade agua destilada y se amasa convenientemente con las dos espátulas hasta conseguir una masa homogénea (Nota 5).

**Nota 5.** El proceso de amasado produce una alteración de la estructura del esqueleto del suelo, cuya magnitud depende del tiempo de amasado, del contenido de agua y del contenido de iones del agua que originariamente tuviera el suelo. Por consiguiente, el proceso de amasado debe continuarse hasta observar que la consistencia de la pasta se mantiene constante.

**5.2.3** Finalizado el proceso se deja de un día para otro en cámara húmeda para que se homogeneice la humedad.

**5.3 En suelo natural. Vía húmeda.** Cuando se trate de un suelo de grano fino que contenga una apreciable proporción de otros materiales de grano más grueso, se debe proceder por vía húmeda para la separación de la fracción necesaria para la realización del ensayo a fin de evitar el secado previo.

**5.3.1** Se toma una muestra representativa de suelo tal que se pueda obtener de ella 300 g de material inferior a 400  $\mu\text{m}$ . Se coloca en un recipiente, se le añade agua destilada hasta cubrirla, sin dispersante, y se remueve con una varilla de vidrio hasta conseguir un líquido denso.

**5.3.2** Se vierte éste sobre un tamiz 400  $\mu\text{m}$  UNE 7 050, colocado sobre un recipiente adecuado, y se lava con agua destilada el material que quede en el tamiz hasta conseguir que pasen todas las partículas de tamaños inferiores.

**5.3.3** Se deja sedimentar la suspensión obtenida y se elimina el agua limpia que haya por encima del material depositado. Se seca al aire o bajo la acción de una corriente de aire caliente a no más de 60 °C, agitando la pasta para conseguir un secado uniforme. El proceso puede considerarse finalizado cuando la consistencia de dicha pasta sea la adecuada para iniciar el amasado con las espátulas sobre el cristal, siguiendo el proceso descrito en el último párrafo del apartado anterior, por secado y desmenuzado.

**5.3.4** En cualquiera de los tres casos, cuando se trata de un suelo de elevada plasticidad, el período de curado en cámara húmeda debe ampliarse hasta cuarenta y ocho horas. Por el contrario, en suelos limosos con bajo contenido de arcilla puede reducirse a unas dos horas.

## 6 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

**6.1** Se separa la cuchara del resto del aparato. Se sujeta firmemente con la palma de la mano, y por medio de una espátula, se coloca en su parte inferior, en la zona en que la cuchara descansa sobre la base, una porción de suelo amasado, aplastándole hacia abajo y extendiéndole dentro de la cuchara de un lado a otro, de manera que el material tenga una altura de unos 10 mm en su punto de mayor espesor y procurando formar una superficie lisa.

Hay que tener cuidado de que no queden burbujas de aire dentro del suelo amasado, debiendo repetir el proceso si hubiese alguna o apareciera durante el proceso posterior. El material sin usar se amontona sobre la placa de cristal y se protege de la posible pérdida de humedad.

**6.2** Manteniendo la cuchara con el material en la palma de la mano, se hace un surco con el acanalador de Casagrande según el eje  $\alpha\alpha'$  en la Figura 1, en el sentido de arriba hacia abajo, con el borde biselado hacia adelante, disponiendo en todo momento el acanalador perpendicular a la superficie de la cuchara y describiendo un arco.

En suelos poco plásticos, para evitar el desgarramiento del material, el surco puede hacerse en varias pasadas, cada una de ellas más profunda que la anterior. A veces en estos suelos el acanalador de Casagrande puede empujar una porción del material fuera de la cuchara, produciendo en general

surcos muy irregulares. Esto se puede evitar utilizando el acanalador hueco de Hovanyi representado en la Figura 4.

En suelos turbosos es preferible utilizar el acanalador curvo representado en la Figura 3.

6.3 Después de realizar el surco, se coloca inmediatamente la cuchara en el aparato, comprobando que no queden restos de material en la cara inferior de aquélla. Se gira la manivela a razón de dos vueltas por segundo. Se cuentan los golpes necesarios

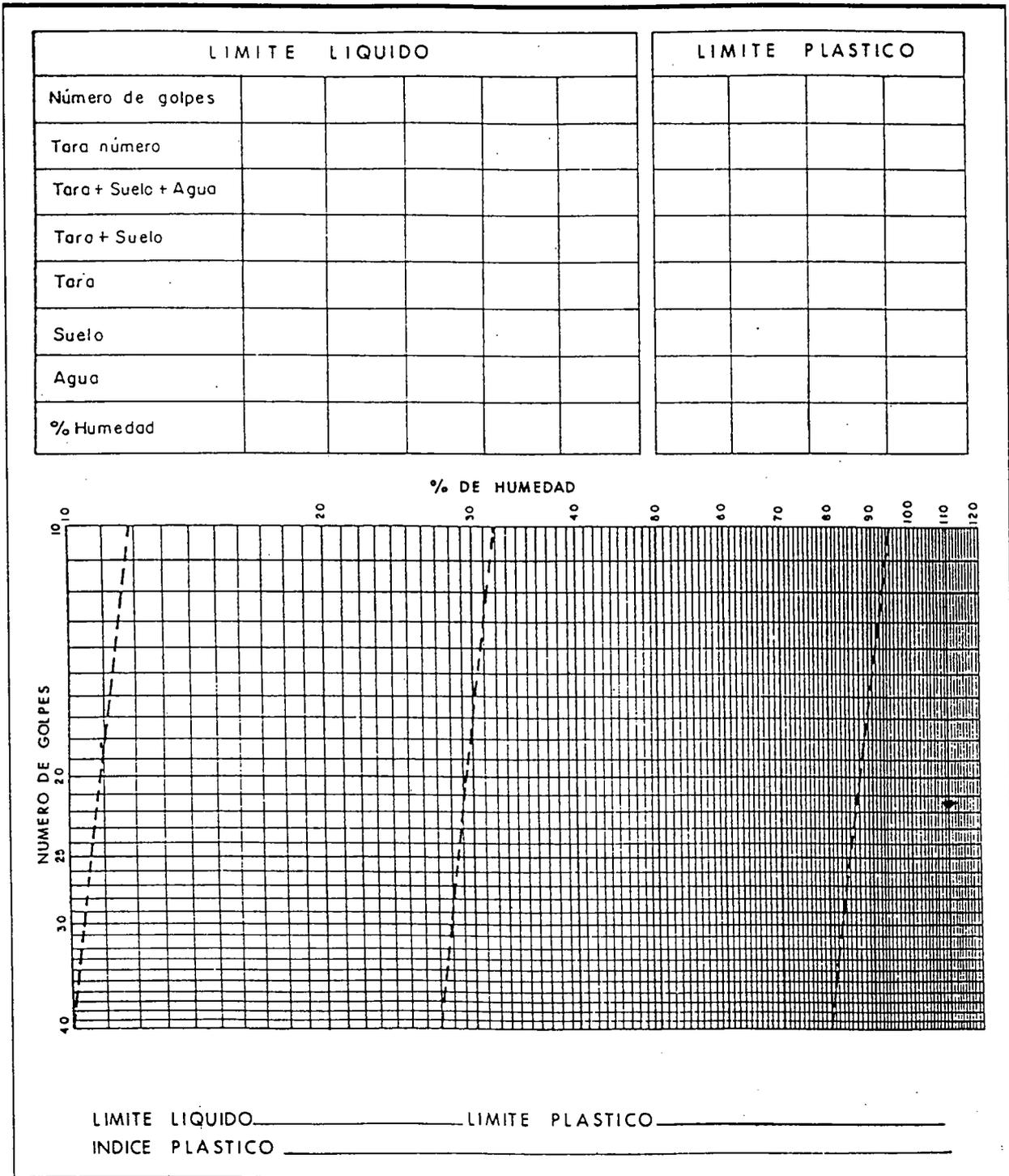


FIGURA 5.

para que las paredes del surco se unan por el fondo del mismo en una distancia de 13 mm.

**6.4** Si el número de golpes está comprendido entre 35 y 15, ambos inclusive, se toma una porción entre 10 y 15 g del suelo próximo a las paredes del surco, en la parte donde se cerró, y se determina su humedad según la norma UNE 103 100. Si el número de golpes no está comprendido entre 35 y 15, la determinación no es válida.

**6.5** Se repite el ensayo hasta obtener una determinación entre 25 y 15 golpes, y otra entre 35 y 25, teniendo en cuenta que el número de golpes disminuye al aumentar la cantidad de agua destilada que se añade para realizar el amasado (Nota 6).

**Nota 6.** Para aumentar el número de golpes hay que disminuir el contenido de humedad, extendiendo el material para que se evapore o amasando con suelo que tenga menos contenido de agua, pero que haya sufrido el mismo proceso de amasado que la muestra ensayada. Nunca debe añadirse suelo seco para disminuir el contenido de agua. Para evitar estos inconvenientes se recomienda en el apartado 5, que la primera determinación esté del lado seco. En suelos con dificultad de absorción de agua no se debe seguir el proceso de aumento de la humedad descrito anteriormente a causa de las dificultades de homogeneización de ésta. Hay que proceder en sentido opuesto, amasando continuamente la muestra con las espátulas de manera que la pérdida de humedad se produzca de la forma más homogénea posible. En este caso se recomienda que la primera determinación esté del lado húmedo. En consecuencia, el amasado inicial de la muestra se debe hacer con la suficiente cantidad de agua para que, una vez transcurrido el período de curado, no inferior a cuarenta y ocho horas, nos encontremos en la situación de poder ir disminuyendo la humedad con objeto de abarcar el rango de valores necesarios en la realización del ensayo.

**6.6** Si después de varias determinaciones, el número de golpes requeridos para cerrar el surco fuese siempre inferior a 25, es que no se puede determinar el límite líquido y se debe anotar ese suelo como no plástico sin realizar el ensayo de determinación del límite plástico.

## 7 RESULTADOS

**7.1** Se llevan las dos determinaciones a un gráfico que tenga en abscisas el número de golpes, y en ordenadas la humedad, ambos en escala logarítmica. Véase el modelo de impreso que incluye este gráfico (Figura 5).

**7.2** Se traza la paralela a la línea de trazos dibujada en dicho gráfico, que equidiste de los dos últimos puntos anteriores. La humedad del punto de intersección de esta recta con la ordenada correspondiente a los 25 golpes, expresada con una cifra decimal y sin añadir las palabras tanto por ciento, es el límite líquido (Nota 7).

**Nota 7.** La línea de trazos, de pendiente  $-0,117$ , se ha obtenido tras numerosas determinaciones, de las que se ha deducido que, para un mismo suelo, los puntos correspondientes a distintos grados de humedad forman esta recta en doble escala logarítmica, cuya pendiente es independiente del origen geológico del suelo.

**7.3** Si la recta trazada dista mucho de ambos puntos, hay que hacer una tercera determinación para comprobar si hay algún error en las otras dos o si, por tratarse de un tipo muy especial de suelo, no sigue la ley indicada. En este último caso, se traza la recta que mejor se adapta a los tres puntos obtenidos.

## 8 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

La presente norma se relaciona con:

UNE 7 377. Determinación del límite líquido de un suelo por el método de la cuchara.

NLT 105/72. Límite líquido por el método de la cuchara.

ASTM D 4318. Standard Test Method for LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT, AND PLASTICITY INDEX OF SOILS.