

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 1. SUELOS Y MATERIALES PARA TERRACERÍAS

TÍTULO: 07. Límites de Consistencia

A. CONTENIDO

Este Manual describe los procedimientos de prueba para determinar los límites de consistencia de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N-CMT-1-01, *Materiales para Terraplén*, N-CMT-1-02, *Materiales para Subyacente* y N-CMT-1-03, *Materiales para Subrasante*.

B. OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS

Estas pruebas permiten conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales para terracerías que pasan la malla N°40 (0,425 mm), cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos. Las pruebas consisten en determinar, el límite líquido, es decir, el contenido de agua para el cual un suelo plástico adquiere una resistencia al corte de 2,45 kPa (25 g/cm²); éste se considera como la frontera entre los estados semilíquido y plástico. El límite plástico o el contenido de agua para el cual un rollito se rompe en tres partes al alcanzar un diámetro de 3 mm; éste se considera como la frontera entre los estados plástico y semisólido. El índice plástico se calcula como la diferencia entre los límites líquido y plástico.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales para Terraplén	N-CMT-1-01
Materiales para Subyacente	N-CMT-1-02
Materiales para Subrasante	N-CMT-1-03
Muestreo de Materiales para Terracerías	M-MMP-1-01
Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras	M-MMP-1-03
Contenido de Agua	M-MMP-1-04
Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías	M-MMP-1-06

D. EQUIPO Y MATERIALES

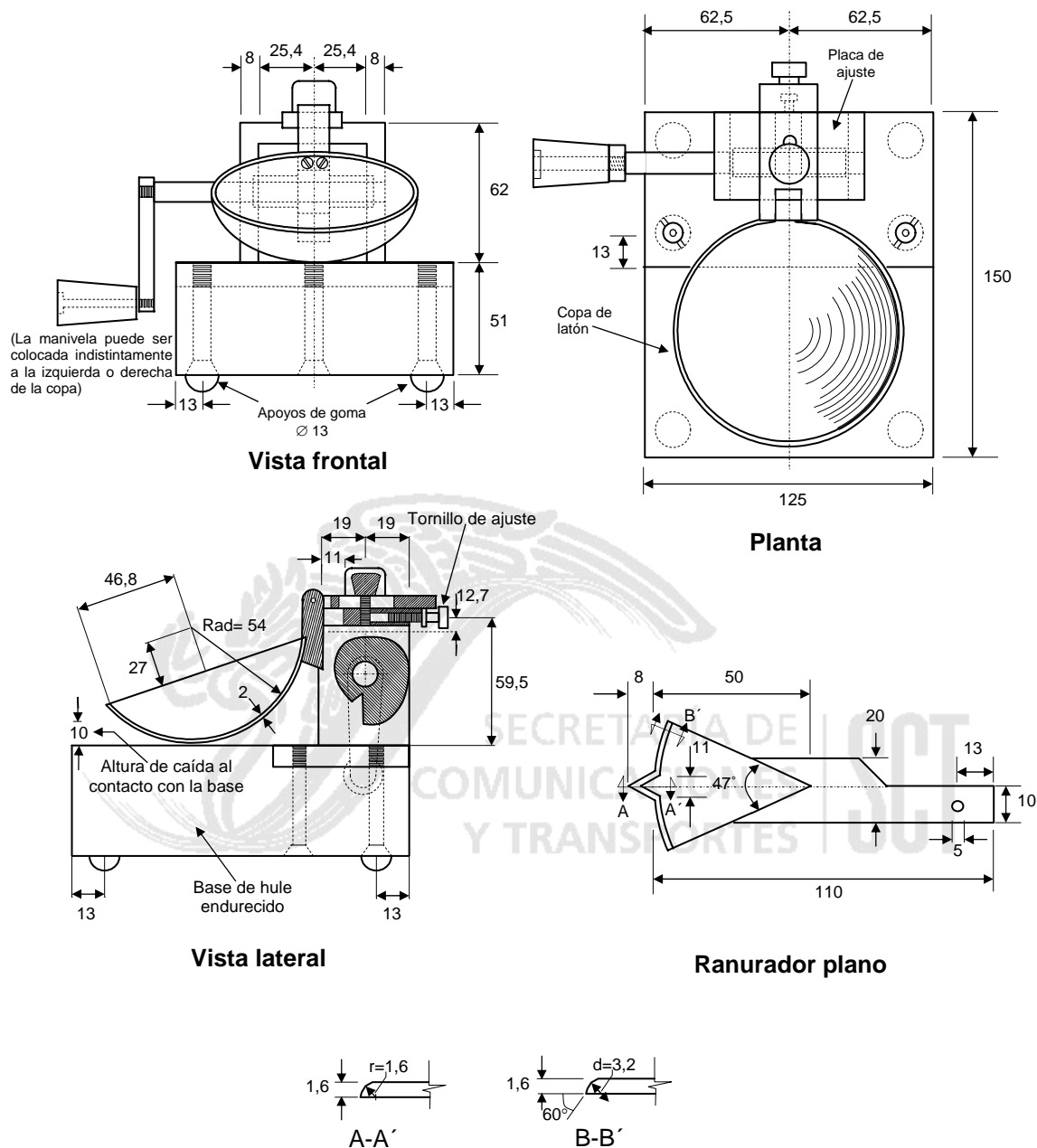
El equipo para la ejecución de las pruebas estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

D.1. MALLA N°40

Fabricada con alambres de bronce o de acero inoxidable, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura nominal de 0,425 mm, que cumpla con las tolerancias indicadas en la Tabla 1 del Manual M-MMP-1-06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de 206 ± 2 mm de diámetro interior y 68 ± 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

D.2. COPA DE CASAGRANDE

Calibrada para una altura de caída de 1 cm, provista de un ranurador plano, con las características que se indican en la Figura 1 de este Manual.

**Cortes**

Acotaciones en milímetros

FIGURA 1.- Copa de Casagrande para la determinación del límite líquido

D.3. BALANZA

De 2 000 g de capacidad y aproximación de 0,01 g.

D.4. HORNO

Eléctrico o de gas, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.

D.5. DESECADOR

De cristal, de tamaño adecuado según las dimensiones de los recipientes que contendrán las muestras de prueba, con cloruro de calcio anhidro como elemento desecador.

D.6. VASO O RECIPIENTE

De 0,5 L de capacidad.

D.7. CÁPSULAS DE PORCELANA

De 12 cm de diámetro.

D.8. ESPÁTULA FLEXIBLE

De acero inoxidable, de 7,5 cm de longitud y 2 cm de ancho, con punta redonda.

D.9. CUENTAGOTAS

De vidrio o metal.

D.10. VIDRIOS DE RELOJ

Refractarios para el secado del material.

D.11. PAÑO

De material absorbente, de 60 x 60 cm.

D.12. PLACA DE VIDRIO

Con dimensiones mínimas de 40 x 40 cm por lado y 0,6 cm de espesor.

D.13. ALAMBRE DE ACERO

De 3 mm de diámetro y 10 cm de longitud.

E. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Antes de cada prueba se verificará que la altura de caída de la copa de Casagrande sea de 1 cm, utilizando para ello el mango calibrado del ranurador, que tiene precisamente esa dimensión. Si la altura de caída es diferente, el aparato debe corregirse mediante los tornillos de ajuste.

F. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de materiales para terracerías, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, se hace de la siguiente manera:

- F.1.** De la muestra del material se aparta, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-1-03, *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*, una porción de tamaño tal que, una vez cribada en forma manual por la malla N°40 (0,425 mm), se obtengan aproximadamente 300 g del material que pase esa malla; éste se coloca en una charola y se desecha el material retenido.
- F.2.** De la fracción que pasa se separan aproximadamente 250 g, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-03, *Secado, Disgregado y Cuarteo de Muestras*; se obtiene y se registra la masa del material separado, con aproximación de 0,01 g.
- F.3.** Se coloca el material separado en un recipiente apropiado, se le agrega el agua necesaria para saturar el material y se deja en reposo durante aproximadamente 24 h, en un lugar fresco, cubriendo el recipiente con un paño que se mantendrá húmedo a fin de reducir al mínimo la pérdida de agua por evaporación.

G. DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO (ω_L) POR EL PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR**G.1. EQUIPO Y MATERIALES**

El equipo necesario para efectuar esta prueba es la copa de Casagrande, balanza, horno, desecador, vaso o recipiente, cápsulas de porcelana, espátula, cuentagotas, vidrios de reloj y paño, mismos que se describen en la Cláusula D. de este Manual.

G.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

G.2.1. De la fracción del material preparada de acuerdo con lo indicado en la Cláusula F. de este Manual, se toma una porción de aproximadamente 150 g que se coloca en la cápsula de porcelana donde se homogeneiza utilizando la espátula.

G.2.2. En la copa de Casagrande, previamente calibrada como se indica en la Cláusula E. de este Manual, se coloca una cantidad suficiente de material para que, una vez extendido con la espátula, se alcance un espesor de 8 a 10 mm en la parte central de la copa, considerando lo siguiente:

G.2.2.1. Para evitar que el material colocado sobre la copa sea insuficiente, es conveniente poner una cantidad ligeramente mayor y eliminar el sobrante al enrasarlo con la espátula.

G.2.2.2. Para extender el material se procede del centro hacia los lados sin aplicar una presión excesiva y con el mínimo de pasadas de la espátula, como se muestra en la Figura 2 de este Manual.



FIGURA 2.- Colocación del material en la copa de Casagrande

G.2.3. Mediante una pasada firme del ranurador se hace una abertura en la parte central del material contenido en la copa, para lo cual, éste se mantendrá siempre normal a la superficie interior de la copa, como se indica en la Figura 3 de este Manual.

G.2.4. La ubicación, forma y dimensiones que tendrá la ranura en su parte central se ilustran en la Figura 4 de este Manual.

G.2.5. Colocado y ranurado el material, se acciona la manivela del aparato para hacer caer la copa a razón de dos golpes por segundo, registrando el número de golpes necesarios para lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de 13 mm.



FIGURA 3.- Formación de la ranura en la determinación del límite líquido

- G.2.6.** Logrado lo anterior se toman con la espátula aproximadamente 10 g de material de la porción cerrada de la ranura y, para determinar su contenido de agua ω_n , de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, se colocan en un vidrio de reloj del que previamente se determina su masa.
- G.2.7.** Una vez que se ha tomado la porción requerida para la determinación del contenido de agua, el material restante se reintegra a la cápsula de mezclado, para lavar y secar la copa y el ranurador.
- G.2.8.** Inmediatamente, mediante el cuentagotas, se agrega agua al material en la cápsula y se homogeneiza con la espátula; dicho material se prueba según se indicó del Inciso G.2.2. al Inciso G.2.7. Este procedimiento se repita hasta completar cuatro determinaciones, que se registran en el formato que se muestra en la Figura 5 de este Manual. La cantidad de agua que se adicione al material será tal que las cuatro determinaciones queden comprendidas entre 10 y 35 golpes en la copa de Casagrande, siendo necesario obtener dos valores por arriba y dos por abajo de los 25 golpes, ya que para consistencias menores de 10 golpes es difícil identificar el momento de cierre de la ranura en la longitud especificada y para más de 35 golpes se dificulta la ejecución de la prueba.

Vistas de las ranuras en sección

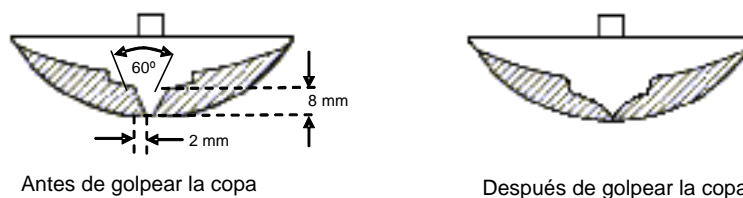


FIGURA 4.- Forma y dimensiones de la ranura

- G.2.9.** Se grafican los puntos correspondientes a cada determinación, representando en el eje de las abscisas en escala logarítmica, el número de golpes n y en el de las ordenadas en escala aritmética, los respectivos contenidos de agua ω_n , tal como se muestra en la Figura 5. Se traza una línea recta que una aproximadamente los puntos graficados; a esta recta se le llama *curva de fluidez*.

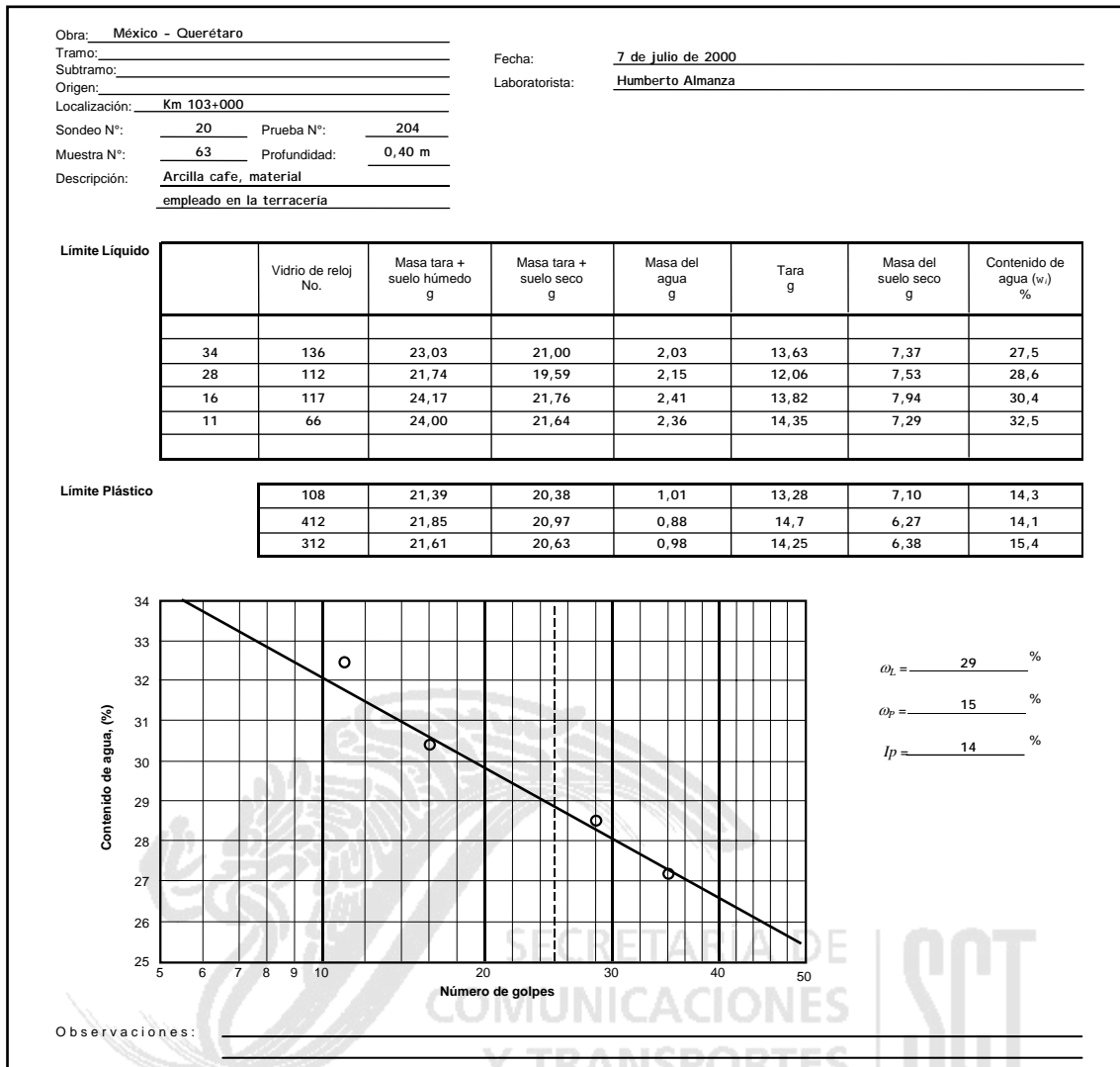


FIGURA 5.- Determinación de los límites de plasticidad

G.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

De la gráfica de la Figura 5 de este Manual, se obtiene el valor del límite líquido (ω_L), determinando en la curva de fluidos el contenido de agua correspondiente a 25 golpes.

G.4. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

- G.4.1.** Que la prueba se realice en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que puedan provocar la alteración del material.
- G.4.2.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional, especialmente la copa y el ranurador deberán estar limpios, calibrados y sin indicios de desgaste.
- G.4.3.** Que las dimensiones del ranurador que se utilice sean las especificadas.
- G.4.4.** Que al efectuar la prueba, la ranura se cierre debido al flujo provocado por los golpes y no al deslizamiento de la muestra sobre la copa o a la presencia de burbujas de aire entre el

material y la copa, originadas por una mala colocación de éste y que ocasionan que fluya con mayor facilidad.

- G.4.5.** Que la cantidad de material colocado en la copa sea suficiente para tener un espesor mínimo de 8 mm en el centro de la copa.
- G.4.6.** Que la caída de la copa se efectúe a un ritmo uniforme de dos golpes por segundo.
- G.4.7.** Que la forma, dimensiones y ubicación de la ranura sean las indicadas.
- G.4.8.** Que no se incorpore material seco para reducir el contenido de agua de la porción que se prueba y que se efectúe un amasado correcto de ésta.

H. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (ω_p)

H.1. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo necesario para efectuar esta prueba es la balanza, horno, desecador, cápsulas de porcelana, espátula, vidrios de reloj, placa de vidrio y alambre de acero, mismos que se describen en la Cláusula D. de este Manual.

H.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- H.2.1.** De la fracción del material preparada de acuerdo con lo indicado en la Cláusula F. de este Manual, se toma una porción de tamaño tal que se pueda formar una pequeña esfera de aproximadamente 12 mm de diámetro, la que se moldea con los dedos para que pierda agua y se manipula sobre la palma de la mano para formar un cilindro.
- H.2.2.** A continuación el cilindro se hace girar con los dedos de las manos sobre la placa de vidrio para reducir su diámetro hasta que sea aproximadamente de 3 mm en toda su longitud, como se muestra en la Figura 6 de este Manual. La velocidad de girado será de 60 a 80 ciclos por minuto, entendiéndose por "ciclo" un movimiento de la mano hacia adelante y hacia atrás, hasta volver a la posición de partida.



FIGURA 6.- Operación para formar el cilindro de material en la determinación de límite plástico

- H.2.3.** Si al alcanzar un diámetro de 3 mm el cilindro no se rompe en tres secciones simultáneamente, significa que su contenido de agua es superior al del límite plástico (ω_p). En tal caso se junta nuevamente todo el material para formar la pequeña esfera, manipulándola con los dedos para facilitar su pérdida de agua y lograr una distribución uniforme de la misma, repitiendo el procedimiento descrito en los Incisos H.2.1. y H.2.2. de este Manual, hasta que el cilindro se rompa tres segmentos precisamente en el momento de alcanzar dicho diámetro, el cual se verifica comparándolo contra el alambre de referencia.

H.2.4. Inmediatamente se colocan sobre un vidrio de reloj los fragmentos del cilindro y se determina el contenido de agua de ese material, ω_i , de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*. Para mayor seguridad en los resultados, la prueba se efectuará por triplicado, obteniendo para cada una de las determinaciones, el contenido de agua, ω_i .

H.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

H.3.1. Se reporta como resultado de esta prueba, el límite plástico (ω_p), obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\omega_p = \frac{\sum \omega_i}{3}$$

Donde:

ω_p = Límite plástico de la muestra, (%), con aproximación a la unidad

ω_i = Contenido de agua para cada una de las tres determinaciones, (%)

H.3.2. En la Figura 5 de este Manual, se ilustra un ejemplo de cálculo del límite plástico.

H.3.3. Si no es posible formar cilindros del diámetro especificado con ningún contenido de agua, se considera que el material no es plástico; se reporta como NP (no plástico).

H.4. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

H.4.1. Que la prueba se realice en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que puedan provocar la alteración del material.

H.4.2. Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional, especialmente la placa de vidrio deberá estar limpia y sin residuos del material.

H.4.3. Que las operaciones para la obtención de las masas sean lo más precisas posible, ya que la cantidad de material que se toma para determinar el contenido de agua es muy pequeña, cualquier error durante esta operación, influirá notablemente en los resultados.

H.4.4. Que el cilindro de material no se rompa antes de alcanzar el diámetro de 3 mm, ya que en este caso su contenido de agua es menor al del límite plástico.

H.4.5. Que al alcanzar un diámetro de 3 mm, el cilindro de material no se rompa en forma deliberada mediante la modificación de la presión y/o de la velocidad de rolado.

H.4.6. Que durante la determinación del contenido de agua se incluyan todos los fragmentos en que se dividió el cilindro al alcanzar el límite plástico.

H.4.7. Que no se incorpore material seco para reducir el contenido de agua del material que se prueba, así como cuidar que se efectúe un amasado correcto de éste.

I. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE PLÁSTICO (IP)

I.1. Una vez calculados el límite líquido y el límite plástico se determina el índice plástico, mediante la siguiente expresión:

$$I_p = \omega_L - \omega_p$$

Donde:

I_p = Índice plástico del material, (%), con aproximación a la unidad

ω_L = Límite líquido del material obtenido como se indica en la Cláusula G. de este Manual, (%)

ω_p = Límite plástico del material obtenido como se indica en la Cláusula H. de este Manual, (%)

- 1.2.** Cuando el material sea muy arenoso y no pueda determinarse el límite plástico, se reportan el límite plástico y el índice plástico como NP (no plástico).

