

LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

INV E – 126 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos, los cuales se definen en la Sección 2.
- 1.2 El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425 μm (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo en las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen los valores de límite plástico e índice de plasticidad para evaluar las propiedades de un suelo.
- 1.3 El ensayo del límite plástico se realiza sobre el mismo material preparado para la determinación del límite líquido.
- 1.4 El secado previo del material en horno, estufa o al aire, puede cambiar (generalmente disminuir) el límite plástico de un suelo con material orgánico, aunque este cambio puede ser poco importante.
- 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–126–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 Las definiciones específicas aplicables 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. Estos límites representan las fronteras entre diversos 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 plástico (LP, w_p)* – Contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido.
- 2.1.4** *Índice de plasticidad (IP)* – Rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El límite plástico se determina presionando de manera repetida una pequeña porción de suelo húmedo, de manera de formar rollos de 3.2 mm (1/8") de diámetro, hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de este diámetro, sin que ellos se agrieten o desmoronen.
- 3.2** El índice de plasticidad se calcula sustrayendo el límite plástico del límite líquido.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La determinación del límite plástico interviene en varios sistemas de clasificación de suelos, dado que contribuye en la caracterización de la fracción fina de ellos. El límite plástico, solo o en conjunto con el límite líquido 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 expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad, junto con el porcentaje de partículas menores de 2 μm , permite estimar la actividad de la fracción fina de un suelo.

5 EQUIPO Y MATERIALES

- 5.1** *Placa de vidrio esmerilado* – De tamaño suficiente para formar cilindros de suelo (rollos) en el ensayo.
- 5.2** *Aparato de enrollamiento para determinar el límite plástico (opcional)* – Un aparato hecho de acrílico, de las características y dimensiones que se muestran en las Figuras 126 - 1 y 126 - 2.
- 5.3** *Papel para el aparato de enrollamiento* – Papel mate que impida la adhesión de materias extrañas al suelo (fibras, fragmentos de papel, etc.) durante el proceso de enrollado. Este papel deberá adherirse firmemente a las placas superior e inferior del aparato descrito en el numeral 5.2.
- 5.4** *Espátula* – De hoja flexible, de unos 10 a 13 cm (4 a 5") de longitud y 2 cm ($\frac{3}{4}$ " de ancho).
- 5.5** *Cápsula para evaporación* – De porcelana, o similar, de 115 mm (4½") de diámetro, para mezcla y almacenamiento de las muestras de suelo.
- 5.6** *Balanza* – De 100 g de capacidad, con legibilidad a 0.01 g.
- 5.7** *Cápsulas para la determinación de humedad.*
- 5.8** *Botella plástica* – Con un dispositivo adaptado en su boca para aplicar agua en forma de rocío.
- 5.9** *Horno* –Termostáticamente controlado, regulable a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 5.10** *Tamiz* – De 425 μm (No. 40).
- 5.11** *Agua* – Se puede emplear agua destilada o desmineralizada.



Figura 126 - 1. Aparato de enrollamiento para determinar el límite plástico

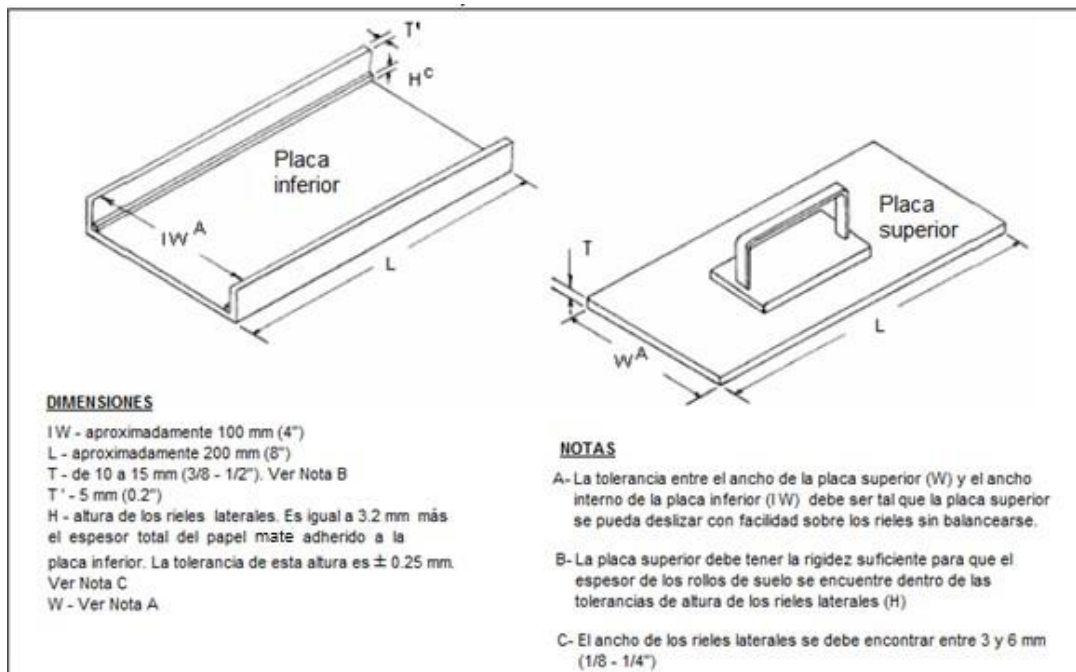


Figura 126 - 2. Dimensiones del aparato de enrollamiento para determinar el límite plástico

6 MUESTREO Y ELABORACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 6.1 El muestreo y la elaboración de los especímenes de ensayo para la determinación del límite plástico se harán de acuerdo con lo que resulte aplicable de los procedimientos descritos en la Sección 7 de la norma INV E-125.

7 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 7.1** Se toma una porción de 20 g, o un poco más, del suelo preparado para el ensayo del límite líquido, ya sea luego del segundo mezclado antes del ensayo o del suelo que sobre al terminar la prueba del límite líquido (norma INV E- 125). Se reduce el contenido de agua de esta porción de suelo hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos, extendiéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el recipiente de mezcla y almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar, exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico o aplicándole un papel secante que no añada fibras al suelo.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Del espécimen de ensayo, se selecciona una porción de 1.5 a 2.0 g con la cual se forma una masa elipsoidal.
- 8.2** Se forman rollos con la masa de suelo, siguiendo alguno de los dos procedimientos que se mencionan a continuación.

- 8.2.1** *Mediante el método manual (Figura 126 - 3)* – Se hace rodar la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio, con la presión estrictamente necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud (nota 1). El rollo se debe adelgazar más con cada rotación, hasta que su diámetro alcance 3.2 mm (1/8"), tomándose para ello no más de dos minutos (nota 2). La presión requerida de la mano o de los dedos varía dependiendo del tipo de suelo, debiendo incrementarse a medida que la plasticidad del suelo es mayor. Los suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el borde exterior de la palma de la mano o bajo la base del dedo pulgar.

Nota 1: Una velocidad normal de enrollado para la mayoría de los suelos es de 80 a 90 recorridos por minuto, entendiéndose por recorrido un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás, regresando a la posición inicial. Esta velocidad de enrollado puede ser disminuida cuando se realice el ensayo sobre suelos muy frágiles.

Nota 2: Una varilla o tubo de 3.2 mm (1/8") de diámetro resulta de utilidad, como medio para verificar el momento en que el rollo de suelo alcanza el diámetro apropiado.



Figura 126 - 3. Método manual para formar rollos de suelo

8.2.2 *Empleando el aparato de enrollamiento* – Se adhieren hojas de papel mate liso a las placas superior e inferior del aparato plástico de enrollamiento. Se coloca la masa de suelo sobre la placa inferior, en el punto medio entre los rieles de deslizamiento. Se coloca la placa superior en contacto con la masa (o masas, ver nota 3) de suelo. Simultáneamente, se aplica una ligera presión hacia abajo y se da a la placa superior un movimiento de vaivén, de manera que entre en contacto con los rieles laterales antes de que pasen dos minutos (notas 1 y 3). No se debe permitir que el suelo toque los rieles laterales durante el proceso de enrollamiento. Si esto ocurre, se debe enrollar una masa de suelo más pequeña (aun si ella resulta menor que la mencionada en el numeral 8.1).

Nota 3: En la mayoría de los casos, se pueden enrollar simultáneamente dos masas de suelo en el aparato.

8.3 Cuando el diámetro del rollo llegue a 3.2 mm, éste se divide en varios trozos. Se juntan los trozos y se comprimen entre los pulgares y los demás dedos de ambas manos formando una masa uniforme de forma elipsoidal y se enrolla de nuevo. Se repite este procedimiento, partiendo, juntando, amasando y enrollando, hasta que el rollo de 3.2 mm de diámetro se desmorone bajo la presión requerida para el enrollamiento y el suelo no pueda ser enrollado más en cilindros de 3.2 mm de diámetro. No es importante si el rollo se parte en rollos de longitud muy corta. Cada uno de estos rollos cortos se deberá enrollar hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm. Lo único que se requiere para continuar el ensayo, es que al juntar estos rollos se pueda volver a formar una masa elipsoidal y luego crear nuevos rollos. En ningún momento el operador deberá intentar producir la rotura a un diámetro exacto de 3.2 mm formando un rollo de este tamaño y tratando de producir entonces la desintegración, mediante una disminución de la velocidad de enrollamiento y/o de la presión

manual, y continuando el enrollamiento sin más deformación hasta que el rollo se desbarate. Está permitido, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación de un suelo débilmente plástico, haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal sea próximo al diámetro final requerido de 3.2 mm. Es posible que el desmoronamiento de un rollo ocurra cuando éste tenga un diámetro mayor de 3.2 mm. Este podrá ser considerado un punto final satisfactorio, siempre y cuando el suelo haya podido ser enrollado previamente en un cilindro de 3.2 mm de diámetro. El desmoronamiento se manifiesta de maneras diferentes en distintos tipos de suelos. Algunos suelos se desintegran en numerosas partículas pequeñas y otros pueden formar una capa exterior tubular que comienza a separarse desde ambos extremos; la separación progresa hacia el centro y, finalmente, el rollo se desintegra. Los suelos de arcilla pesada requieren mucha presión para deformar el rollo, especialmente cuando se aproximan al límite plástico, partiéndose finalmente en una serie de segmentos en forma de barril, de 3.2 a 9.5 mm (1/8 a 3/8") de longitud aproximada.

- 8.4** Se recogen las porciones de suelo desmoronado y se colocan en un recipiente adecuado de masa conocida. Si el recipiente con el suelo no se pesa en ese momento, se deberá tapar inmediatamente.
- 8.5** Se seleccionan otras porciones de 1.5 a 2 g del espécimen del límite plástico y se repiten las operaciones descritas en los numerales 8.2 a 8.4 hasta que el recipiente tenga, cuando menos, 6 g de suelo.
- 8.6** Las operaciones descritas en los numerales 8.1 a 8.5 se deberán repetir para obtener otro recipiente que contenga al menos 6 g de suelo.
- 8.7** Se determinan los contenidos de agua de los suelos contenidos en los dos recipientes, de acuerdo con la norma INV E-122 y se anotan los resultados.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calcula el promedio de los dos contenidos de agua (tanteos del límiteplástico) y el valor obtenido se redondea al entero más cercano. Este valor es el límite plástico (LP). El ensayo se deberá repetir, si la diferencia entre los límites plásticos de los dos tanteos supera el rango de aceptabilidad para los resultados de dos ensayos, efectuados por un solo operador; es decir, 1.4 puntos porcentuales (2.8×0.5). Ver Tabla 126 - 1.
- 9.2** Se calcula el índice de plasticidad (IP), como sigue:

$$IP = LL - LP$$

[126.1]

Donde: LL: Límite líquido (número entero);

LP: Límite plástico (número entero).

- 9.3** Tanto el LL como el LP son números enteros. Si el límite líquido o el plástico no se pueden determinar, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, se informará que el suelo es no plástico, NP.

10 INFORME

- 10.1** El informe deberá incluir, al menos, lo siguiente:

10.1.1 Identificación del proyecto.

10.1.2 Procedencia y descripción de la muestra.

10.1.3 Procedimiento de ensayo utilizado (manual o con el aparato de enrollamiento).

10.1.4 Valores del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad, (IP).

10.1.5 Cualquier información adicional respecto al ensayo o al suelo en estudio.

10.1.6 La referencia a este método de ensayo.

11 PRECISIÓN Y SESGO

- 11.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos por este método de ensayo sobre un amplio rango de suelos, se muestran en las Tablas 126 - 1 y 126 - 2. El método de preparación de las muestras fue el de vía húmeda mencionado en la norma INV E-125.

- 11.2** *Sesgo* – No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo, ni para el del límite líquido; por lo tanto, no es posible determinar el sesgo.

Tabla 126 - 1. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio sobre límites de Atterberg

(1)	(2)			(3)			(4)			(5)		
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS QUE HICIERON ENSAYOS POR TRIPLICADO			VALOR PROMEDIO ^A (PORCENTAJE DE PUNTOS)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR ^B (PORCENTAJE DE PUNTOS)			RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS ^C (PORCENTAJE DE PUNTOS)		
Tipo de ensayo												
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
Resultados de un solo operador (repetibilidad en el mismo laboratorio)												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	0.7	0.5	0.8	2	1	2
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	0.3	0.4	0.5	1	1	1
ML	12	11	11	27.4	23.4 ^D	4.1 ^D	0.5	0.3	0.6	2	1	2
Resultados multi-laboratorio (reproducibilidad entre laboratorios)												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	1.3	2.0	2.5	4	6	7
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	1.0	1.2	1.7	3	3	5
ML	12	11	11	27.4	23.4 ^D	4.1 ^D	1.3	0.9	1.9	4	3	5

^A El número de dígitos significativos y de cifras decimales que se presentan, representan los datos de entrada.

^B La desviación estándar se refiere al límite 1s.

^C El rango aceptable entre dos resultados se refiere al límite d2s. Este valor se calcula mediante el producto $1.960 \times \sqrt{2} \times 1s$ como se define en la práctica ASTM E 177. La diferencia entre los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados no debe superar este límite.

^D Para el suelo ML, dos de los laboratorios reportaron el suelo como NP

Tabla 126 - 2. Resumen de resultados de ensayos de cada laboratorio

(1)	(2)	(3)			(4)			(5)		
TIPO DE SUELO	NÚMERO DE LABORATORIOS	VALOR PROMEDIO (PORCENTAJE DE PUNTOS)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR (PORCENTAJE DE PUNTOS)			RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (PORCENTAJE DE PUNTOS)		
Tipo de ensayo										
		LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
CH	24	59.9	20.4	39.5	2.1	2.7	3.1	6	7	9
CL	24	33.3	19.9	13.4	0.8	1.3	1.6	2	4	4
ML	18	27.1	23.2 ^A	3.9 ^A	1.3	1.2	1.8	4	3	5

^A Para el suelo ML, 6 de 24 laboratorios reportaron el suelo como NP

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4318 – 10

**ANEXO
(Informativo)**

MODELO DE FORMATO PARA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

INVIAS	DETERMINACION LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO	INVE - 125 INVE - 126 Fecha:																																																																																																											
<p>CERTIFICADO DE ENSAYO No.</p> <p>Identificación de la obra</p> <p>Identificación de la muestra</p> <p>Calicata / sondeo Horizonte Fecha muestreo</p>																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">LIMITE PLASTICO</th> <th colspan="5">LIMITE LIQUIDO</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ENSAYE Nº</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>CÁPSULA Nº</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>NÚMERO DE GOLPES</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>3 PESO DE LA CÁPSULA (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>7 PROMEDIO LIMITE PLÁSTICO (%)</td> <td colspan="3"></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>				LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO					1	2	3	1	2	3	4	5	ENSAYE Nº									CÁPSULA Nº									NÚMERO DE GOLPES									1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM (g)									2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)									3 PESO DE LA CÁPSULA (g)									4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)									5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)									6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)									7 PROMEDIO LIMITE PLÁSTICO (%)								
	LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO																																																																																																									
	1	2	3	1	2	3	4	5																																																																																																					
ENSAYE Nº																																																																																																													
CÁPSULA Nº																																																																																																													
NÚMERO DE GOLPES																																																																																																													
1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM (g)																																																																																																													
2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)																																																																																																													
3 PESO DE LA CÁPSULA (g)																																																																																																													
4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)																																																																																																													
5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)																																																																																																													
6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)																																																																																																													
7 PROMEDIO LIMITE PLÁSTICO (%)																																																																																																													
<p>CURVA DE FLUIDEZ</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> </div>																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Límite líquido (LL)</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 30%;">Límite plástico (LP)</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 20%;">Índice de plasticidad (IP) = LL-LP</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> </table>			Límite líquido (LL)		Límite plástico (LP)		Índice de plasticidad (IP) = LL-LP																																																																																																						
Límite líquido (LL)		Límite plástico (LP)		Índice de plasticidad (IP) = LL-LP																																																																																																									