

**PROPUESTA DE GUÍA PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD LA GRAN
COLOMBIA**

BORRADOR

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

CONTENIDO

	pág.
DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO – AGREGADO	3
DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO	10
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA	19
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	31
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS	31
DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS	48
PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE)	62
RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)	72
CBR	84
COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS	94
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA (CD)	104
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS	117

**DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA
(HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO –
AGREGADO
INV E – 122 – 13**

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar el contenido de agua (humedad) en una muestra de material.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

Este ensayo es de gran importancia ya que permite determinar algunas propiedades del suelo como son la cohesión, consistencia, cambios de volumen y estabilidad mecánica. Además se sabe que el contenido de agua puede afectar significativamente la resistencia del suelo o material que se disponga en el sitio de construcción, también el contenido de agua afecta directamente la capacidad de consolidación del suelo aumentando o disminuyendo los periodos de asentamientos de las estructuras. Por eso es de gran importancia en algunos casos controlar los niveles freáticos y la capacidad del suelo de expulsar el agua por medio de drenajes u otro mecanismo.

Esta práctica se puede realizar por dos métodos dependiendo el número de cifras significativas que se solicite en los resultados, el método "A" aproxima a 1% y el método "B" de resultados con aproximación a 0.1%.

- **Contenido de agua:** Es el contenido de agua por unidad de masa de los sólidos de la muestra, que se expresa en %.

- **Masa constante:** Cuando el material sea secado al horno se debe garantizar que el material alcance masa constante, es decir que al pasar el tiempo la masa no varié.

❖ **EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.01 g y/o 0.1% de la masa de ensayo.</p>
	<p>Horno: debe permitir una temperatura uniforme, de 110°C +/- 5°C.</p>
	<p>Recipiente para las muestras, preferiblemente metálico que soporte cambios de temperatura.</p>

Demás elementos como espátula, cucharones y elementos de protección personal.

❖ MUESTRA

Se debe mantener las muestras de manera que no queden expuestas a luz solar. La determinación del contenido de agua se deberá hacer lo más pronto del muestreo para evitar la pérdida de humedad por el paso tiempo.

La masa de la muestra se deberá tomar la indicada en algún otro ensayo que requiera determinar el contenido de humedad, en caso que no se indique ninguna masa se deberá aplicar los siguientes valores de masa según el método a emplear para el ensayo:

Masa de muestra según método.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA (PASA 100 %)		MÉTODO A		MÉTODO B	
		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE ± 1 %		CONTENIDO DE AGUA REGISTRADO CON APROXIMACIÓN DE ± 0.1 %	
TAMAÑO TAMIZ (MM)	TAMAÑO TAMIZ ALTERNATIVO	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)	MASA DEL ESPÉCIMEN	LECTURA DE LA BALANZA (g)
75.0	3"	5 kg	10	50 kg	10
37.5	1½"	1 kg	10	10 kg	10
19.0	¾"	250 g	1	2.5 kg	1
9.5	3/8"	50g	0.1	500 g	0.1
4.75	No. 4	20 g	0.1	100 g	0.1
2.00	No. 10	20 g	0.1	20 g	0.01

Fuente: Instituto nacional de vías, INVE 122-13

La muestra del ensayo puede ser inalterada o alterada dependiendo de la procedencia del espécimen, en todo caso se debe garantizar que no haiga una pérdida de humedad significativa mientras se prepara el espécimen.

❖ **PROCEDIMIENTO**

- Se determina la masa de un recipiente seco y limpio.
- Se coloca la muestra dentro del recipiente previamente pesado.
- Se determina la masa del recipiente con la muestra.
- Se introduce el recipiente con la muestra en el horno que debe estar a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, salvo que se especifique otra temperatura debido al contenido de material como cementos, yesos u materias orgánicas. Se debe dejar la muestra dentro del horno hasta que esta alcance una masa constante. En la mayoría de los casos esto se alcanza entre las 12 a 16 horas de introducir la muestra. En casos que se tenga dudas del secado de la muestra se podrá verificar por medio de una tira de papel que se pondrá inmediatamente se saque la muestra de horno, sobre la muestra y si la tira tiende a enrollarse la muestra aún no está completamente seca. Otra forma será tomando pesos en intervalos de tiempo y verificando que la muestra no pierda más masa durante estos lapsos de tiempo.
- Terminado el secado se dispondrá las muestras a enfriamiento, ya sea por medio de un desecador o colocándole una tapa para evitar que la muestra pueda absorber humedad del ambiente.
- Enfriada la muestra se pesara en una balanza la muestra seca en el recipiente.

Este procedimiento se realizara para tres muestras del mismo suelo con el fin de determinar un promedio del contenido de humedad en el suelo.

❖ CÁLCULOS

Se realizara el cálculo del contenido de humedad por medio de la siguiente expresión:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W: Contenido de humedad, % con aproximación según el método.
- W1: Masa del recipiente con la muestra húmeda, g.
- W2: Masa del recipiente con la muestra seca, g.
- Wc: Masa del recipiente, g.
- Ww: Masa de agua, g.
- Ws: Masa de las partículas sólidas, g.

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV-E 122-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 1

CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS
DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -
AGREGADO
INV E - 122 - 13

DOCENTE

GRUPO:

NOTA:

CÓDIGO(S):

ESTUDIANTES (S):

HOJA : 1 DE 2

ASIGNATURA:

LABORATORIO No.:

FECHA PRACTICA:

FECHA ENTREGA:

	1	2	3
RECIPIENTE NUMERO			
Wc: PESO DEL RECIPIENTE, g			
W1: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA, g			
W2: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA, g			
Ww: PESO DEL AGUA, g			
Ws: PESO DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS, g			
W: CONTENIDO DE HUMEDAD, %			

CONVENCIONES

W: Contenido de humedad, % con aproximación según método.
W1: Masa del recipiente con la muestra húmeda, g.
W2: Masa del recipiente con la muestra seca, g.
Wc: Masa del recipiente, g.
Ww: Masa de agua, g.
Ws: masa de las partículas sólidas, g.

FORMULA

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_C} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA:

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO :



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 1

CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS
DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -
AGREGADO
INV E - 122 - 13

DOCENTE

GRUPO:

NOTA:

HOJA : 2 DE 2

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

SOHIBADON

**DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS
AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO**

INV E – 217 – 13

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar el peso unitario o densidad de bulk de agregados.
- Determinar porcentaje de vacíos en los agregados.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

- **Densidad de bulk**: Masa de un volumen unitario de un agregado total, el cual incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre ellas. Se expresa en kg/m^3 (lb/pe^3).
- **Peso unitario**: Es el peso por unidad de volumen, se entiende como peso al producto entre la masa del cuerpo y la gravedad. El peso de un cuerpo varía respecto a la posición en la corteza terrestre, mientras que la masa del cuerpo permanece constante. La aceleración de un cuerpo en caída provocada por la fuerza gravitacional es aproximadamente de 9.81 m/s^2 . el peso se puede expresar en unidades de Newtons (N) o en unidades gravitacionales (Kgf o lbf).

❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01 g de la masa de ensayo.</p>
	<p>Varilla compactadora: De acero de diámetro de cinco octavos de pulgada y una longitud de 60 cm, una o ambas puntas deben ser semiesféricas.</p>
	<p>Recipiente de medida: Debe ser metálico de forma cilíndrico bastante rígido para evitar deformaciones. Además de cumplir especificaciones descritas en la INVE 217-13</p>
	<p>Pala o cucharón: Para llenar el recipiente.</p>

❖ MUESTRA

El tamaño de la muestra debe estar entre el 125% y el 200% de la cantidad requerida, la muestra se debe secar hasta obtener una masa constante, preferiblemente en horno a 110 ± 5 ° C.

❖ PROCEDIMIENTO

Para determinar el procedimiento del ensayo se debe tener en cuenta el tamaño máximo nominal de los agregados, para agregados con tamaño máximo nominal menor o igual a 1 ½" se realizara por varillado o apisonado. Para agregados con tamaño máximo nominal mayor a 1 ½" y menor o igual a 5" se realizara por el método de vibración.

Además también se realizará el procedimiento para hallar el peso unitario suelto del agregado.

Método de Varillado o Apisonamiento:

- Se toma la masa del recipiente vacío en la balanza.
- Se debe compactar el material en el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, hasta llenarlo. Cada capa se debe nivelar con los dedos antes de empezar a compactar con la varilla. La compactación de



cada capa se hará con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente por la superficie, utilizando un extremo semiesférico.

- Durante la compactación de la primera capa se debe evitar que la varilla toque el fondo del recipiente, y para las otras dos capas se debe efectuar el golpe con la varilla de tal modo que no traspase a la capa inferior ya compactada.
- Compactada la última capa se procederá a enrasar la superficie del material utilizando una regla o la mano.
- Se toma la masa del recipiente lleno en la balanza.

Método de Vibración:

- Se toma la masa del recipiente vacío en la balanza.
- Se llena el recipiente con el agregado en 3 capas hasta colmarlo.
- Se coloca el recipiente en una base firme y resistente, se inclina sobre uno de los borde de tal manera que el borde opuesto se separe de la superficie unos 50mm (2"). Se suelta el recipiente, con lo cual se produce un golpe seco, se repite este procedimiento para producir el golpe en seco en el lado del recipiente que no se levantó de la superficie. Los golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, es decir 50 golpes por capa.
- Compactada la última capa se enrasa la superficie con la mano o con una regla.

- Se toma la masa del recipiente lleno en la balanza.

Método Para Tomar la Densidad de Bulk Suelta:

- Se toma la masa del recipiente vacío en la balanza.
- Se llena el recipiente con una pala o cucharón dejando caer el material a una altura de 50mm (2”) por encima del borde del recipiente, hasta colmarlo.
- Se enrasa la superficie del material con la mano o con una regla.
- Se toma la masa del recipiente lleno en la balanza.

NOTA:

- *Los datos deberán ser anotados en el formato de perteneciente a esta guía de laboratorio.*
- *Para determinar la densidad bulk con el agregado saturado y superficialmente seco (sss) se realizara el mismo procedimiento dependiendo del tamaño máximo nominal del material.*
- *Las masa se deben tomar mínimo tres veces para realizar un promedio de la masa.*

❖ CÁLCULOS

- **Densidad Bulk o Peso Unitario:** Se determinara mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

- M: Densidad bulk del agregado (Kg/m³ o lb/pie³)
- G: Masa del recipiente lleno (Kg)
- T: Masa del recipiente vacío (Kg)
- V: Volumen del recipiente de medida (m³)

- **Densidad Bulk en Condición sss**: se determinara según la siguiente expresión:

$$M_{sss} = M \left[1 + \frac{A}{100} \right]$$

Donde:

- M_{sss}: Densidad bulk del agregado en condición sss (Kg/m³ o lb/pie³).
- A: % de absorción, determinado según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos).

- **Porcentaje de Vacíos en los Agregados**: Se determinara utilizando la densidad de bulk:

$$\%VACÍOS = \frac{S \times \rho_w - M}{S \times \rho_w} \times 100$$

Donde:

- S: Gravedad específica bulk (material seco) determinada según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos)
- M: Densidad bulk de los agregados, kg/m³
- ρ_w : Densidad del agua 998 Kg/m³

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 217-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.

BORRADOR



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 2

DOCENTE

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE
DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO
SUELTO Y COMPACTO
INV E - 217 - 13

GRUPO:

NOTA:

CÓDIGO(S):

ESTUDIANTES (S):

HOJA : 1 DE 2

ASIGNATURA:

LABORATORIO No.:

FECHA PRACTICA:

FECHA ENTREGA:

	SUELTO Tamaño nominal < 1½	APISONADO Tamaño nominal < 1½	VIBRADO Tamaño nominal 1½ ≥ 5"
NUMERO DE LA FRACCION ENSAYADA			
NUMERO DEL MOLDE			
V= VOLUMEN DEL MOLDE (m³)			
T =MASA DEL MOLDE (Kg)			
G1 =MASA DEL MOLDE + MATERIAL (Kg)			
G2 =MASA DEL MOLDE + MATERIAL (Kg)			
G3 =MASA DEL MOLDE + MATERIAL (Kg)			
G = MASA PROMEDIO DEL MOLDE + MATERIAL (Kg)			
P _g =MASA DEL MATERIAL (Kg)			
M = DENSIDAD BULK O PESO UNITARIO (Kg/m³)			
% DE VACIOS			

CONVENCIONES

M = Densidad Bulk del agregado (kg/m³)
 G = Masa del agregado + recipiente de medida (kg)
 T = Masa del recipiente de medida (kg)
 V = Volumen del recipiente de medida (m³)
 S = Gravedad Especifica Bulk (Norma INV E-222-13 o E-223-13)
 ρ_w = Densidad del agua

FORMULAS

$$M = \frac{G - T}{V}$$

$$\%VACÍOS = \frac{S \times \rho_w - M}{S \times \rho_w} \times 100$$

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO :



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 2

DOCENTE

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE
DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO
SUELTO Y COMPACTO
INV E - 217 - 13

GRUPO:

NOTA:

HOJA : 2 DE 2

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS
SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN
PICNÓMETRO CON AGUA**

INV E – 128 – 13

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo.
- Determinar el llenante mineral.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

Este ensayo está destinado para aquellos suelos que pasen el tamiz No. 4 (4.74 mm), cuando el suelo contiene partículas mayores de 4.75 mm la gravedad específica será determinada por medio del ensayo descrito en la INVE 223-13.

Para la determinación de la gravedad específica de los suelos por medio de un picnómetro, se podrá utilizar dos métodos, que básicamente se distinguen es que uno es para muestras húmedas y el otro método para muestras secas. El método para muestras húmedas debe ser obligatorio en caso de tener los siguientes tipos de suelo: suelos finos altamente plásticos, suelos tropicales y suelos que contengan halosita. Para aquellos suelos que contengan partículas que se disuelven en el agua se deberán emplear la norma de ensayo ASTM D 5550, esto porque estas sustancias pueden tener una gravedad específica menor a la del agua.

Se entiende como partículas de un suelo a aquellas formaciones naturales que tiene características semejantes y que son muy difíciles o se pueden disolver en agua.

La gravedad específica es la relación entre la masa de un volumen de sólidos y la masa del mismo volumen de agua, ambas masas a igual temperatura, usualmente se realiza una corrección de la gravedad a 20°C.

❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
	<p>Picnómetro: con un tapón (opcional) y una capacidad mínima de 250 ml.</p>
	<p>Bomba de vacío: para producir un vacío parcial de 100 mm de mercurio.</p>

	<p>Horno: capaz de mantener temperaturas constantes hasta 110 ± 5 °C.</p>
	<p>Tamiz No. 4.</p>

❖ MUESTRA

El suelo que se ensaya es aquel que pasa el tamiz No. 4. La muestra del ensayo se podrá ensayar con la humedad natural o secado al horno, a continuación se presenta las relaciones entre la masa seca a utilizar para el ensayo dependiendo del volumen del picnómetro.

Tabla 1. Masa recomendada para la muestra de ensayo

TIPO DE SUELO	MASA DE LA MUESTRA SECA (g) CUANDO SE USA UN PICNÓMETRO DE 250 ml.	MASA DE LA MUESTRA SECA (g) CUANDO SE USA UN PICNÓMETRO DE 500 ml.
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 128-13

La cantidad de suelo por ensayo influye en dos factores importantes:

- La relación de la masa de los sólidos por su gravedad específica produce cuatro dígitos significativos.
- La mezcla de agua y suelo es una lechada y no un flujo de alta viscosidad durante el proceso de desaireación.

❖ **PROCEDIMIENTO**

Para iniciar con el ensayo primero se deberá calibrar el picnómetro de la siguiente manera:

- Se toma la masa del picnómetro vacío en la balanza, se debe tomar cinco pesos para hallar un promedio.
- Se llena el picnómetro con agua desairada por encima o por debajo de la marca dependiendo el tipo de picnómetro, se recomienda llenarlo por encima de la marca para disminuir la posibilidad de generar cambios térmicos.
- Se pone el picnómetro en un recipiente aislante junto con un vaso precipitado o una botella de agua desairada con un termómetro, y un gotero o pipeta. Se deja todo dentro del recipiente aislante hasta que el picnómetro alcance la temperatura deseada, que debe estar en los 4°C de la temperatura ambiente y entre 15 a 30°C.

- Se debe ajustar el agua del picnómetro hasta la marca indicada o si es un picnómetro con tapón se verifica que no hayan quedado burbujas atrapadas. Se pesa el picnómetro nuevamente y se anota la masa.
- Se toma la temperatura del picnómetro con el termómetro que se dejó en el recipiente aislante.
- Se reajusta el nivel del agua en los picnómetros y se repiten los pasos anteriores con cada picnómetro hasta alcanzar cinco medidas independientes y de la temperatura con cada picnómetro lleno de agua, también se puede vaciar los picnómetros y volver a llenarlos de agua, dejándolos alcanzar equilibrio térmico.
- Se calcula el volumen del picnómetro utilizando cada medida tomada con la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{M_{pw,c} - M_p}{\rho_{w,c}}$$

Donde:

- $M_{pw,c}$: masa del picnómetro lleno con agua a la temperatura de calibración, g.
- M_p : Masa promedio del picnómetro seco, g.
- $\rho_{w,c}$: Densidad de masa del agua a la temperatura de calibración, g/cm³. En la tabla 2 se podrá apreciar las densidades a diferentes temperaturas.

Tabla 2. Densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura

Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coficiente (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99771	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 128.13.

- Se calcula el promedio del volumen y la desviación estándar, si la desviación estándar es mayor a 0.05 cm³, se deberá ajustar las medidas críticas, tomándolas de nuevo o tomando nuevamente los cinco medidas. Cuando la desviación estándar da mayor significa que durante el ensayo se presentó bastante variabilidad entre cada toma de dato. Después de haber garantizado que la desviación estándar no sea mayor, se desocupa el picnómetro y se seca.
- Se vuelve a tomar la masa del picnómetro y se verifica que la masa del mismo no varíe más de 0.06 g con respecto a la medida media tomada para

la calibración. Si esto sucede se deben recalibrar la masa seca del picnómetro.

Procedimiento por el método “A”, para muestras húmedas:

- Se determina el contenido de agua del suelo según la INVE 122-13. Y a partir de este dato se calcula la masa necesaria que debe estar en los rangos descritos en la tabla 1.
- En un recipiente para mezclar se colocan alrededor de 1000 ml de agua, se vierte el suelo y se mezcla, el volumen preparado por lo general exige el uso de un picnómetro de 500 ml.
- Se coloca la lechada en el picnómetro con la ayuda de un embudo, se debe enjuagar las partículas adheridas a este con un atomizador de agua.

Procedimiento por el método “B”, para muestras secas:

- Se seca la muestra en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante, se deben disgregar todos los terrones, si el suelo no se dispersa fácilmente o ha cambiado su composición se deberá usar el método “A”.
- Se introduce el suelo al picnómetro con ayuda del embudo, se deben lavar con un atomizador las partículas adheridas a las paredes del embudo.

Después de haber utilizado alguno de los métodos anteriores, se procede a elaborar la lechada dentro del picnómetro de la siguiente manera:



- ✓ Se agrega agua hasta que su nivel este entre $1/3$ y $1/2$ de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Se agita el picnómetro hasta formar la lechada, se enjuagan las paredes internas del picnómetro con ayuda de un atomizador.
- ✓ Si durante este proceso se forma una masa viscosa se debe usar un picnómetro de mayor capacidad.
- ✓ Se debe extraer el aire contenido por medio de algún método como: poner a hervir el contenido del picnómetro, o por medio de una bomba de vacío o una combinación de las dos.
- ✓ Después de haber extraído el aire del picnómetro, se procede a llenar el picnómetro con agua desairada hasta la marca o hasta donde lo indique el tipo de picnómetro. Se deben seguir las instrucciones de la INVE 128-13 numeral 7.6. según sea el método de llenado.
- ✓ Se vuelve a introducir el picnómetro una vez lleno en el recipiente aislante para que alcance el equilibrio térmico, se debe introducir igualmente un termómetro en un vaso o botella con agua y un gotero o pipeta. Todos los elementos se deben dejar de un día para otro en el recipiente aislante.
- ✓ Después del equilibrio térmico se añade del agua que se guardó junto al picnómetro dentro del recipiente aislante hasta alcanzar la medida de este, y posteriormente se debe pesar en la misma balanza, se debe evitar que la temperatura del picnómetro varíe durante este proceso. Igualmente se toma la temperatura del picnómetro.
- ✓ Cuando se termine la toma de datos se trasfiere el contenido del picnómetro a un recipiente de masa conocida, se debe extraer todo el



contenido del picnómetro lavando este con ayuda de un atomizador. Se lleva este recipiente al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta que se alcance la masa constante. Se pesa nuevamente el suelo seco y se calcula la masa de suelo seco que se registra como M_s .

NOTA:

- Los datos deberán ser anotados en el formato de perteneciente a esta guía de laboratorio.

❖ **CÁLCULOS**

- **Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura del ensayo:** se determinara según la siguiente expresión:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t})$$

Donde:

- $M_{pw,t}$: Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura del ensayo (g).
- M_p : Masa promedio de calibración del picnómetro seco, g.
- V_p : Volumen promedio de calibración del picnómetro seco. (cm^3)
- $\rho_{w,t}$: densidad del agua a la temperatura del ensayo, (g/cm^3)

- **Gravead específica de las partículas sólidas:** Se determinara utilizando la siguiente expresión:

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{[M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)]}$$

Donde:

- G_t : Gravedad específica de las partículas sólidas a la temperatura del ensayo.
- ρ_s : Densidad de las partículas sólidas, g/m^3
- $\rho_{w,t}$: Densidad del agua temperatura del ensayo, Kg/m^3
- M_s : Masa de los sólidos del suelo secado al horno, g.
- $M_{pws,t}$: Masa del picnómetro con agua y sólidos a la temperatura del ensayo, g.

- **Gravedad específica de las partículas sólidas corregida:** Los valores del factor de corrección se podrán encontrar en la tabla 2. Y se calculara de la siguiente forma:

$$G_{20^{\circ}\text{C}} = K \times G_t$$

Donde:

- $G_{20^{\circ}\text{C}}$: Gravedad específica corregida a 20°C .
- K : Factor de corrección por temperatura.

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVE 128-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.



CÓDIGO(S):

ESTUDIANTES (S):

HOJA : 1 DE 2

ASIGNATURA: _____
LABORATORIO No.: _____
FECHA PRACTICA: _____
FECHA ENTREGA: _____

METODO: _____

% DE HUMEDAD: _____

DATOS PARA LA HUMEDAD

RECIPIENTE NUMERO

Wc: PESO DEL RECIPIENTE, g

W1: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA, g

W2: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA, g

CALIBRACION DEL PICNOMETRO

DATO No.	1	2	3	4	5	PROMEDIO
Masa del picnómetro + agua (g)	5					
Masa del picnómetro seco (g)						
Temperatura del agua (°C)						
Densidad del agua de calibración (g/ml)	0,9					
Volumen del picnómetro	500					

ENSAYO SOBRE MATERIAL

Masa del picnómetro + agua+ suelo (g)					
Masa del picnómetro + agua (g)					
Masa del suelo seco (g)					
Temperatura del agua (°C)					
Gravedad específica a temperatura del ensayo					
Factor de corrección del agua					
Gravedad específica Corregida					

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO :



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 3

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS
SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA
INV E - 128 - 13

DOCENTE:

GRUPO:

NOTA:

HOJA : 2 DE 2

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

BORRADOR

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

INV E – 125 – 13

Y

LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

INV E – 126 – 13

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar el límite líquido del suelo.
- Determinar el límite plástico del suelo.
- Determinar el índice de plasticidad.
- Determinar la clasificación del suelo.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

Los límites de consistencia en un suelo fueron definidos originalmente por Albert Atterberg, el cual definió seis límites de consistencia para suelos estrictamente finos, se entiende como consistencia la facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.

Albert definió los límites:

- Límite de contracción.

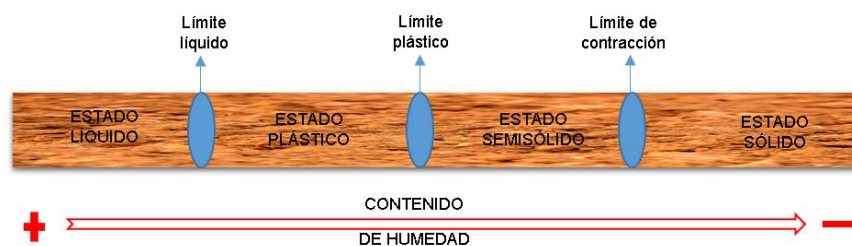
- Limite plástico.
- Límite de cohesión.
- Límite de pegajosidad.
- Limite líquido.
- Límite superior del flujo viscoso.

Estos límites de consistencia varían dependiendo el tipo de suelo y el porcentaje de humedad contenido en el suelo, a un mayor porcentaje de humedad el suelo tiende a deformarse con más facilidad, mientras que a menor contenido de agua el suelo tiende a soportar más esfuerzos sobre él, en la figura 1, se podrá visualizar mejor los límites.

En ingeniería se tiene en cuenta el límite plástico y líquido, en algunas ocasiones el límite de contracción, como característica primordial del comportamiento volumétrico y de resistencia del suelo. Se entiende como límite líquido el contenido de agua expresado en porcentaje, cuando el suelo se halla entre los estados líquido y plástico. Como límite plástico se entiende que es el porcentaje de humedad cuando se halla el suelo en el límite entre los estados plástico y semisólido.

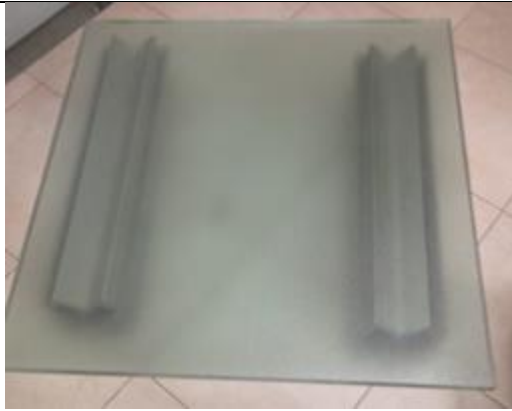
El índice de plasticidad es de gran importancia para realizar una clasificación óptima del suelo, el índice de plasticidad es el rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente.

Figura1. Límites y estados del suelo



❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
	<p>Horno: debe permitir una temperatura uniforme, de 110°C +- 5°C.</p>
	<p>Recipiente para las muestras, preferiblemente metálico que soporte cambios de temperatura.</p>
	<p>Cazuela de casa grande: Debe cumplir con lo descrió en la INVE 125-13.</p>
	<p>Ranurador: Debe cumplir con lo descrió en la INVE 125-13.</p>



Placa de vidrio esmerilado

❖ MUESTRA

Debe ser una muestra representativa del suelo al cual se le quieren determinar sus características. La muestra se deberá tamizar en el tamiz No. 40 (425 μm), el espécimen será de 150g a 200g de material que pase el tamiz. El material pasante se deberá revolver con una espátula o cartón, aquellas muestras que pasen el tamiz No. 40 se podrán realizar la selección del espécimen por medio de cuarteo.

❖ PROCEDIMIENTO

▪ DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS:

- Se debe realizar una calibración de todos los equipos a utilizar como lo describe la norma INV E 125-13 en el numeral 8. La altura de caída de la cazuela de Casagrande debe ser de 10 \pm 2 mm.
- El espécimen se debe preparar por vía húmeda o vía seca según se indique, el espécimen se preparara según lo siguiente:

➤ Método de preparación por vía húmeda:

- Material que pasa en su totalidad el tamiz No. 40:

Se prepara de 150g a 200g de una mezcla del material con agua, añadiendo agua hasta que se llegue a cierta consistencia requerida dependiendo el método utilizado:

Si se utiliza el método A, el cual necesita de varios puntos para determinar el límite líquido, la consistencia del suelo será de tal forma que la ranura echa en él se serie entre los 25 a 35 golpes.

Si se utiliza el método B, el cual necesita de un punto para determinar el límite líquido, la consistencia del suelo será tal que la ranura echa en él se cierre entre los 20 y 30 golpes.

- Material que contiene una pequeña parte de suelo retenida en el tamiz No. 40:

El material será puesto dentro de recipiente y se le agregara agua hasta cubrirlo y el tiempo necesario para que los terrones del suelo se ablanden y las partículas de finos no estén adheridos a las partículas gruesas. Cuando la muestra contenga una gran cantidad de partículas gruesas se deberá realizar un lavado en el tamiz No.40, durante este lavado se deberá lavar cuantas veces sea posible las arenas y las gravas. Los terrones que no se disuelvan durante el lavado se deberán disgregar con suavidad. El material que finalmente quede retenido en el tamiz será descartado de la prueba. Se realiza en secado del suelo lavado, llevando la humedad del mismo hasta que se acerque al límite líquido. Este secado se podrá

realizar por medio de diferentes métodos descritos en la INVE 125-13 numeral 9.1.2.3 y 9.1.2.4.

- ✓ Método de preparación por vía seca:
 - Se debe secar la muestra en horno a una temperatura que no exceda los 60°C, hasta que los terrones de suelo se puedan disgregar con facilidad y su apariencia sea completamente seca.
 - Se pasa el material por el tamiz No. 40 manualmente para separar la fracción fina. El material retenido se volverá a disgregar y pasar nuevamente por el tamiz No. 40. Este procedimiento se repite hasta que el material retenido en el tamiz sea partículas individuales.
 - El materia retenido en el tamiz se coloca en un recipiente con agua suficiente para que quede sumergido el material, la mezcla se tamizar en el tamiz No. 40 y el material que pasa por el tamiz será la fracción de finos adheridos a las partículas retenidas, esta fracción de finos se agrega al suelo que paso el tamiz previamente.
 - Se secará el material hasta que se acerque al límite líquido y se prepara de igual modo que en el ensayo por vía húmeda, se le agregara agua hasta que alcance la consistencia necearía según sea el método a utilizar, "A" o "B".

Ensayo para el método "A":

- Se remezcla completamente el espécimen, ajustando el contenido de agua para que adquiera la consistencia requerida para que sean necesarios entre 25 a 35 golpes en la cazuela para cerrar la ranura que se forma en el suelo con ayuda del ranurador.

- Se coloca una cantidad de material necesaria en la cazuela, de tal forma que el material en su parte más gruesa no exceda un espesor de 10 mm, se debe usar el menor número de pasadas con la espátula para evitar que se capturen burbujas de aire.
- Se realiza una ranura con el ranurador empezando desde la parte más alta de la cazuela hasta la parte donde la cazuela descansa sobre la base. El ranurador debe permanecer perpendicular al punto de contacto, dando como resultado un arco. En suelos en los que no se puede hacer la ranura con una sola pasada firme se podrá hacer con varias pasadas cuidando de no desgarrar el material y que la muestra no se deslice sobre la superficie de la cazuela.
- Se verifica que no haya quedado material en la ranura y en la base de la cazuela, posteriormente se comienza a girar la manivela para que se produzcan los golpes que se irán contando, hasta que las dos mitades del material en la cazuela se toque a lo largo de la ranura aproximadamente 13 mm (1/2”).
- Si durante el procedimiento el suelo se cierra repentinamente por causa de una burbuja contenida se repondrá el material de la ranura y se volverá a realizar la ranura. Y se volverá a realizar el procedimiento con la cazuela. Si el material se desliza en la cazuela se le añadirá agua a la mezcla para volver a colocarla en la cazuela de casa grande, si el problema persiste durante varias intentos con una mayor cantidad de humedad o si el suelo requiere siempre menos de 25 golpes para que se cierre la ranura, se informa que no es posible determinar el límite líquido del suelo y que el suelo es no plástico (NP), sin que sea necesario realizar el ensayo de límite plástico.

- Se registra el número de golpes de (N), requerido para cerrar a ranura en la longitud indicada (1/2"). De cada muestra ensayada en la cazuela se saca una porción de suelo para realizar el ensayo de contenido de agua según la INVE 122-13.
- Se remezcla el suelo que fue utilizado y el que no, para volver a aumentar el contenido de humedad y se volverá a realizar el procedimiento de ranurado y de golpes.

Ensayo para el método "B":

- ✓ Se prepara el espécimen de igual modo que en el método "A", excepto que la cantidad de agua añadida debe ser para alcanzar una consistencia necesaria que la ranura se cierre entre 20 a 30 golpes en la cazuela.
- ✓ Si durante el ensayo la cantidad es menor a 20 golpes o mayor a 30 golpes, se deberá ajustar la muestra para acércala a la consistencia necesaria para el ensayo.
- ✓ Si durante el ensayo los golpes necesarios para cerrar la ranura en una longitud de 13 mm, se tomara una muestra para determinar el porcentaje de húmeda según la INVE 122-13.
- ✓ Se recupera la forma del suelo en la cazuela añadiendo una pequeña cantidad de suelo preparado y se volverá a realizar el ensayo, si la cantidad de golpes difiere en más de 2 golpes necesarios para cerrar la ranura, se volverá a repetir el ensayo descartando la humedad tomada para el primer ensayo, se repetirán los pasos anteriores hasta que los golpes necesarios



para cerrar la ranura en los dos ensayos sea igual o que no difieran en más de dos golpes.

▪ **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS:**

- ✓ Se deben tomar una porción de 20 g, o un poco más, del suelo preparado para el ensayo del límite líquido (LL). además se puede utilizar el que se utilizó para el ensayo. Como este suelo tiene una considerable cantidad de agua se debe reducir el contenido de agua hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos, esto se puede realizar mezclándolo sobre un vidrio o en el mismo recipiente de almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar utilizando un ventilador o poniendo un papel que pueda adsorber el exceso de agua sin dañar las fibras del suelo.
- ✓ Del espécimen preparado se escogen de 1.5 g a 2.0 g, con la cual se forma una masa elipsoidal
- ✓ Se hace rodar la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos contra la placa de vidrio, con la presión necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud, el rollo se tornará más delgado por cada movimiento de la mano, el diámetro final debe alcanzar 3.3 mm (1/8"). La velocidad de enrollamiento para la mayoría de suelos es de 80 a 90 movimientos de la mano, entendiéndose que cada movimiento es el movimiento hacia adelante y hacia atrás de la mano. Para verificar el diámetro final del rollo se puede comparar con una varilla o tubo de 1/8" como punto de comparación.



- ✓ Cuando el rollo alcance el diámetro deseado, este se divide en varios pedazos. Se vuelve amasar este suelo con los dedos hasta nuevamente formar la masa elipsoidal, se repite este procedimiento, partiendo, juntando, amasando y enrollando, hasta que el rollo de 3.2 mm de diámetro se desmorone con la presión necesaria para enrollarlo y que el suelo no se pueda enrollar más a un diámetro de 3.2 mm. No es importante si cuando se esté formando el rollo este se divida en varios pedazos, pero cada uno debe ser del diámetro de 1/8". Este proceso acabara hasta que al juntar el rollo o los rollos de 3.2 mm no 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. Es posible que el desmoronamiento del rollo sea cuando tiene un diámetro mayor a 3.2 mm. El desmoronamiento se puede manifestar en diferentes formas dependiendo el tipo de suelo.
- ✓ Se recogerán los rollos o el rollo formado y se colocaran en un recipiente para realizar el ensayo de contenido de agua, según la INVE 122-13. Se debe realizar varios procedimientos descritos anteriormente para que el recipiente tenga aproximadamente 6 g de suelo para realizar el ensayo de contenido de agua.
- ✓ Para un mejor resultado se deben obtener dos recipientes de 6 g de suelo aproximadamente, para realizar el ensayo de humedad.

❖ **CÁLCULOS****CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS:****Método “A”:**

- ✓ Se realizara el cálculo del contenido de humedad por medio de la siguiente expresión:

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

- ✓ Se realiza la gráfica de fluidez, que representa la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la cazuela, se dibuja en un gráfico semi-logarítmico, con el porcentaje de humedad en las ordenadas en la escala aritmética y la abscisa los números de golpes en la escala logarítmica. La curva de fluidez es una línea recta que pasa tan cerca de los tres puntos o más dibujados, como sea posible.
- ✓ El límite liquido será la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes se toma como límite liquido del suelo y se redondea al número entero más cercano. También se podrá utilizar un método de cómputo sustantivos del método gráfico, para ajustar los datos a una línea recta y determinar el límite liquido como la pendiente de esta.

Método “B”:

- ✓ Se calcula el contenido de agua para las dos muestras de igual manera que en el método “A”

- ✓ Se calcula el límite líquido de cada porción con alguna de las dos fórmulas siguientes:

$$LL_N = W_N \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121}$$

O:

$$LL_N = K \times W_N$$

Donde:

- LL_N : Límite líquido a partir de un punto, para un tanteo, %
- W_N : Contenido de agua para un tanteo.
- N: Número de golpes para que se cierre la ranura en un tanteo.
- K: Factor de corrección, ver tabla 1.

Tabla1. Factor de corrección K, para obtener LL.

NÚMERO DE GOLFES 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

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 125-13

- ✓ Se tomará como LL el promedio entre los valores obtenidos en los tanteos, el valor será aproximado al entero más cercano. Si la diferencia entre los

dos valores redondeados es mayor de uno (1), se volverá realizar el ensayo.

CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS:

Se calcula el contenido de agua de las dos muestras tomadas, y se realiza el promedio de las dos humedades, aproximando los resultados al entero más cercano. El promedio se tomará como el límite plástico (LP). El ensayo se deberá repetir si la diferencia entre las dos humedades 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). En las siguientes tablas están los rangos aceptables.

Tabla 2. 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

Fuente: Instituto nacional de vías, INVE 126-13.

Tabla 3. 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

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 126-13

- ✓ El índice de plasticidad será igual a:

$$IP=LL-LP$$

Donde:

- IP: índice de plasticidad.
 - LL: limite líquido
 - LP: limite plástico.
-
- ✓ Si el LL o el LP no se pueden determinar, o si el LP es igual o mayor que el LL se informara que el suelo es no plástico, NP.

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 125-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 126-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 4

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
INV E - 125 - 13
Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
INV E - 126 - 13

DOCENTE

GRUPO:

NOTA:

CÓDIGO(S):

ESTUDIANTES (S):

HOJA: 1 DE 2

ASIGNATURA:

LABORATORIO No.:

FECHA PRACTICA:

FECHA ENTREGA:

DATOS DE RECIPIENTES	LÍMITE PLÁSTICO, LP		LÍMITE LÍQUIDO, LL					
	1	2	1	2	3	4	5	
RECIPIENTE NUMERO								
Wc: PESO DEL RECIPIENTE, g								
W1: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA, g								
W2: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA, g								
Ww: PESO DEL AGUA, g								
Ws: PESO DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS, g								
W: CONTENIDO DE HUMEDAD, %								
PROMEDIO DE LP								

Contenido de Humedad vs Número de Golpes



DESCRIPCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA:

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO :



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

Borrador

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS

INV E – 123 – 13

❖ OBJETIVOS

- Determinar la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo, tanto en la parte de finos y gruesos.
- Clasificar el tipo de suelo por los dos métodos de clasificación de suelos.
- Determinar el posible uso del suelo en proyectos de ingeniería.

❖ MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO

Un análisis granulométrico consiste en poder separar los diferentes tamaños de partículas presentes en la muestra del suelo, esto se realiza por medio de una serie de tamices de diferentes diámetros en sus mallas.


Usualmente los resultados obtenidos se refleja en un gráfico granulométrico que se suele dibujar con porcentajes en las ordenadas y como abscisa los tamaños de las partículas. La representación en escala semilogarítmica, siendo el eje de las abscisas en escala logarítmica, sirve para dar una mejor claridad al grafico puesto que en la escala semilogarítmica tenemos una mayor amplitud en los tamaños, mientras que en escala natural resultan muy comprimidos evitando una buena compresión de los resultados.

En este ensayo la distribución de las partículas mayores de 75 μm (retenidas en el tamiz No. 200) se determina por tamizado mientras que las partículas menores a 75 μm (pasa tamiz No. 200) se determinan por un proceso de sedimentación empleando un hidrómetro. Para obtener una separación uniforme en el gráfico de los puntos se puede utilizar la siguiente serie de tamices:

75 mm (3")	1.10 mm (No. 16)
37.5 mm (1-1/2")	600 μm (No. 30)
19.0 mm (3/4")	300 μm (No. 50)
9.5 mm (3/8")	150 μm (No. 100)
4.75 mm (No. 4)	75 μm (No. 200)
2.36 mm (No. 8)	

Juárez Badillo- Rico Rodríguez expone en su libro Mecánica de Suelos que “el comportamiento mecánico e hidráulico esta principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, características que destruye, por la misma manera de realizarse, la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales se ha tenido que perder toda huella de aquellas propiedades tan decisivas. De esto se desprende lo muy deseable que sería poder hacer una investigación granulométrica con un método tal que respetara la estructuración inalterada del material; este método, sin embargo, hasta hoy no se ha encontrado y todo parece indicar que no se podrá desarrollar jamás”¹.

❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
---	--

¹ JUÁREZ, Eulalio; RODRÍGUEZ, Alfonso, Mecánica De Suelos, Tomo 1. México D.F: Editorial Limusa, 2005.

	<p>Tamices de mala cuadrada.</p>
	<p>Hidrómetro</p>
	<p>Pala o cucharón: Para llenar el recipiente.</p>

❖ **MUESTRA**

La muestra se preparara según la INVE 106-13 "PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA SECA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y

DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS”, la cual describe el siguiente procedimiento para las muestras para el análisis granulométrico:

- Se debe secar al aire o al horno que no exceda de 60°C, la muestra de suelo.
- Con la muestra ya seca se realizara en una superficie uniforme un circulo con el suelo y se dividirá en cuatro partes iguales el circulo, se tomara como muestra para el ensayo se tomara las dos partes opuestas del círculo.
- Se realizara una separación de la muestra por medio del tamiz No. 10. La fracción retenida en el tamiz se disgrega en el mortero hasta que los terrenos del suelo queden separados en granos individuales, a continuación, el suelo pulverizado se separa en dos fracciones usando el tamiz No. 10.
- Se debe lavar la fracción retenida en el tamiz No. 10 durante el segundo tamizado, hasta liberarla de las partículas finas adheridas.
- Se mezclaran completamente las fracciones pasantes por el tamiz No. 10 en las dos operaciones de tamizado.

Para el ensayo se deberá utilizar tanto la parte de suelo que fue retenido en tamiz No. 10 como la que paso el tamiz. Las cuáles serán ensayadas por separado.

Para la porción de suelo retenido en el tamiz No. 10 la masa dependerá del tamaño máximo de las partículas, como se indica a continuación:

Diámetro nominal de las partículas mayores	Masa mínima aproximada de la porción, g
9.5 mm (3/8")	500
19.0 mm (3/4")	1000
25.4 mm (1")	2000
38.1 mm (1 1/2")	3000
50.8 mm (2")	4000
76.2 mm (3")	5000

La parte que pasa el tamiz No. 10 la masa será aproximadamente de 115g para suelos arenosos y de 65 g para suelos limosos y arcillosos.

Nota: Para realizar el tamizado se podrá utilizar en vez del tamiz No. 10 el tamiz No. 4 (4.75 mm), el tamiz No. 40 (425 μ m) o en el tamiz No. 200 (75 μ m), se debe reportar en que tamiz se realizó.

❖ PROCEDIMIENTO

Método para la Fracción Retenida en el Tamiz No. 10 (2.0 mm):

- Se toma la masa de la muestra inicial.
- Se pasa toda la fracción retenida en el tamiz No. 10 por una serie de tamices, empezando por el tamiz de 3" hasta llegar al tamiz No. 10.
- Para realizar el tamizado manual se deberá sacudir el tamiz o los tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias, de tal manera que la muestras se mantengan en constante movimiento dentro de los tamices o tamiz, no se podrá manipular manualmente las partículas del suelo para que estas pase por la malla del tamiz, si quedan partículas atrapadas en la malla del tamiz se deberán sacar con una brocha o cepillo y estas partículas se pondrán con las que fueron retenidas en el tamiz.
- Se tomará la masa de cada fracción retenida en cada tamiz.
- Se comprueba que la suma de todas las fracciones y la masa de la muestra inicial no debe exceder en más de 1%, de lo contrario se deberá repetir el ensayo.

Método para la Fracción que Pasa el Tamiz No. 10 (2.0 mm):

- Se determinara la corrección compuesta para la lectura del hidrómetro, descrita en la INVE 123.
- Se determinara el contenido de humedad higroscópica para una porción de la muestra secada al aire, la masa de la muestra para la determinación de la higroscópica debe estar entre 10 a 15 g, la determinación de la humedad se realizara de manera similar a la determinación de la humedad Natural descrita en la INV E 122-13.
- Se realizara la dispersión de la muestra cómo se describe en la INV E 123-13 numeral 6.3. Básicamente el método de dispersión consiste en que en un recipiente de un volumen de 250 ml se coloca la muestra y se le adiciona 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/litro). Donde se agitara y se dejara reposar durante 16 horas como mínimo, para garantizar una saturación de la muestra. Posteriormente se volverá a realizar una dispersión de la muestra por medio de algún equipo agitador, descritos en la norma INVE 123-13 numeral 6.3.3, 6.3.4 y 6.3.5.
- Terminada la dispersión, se procederá a realizar el ensayo del hidrómetro, el cual se basa en los tiempos de sedimentación de las partículas dentro de una probeta. Los intervalos de tiempo en los que se debe tomar las lecturas son: 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos. Y se realizará lo descrito en la INV E 123-13 para la correcta toma de datos con el hidrómetro.
- Una vez terminada la lectura con el hidrómetro se procederá a pasar la muestra de la probeta a un tamiz No. 200, y se lavara el material en este tamiz hasta que el lavado quede de color claro, posteriormente se pondrá a secar en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.



- Secada la muestra al horno se procede a realizar un tamizado por diferentes tamices inferiores al tamiz No. 10 hasta el tamiz No 200.
- Se tomará la masa de cada fracción retenida en cada tamiz.

❖ CÁLCULOS

Fracción Retenida en el Tamiz No. 10 (2.0 mm):

- **Factor de Corrección:** Es el factor entre la masa del suelo secado al horno y la masa del suelo seco al aire antes de colocarlo en el horno. Este valor es menor a 1, excepto cuando no hay humedad.
- **Peso de la Muestra Corregido:** Se multiplica el peso de la muestra retenida en el tamiz por el factor de corrección previamente encontrado.
- **Porcentaje de Retenido:** Se divide la masa total retenida en el tamiz por la masa total de la muestra y se multiplica por 100.
- **Porcentaje de Retenido Acumulado:** Será la suma entre el acumulado anterior más el porcentaje retenido en el tamiz, el acumulado del primer tamiz será el porcentaje retenido en este mismo.
- **Porcentaje que pasa:** Es la diferencia entre el 100% y el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz.

Fracción que Pasa el Tamiz No. 10 (2.0 mm):

- **Porcentaje de suelo en suspensión:** Se calcula la masa seca al horno del suelo empleado en el ensayo del hidrómetro, multiplicando la masa del suelo seco al aire por el factor de corrección por humedad higroscópica.
- **Calculo de “W” de la ecuación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión:** Se divide la masa seca utilizada en el ensayo del hidrómetro, por la masa seca utilizada por el porcentaje pasante del tamiz No. 10, el resultado se multiplica por 100.
- **Porcentaje de suelo que permanece en suspensión:**

- **Hidrómetro 151 H:**

$$P = \left[\left(\frac{100\ 000}{W} \right) \times \frac{G}{(G - G_1)} \right] (R - G_1)$$

- **Hidrómetro 152 H:**

$$P = \left[\frac{R \times a}{W} \right] \times 100$$

Donde para ambas ecuaciones:

- P: Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel al cual midió el hidrómetro la densidad de la suspensión;
- G: Gravedad específica de las partículas del suelo;
- G₁: Gravedad específica del líquido dentro del cual están suspendidas las partículas del suelo. Se usa un valor numérico de uno (1) en los dos casos en que este valor está colocado en la ecuación del hidrómetro 151 H. En el



primero, cualquier variación posible produce un efecto insignificante en el resultado, mientras que en el segundo, la corrección compuesta para R se basa en un valor de uno (1) para G_1 ;

- R: Lectura del hidrómetro con la corrección compuesta aplicada.
- W: Masa del suelo seco al horno en una muestra de ensayo total representada por la masa de suelo dispersado, g.
- a: Factor de corrección por aplicar a la lectura del hidrómetro 152 H. Los valores mostrados en la escala del hidrómetro se basan en una gravedad específica de 2.65; por lo tanto, es necesaria una corrección si la gravedad específica del suelo es diferente (Ver Tabla 1).

Tabla No.1: Valores del factor de corrección (a) para diferentes gravedades específicas de las partículas de suelo

GRAVEDAD ESPECÍFICA	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 123-13

- **Diámetro de las partículas de suelo:** Se calcula de acuerdo a la ley de Stokes:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

Donde:

K: constante que depende de la gravedad específica del suelo y de la temperatura de la suspensión. Ver tabla 2.

Tabla No.2: Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Para: η en (g/cm.s); γ_w en (g/cm³); L en (cm); T en (min.)

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 123-13

- **Análisis del tamizado para la porción que pasa el tamiz No.10:** Se calcula la masa de la fracción que debía haber sido retenida en el tamiz No. 10, si no se hubiera removido. Esta masa es igual al porcentaje total retenido en el tamiz No. 10 menos el porcentaje que pasa, se multiplica por la masa total utilizada y dividiendo el resultado por 100.
- Se calcula masa pasante por el tamiz No. 200, se calcula sumando la masa la masa retenida en cada tamiz incluyendo la retenida en el No.10 y se resta esta sumatoria a la masa total del ensayo.
- Se calcula la masa total que pasa por cada tamiz de manera similar al cálculo a la descrita anteriormente en la porción que fue retenida en el tamiz No. 10.



- Se calcula el porcentaje total que pasa, dividiendo la masa total pasante por cada tamiz por la masa total y se multiplica por 100, de manera similar a la descrita en los cálculos de la porción retenida en el tamiz No.10.
- **Gráfica:** Se debe realizar una gráfica con los resultados de los ensayos colocando los diámetros de las partículas en una escala logarítmica de abscisas y los porcentajes menores que los diámetros correspondientes, en una escala aritmética de ordenadas.

❖ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 123-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.
- JUÁREZ, Eulalio; RODRÍGUEZ, Alfonso, Mecánica De Suelos, Tomo 1. México D.F: Editorial Limusa, 2005.



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 5

DOCENTE

DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS
SUELOS
INV E - 123 - 13

GRUPO:

NOTA:

CÓDIGO(S):

ESTUDIANTES (S):

HOJA : 1 DE 3

ASIGNATURA: _____
LABORATORIO No.: _____
FECHA PRACTICA: _____
FECHA ENTREGA: _____

MASA MUESTRA TOTAL: _____
MASA RETENIDA TAMIZ No. ____: _____
MASA PASANTE TAMIZ No. ____: _____
MASA PASANTE TAMIZ No. 200: _____

MASA MUESTRA SECA AL AIRE: _____
MASA MUESTRA SECA EN HORNO: _____
HUMEDAD: _____
FACTOR DE CORRECCIÓN: _____

DATOS PARA LA HUMEDAD

RECIPIENTE NUMERO _____
Wc: PESO DEL RECIPIENTE, g _____
W1: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA, g _____
W2: PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA, g _____

TAMIZ N° Pulgada	ABERTURA DEL TAMIZ mm	PESO DE LA MUESTRA RETENIDA g	PESO DE LA MUESTRA CORREGIDA g	PORCENTAJE RETENIDO %	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO %	PORCENTAJE QUE PASA %
4"	100,00					
3"	75,00					
2 1/2"	63,50					
2"	50,00					
1/2"	37,50					
1"	25,00					
3/4"	19,00					
1/2"	12,50					
3/8"	9,50					
N° 4	4,75					
N° 80	2,00					
N° 20	0,850					
N° 40	0,425					
N° 50	0,300					
N° 60	0,250					
N° 80	0,180					
N° 100	0,150					
N° 200	0,075					

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO :

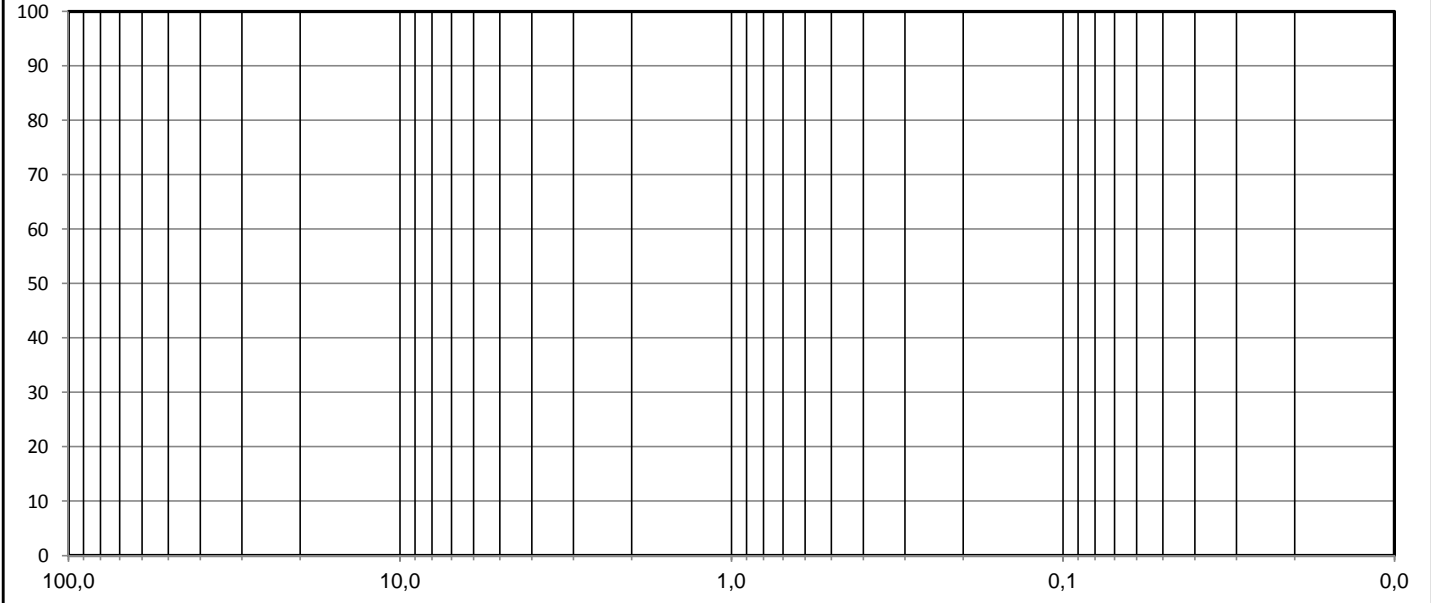


T (min)	TEMP °c	LECTURA HIDROMETRO	LECTURA CORREGIDA	% MAS FINO	CORRECCION R	L/t	K	D (mm)

PORCENTAJES DE GRAVAS Y ARENAS:

TAMAÑO MAXIMO _____

Curva Granulometrica



GRAVA: _____ %
 ARENA GRUESA: _____ %

ARENA MEDIA: _____ %
 ARENA FINA: _____ %
 LIMOS Y ARCILLAS: _____ %



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

BORRADOR

PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE)

INV E – 130 – 13

❖ OBJETIVOS

- Determinar el coeficiente de permeabilidad mediante el método de cabeza constante.

❖ MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO

Este procedimiento está destinado para determinar valores significativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares alterados que no contengan más del 10% de material que pase el tamiz No. 200. Esto con el fin de limitar las influencias de consolidación durante el ensayo.

Según Joseph Bowles, “El coeficiente de permeabilidad es una constante de proporcionalidad relacionada con la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso.”².

Para la determinación del coeficiente de permeabilidad en suelos granulares existen dos tipos de métodos, de cabeza constantes y de cabeza variable. Estos métodos se basan en la ley de Darcy:

$$v = ki$$

O en términos de caudal unitario:

² BOWLES, Joseph. Manual de laboratorios de suelos en ingeniería civil. 2 ed. Bogotá: Editorial McGRAW-HILL LATINOAMERICANA S.A., 1980 p. 97.

$$q = kiA$$

Donde:

- V: velocidad media del flujo.
- K: Coeficiente de permeabilidad.
- i: gradiente hidráulico = h/L
- h: diferencia de cabezas hidráulicas a lo largo de la muestra.
- L: longitud de la muestra a través de la cual se mide h.
- A: área de la sección transversal de la masa de suelo en consideración.

En este ensayo se deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Continuidad de flujo, sin cambio de volumen del suelo durante el ensayo.
- La muestra debe estar saturada y sin burbujas de aire.
- No debe haber cambio en el gradiente hidráulico.
- Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, a partir de los cuales se inicia el flujo turbulento.

❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
---	--

	<p>Permeámetros: Debe cumplir con lo estipulado en la INVE 130-13. (imagen tomada de INVE 130-13)</p>
	<p>Bomba de vaco: para evacuar y saturas de suelo bajo vacío completo.</p>
	<p>Cronometro</p>

A continuación se presentan los diámetros mínimos para el cilindro según sea el tamaño de las partículas:

Tabla 1: Diámetro del cilindro

EL TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA SE ENCUENTRA ENTRE LOS TAMICES DE ABERTURAS	DIÁMETRO MÍNIMO DEL CILINDRO			
	MENOS DE 35 % RETENIDO EN EL TAMIZ:		MÁS DE 35 % RETENIDO EN EL TAMIZ:	
	2.00 mm (No. 10)	9.5 mm (3/8")	2.00 mm (No. 10)	9.5 mm (3/8")
2.00 mm (No. 10) y 9.5 mm (3/8")	76 mm (3")	-	114 mm (4.5 mm)	-
9.5 mm (3/8") y 19.0 mm (¾")	-	152 mm (6")	-	229 mm (9")

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 130-13

❖ MUESTRA

El espécimen para el ensayo se obtendrá por cuarteo de una muestra secada al aire y que no tenga más del 10% de finos.

❖ PROCEDIMIENTO

- Se deben tomar las medidas del permeámetro anotándolas en el formato en el espacio indicado.

D: diámetro interior del permeámetro.

L: Longitud entre las salidas del permeámetro.

H1: profundidad.

A: sección transversal de la muestra.

- De la muestra previamente cuarteada para determinación de humedad, y determinaciones de peso unitario.

- Se coloca el suelo preparado de las siguientes maneras, según corresponda. Se debe colocar en capas delgadas uniformes tras la compactación, el espesor de las capas deben ser aproximadamente al tamaño máximo de la partícula, pero no menor de unos 15 mm (0.60”).
 - Para suelos de tamaño máximo de 9.5 mm (3/8”) o menos, se coloca en el aparato de permeabilidad el embudo de tamaño apropiado, haciendo contacto con el conducto con la placa porosa o filtro. El embudo se llenara con suelo escogido de sitios diferentes de la bandeja. El embudo se levanta a una altura de 15 mm o aproximadamente a la altura de la capa o consolidada, el contenido del embudo se distribuirá de manera uniforme en la superficie con movimientos en espiral. Se debe mezclar el suelo antes de poner la siguiente capa.
 - Para suelos con tamaño máximo mayor de 9.5 mm, se deberá distribuir el suelo con un cucharón. Se debe inclinar el cucharón de tal manera que el suelo caiga de manera suave y uniforme al fondo del cilindro o encima de la capa anterior. Se debe girar el cilindro para la cuchara siguiente, se debe iniciar desde el centro del cilindro progresando así en torno al perímetro interior para formar una capa uniforme compactada, de espesor igual al tamaño máximo de la partícula.

- Las capas se compactaran de manera que se alcance la densidad relativa deseada, a continuación se describen los métodos:
 - Para una densidad relativa mínima (0%), se llenará el recipiente simplemente hasta alcanzar apropiadamente el cilindro.



- Para una densidad relativa del 100%, se puede hacer el compactado por medio de pisón vibratorio, compactación mediante pison de peso deslizante o la compactación se podrá hacer mediante otros medios.
 - Para una densidad relativa entre 0 y 100%, En un recipiente aparte con el mismo diámetro del permeámetro, se preparara la muestra a la densidad relativa solicitada por tanteos, posteriormente se compacta la muestra en el cilindro según el número de golpes o tiempo de vibración establecido en los tanteos.
-
- Posteriormente de haber compactado el suelo se realizara el emparejamiento de la parte superior del espécimen con la malla o la placa porosa.
 - Se toma la medida final del espécimen (H1-H2), se toma la masa del suelo (M1-M2), siendo M2 el sobrante en la bandeja. Se calculan las masas unitarias, la relación de vacíos y la densidad relativa de la muestra del ensayo.
 - Se debe garantizar el sello hermético del permeámetro, para evitar el cambio de la densidad durante el ensayo.
 - Con un equipo de bomba de vacío, se debe aspirar el aire entre los vacíos y lo adherido a las partículas, esto se logra dejando la muestra durante 15 minutos bajo 500 mm de mercurio. Se continua el procedimiento con la saturación del espécimen que debe ser de abajo hacia arriba, en vacío total.
 - Después de terminada la saturación, se cierran las válvulas y de desconecta la bomba de vacío, se debe constatar que en el montaje no hayan quedado burbujas de aire atrapadas.

- Se abre ligeramente la válvula de admisión del tanque para la primera prueba, hasta que se alcance las condiciones de cabeza constante sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Se anotan el tiempo “t”, la cabeza “h” (diferencia entre los tubos manométricos), el gasto “Q” y la temperatura del agua.
- Se repiten las pruebas con incrementos de cabeza de 0.5 cm, esto se hace con el fin de establecer exactamente la región de flujo laminar con velocidad “v” directamente proporcional al gradiente hidráulico “i”. los valores del gradiente hidráulico que se recomiendan para alcanzar el flujo laminar son: para compacidad suelta de 0.2 a 0.3, y para compacidad densa el gradiente es de 0.3 a 0.5.
- Al terminar el ensayo se verifica visualmente la muestra para establecer si era homogénea o presenta segregación de finos.

NOTA:

- *Los datos deberán ser anotados en el formato perteneciente a esta guía de laboratorio.*

❖ **CÁLCULOS**

Se calcula el coeficiente de permeabilidad con la siguiente expresión:

$$k = \frac{QL}{Ath}$$

Donde:

- K: coeficiente de permeabilidad.
- Q: Gasto.
- L: distancia entre manómetros.
- A: área transversal de la muestra.
- t: tiempo total de desagüe.
- h: diferencia de cabeza en los manómetros.

Se debe realizar una corrección de la permeabilidad a 20°C, multiplicando el coeficiente K por la relación entre la viscosidad dinámica (Kg/m.s) del agua a la temperatura del ensayo y la viscosidad del agua a 20°C.

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 130-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.
- BOWLES, Joseph. Manual de laboratorios de suelos en ingeniería civil.2 ed. Bogotá: MCGRAW-HILL LATINOAMERICANA S.A., 1980.



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

BORRADOR

**RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS
(ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)**

INV E – 142 – 13

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar la relación entre humedad y peso unitario seco de los suelos, óptima.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

Este ensayo se realiza con un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro, con un martillo de 44.48 N (10 lbf) que cae libremente desde una altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN–m/m³ (56 000 lbf–pie/pie³).

Estos métodos aplican solamente a suelos con 30% o menos de su masa con tamaño mayor a 19.0 mm y que no hayan sido compactados previamente; es decir, no se acepta la reutilización de un suelo compactado.

Los métodos que se pueden utilizar son:

Figura 1. Métodos de ensayos.

MÉTODO	A	B	C
DIÁMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	5	5	5



MÉTODO	A	B	C
GOLPES/CAPA	25	25	56
USO	Si 25 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25 % de la masa, se puede usar el Método A, pero se requerirá la corrección por sobretamaños (Ver numeral 1.4) y, en este caso, el uso del Método A no reportará ninguna ventaja	Si 25 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8"). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25 % de la masa, se puede usar el Método B, pero se requerirá la corrección por sobretamaños (Ver numeral 1.4). En este caso, la única ventaja de usar el Método B en lugar del Método C, es que se necesita menos cantidad de muestra y el molde pequeño es más fácil de usar	Si 30 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") (Ver numeral 1.4)
OTRO USO	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se deben usar los Métodos B o C	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	

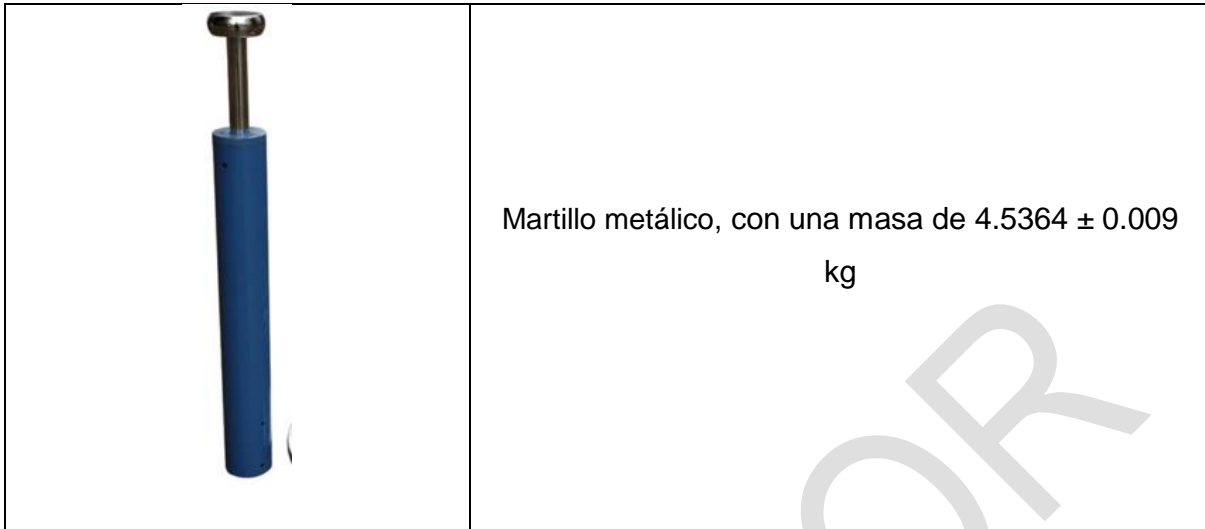
Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 142-13.

- **Peso unitario seco máximo:** El máximo valor definido en la curva de compactación obtenida como resultado del ensayo
- **Humedad óptima del ensayo modificado de compactación:** La humedad de moldeo con la cual el suelo alcanza el peso unitario seco máximo usando la energía normalizada.



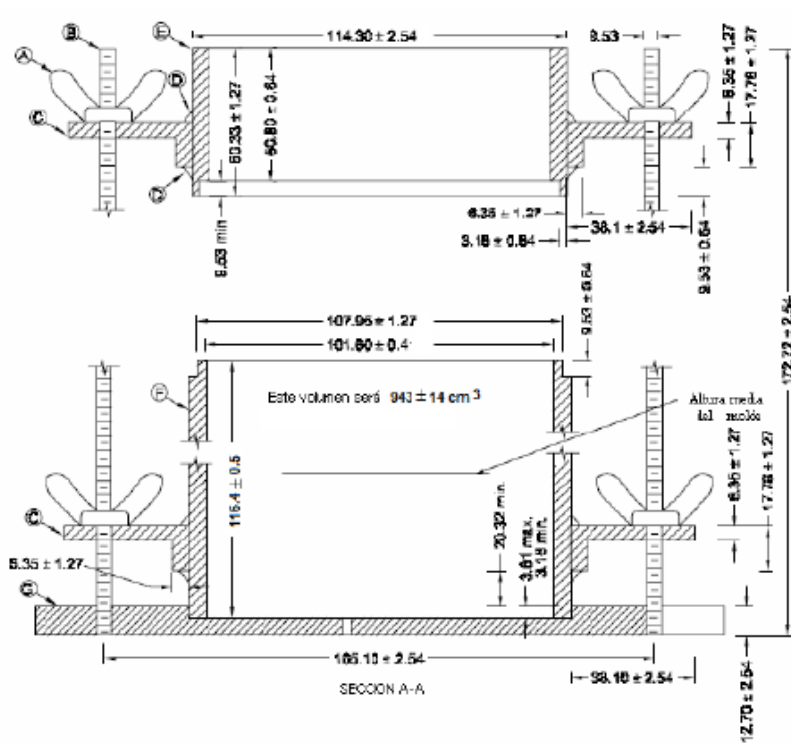
❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
	<p>Horno: debe permitir una temperatura uniforme, de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.</p>
	<p>Recipiente para las muestras, preferiblemente metálico que soporte cambios de temperatura.</p>
	<p>Moldes que cumplan la normatividad.</p>



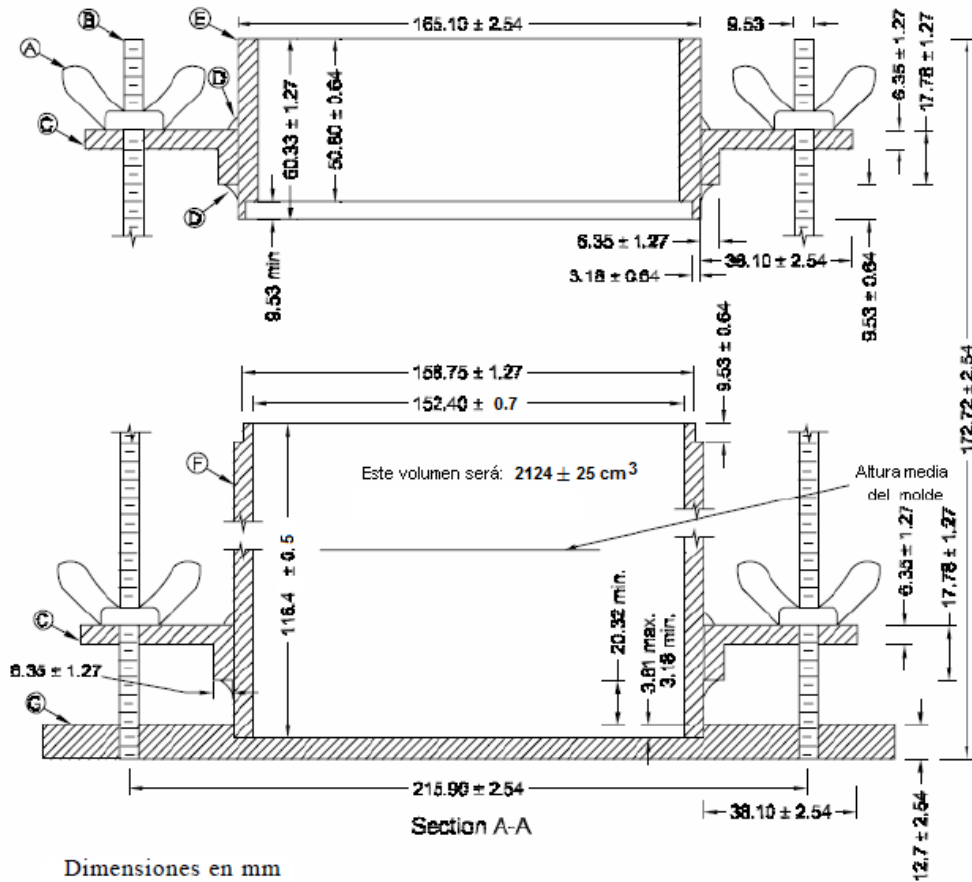
Los moldes podrán ser de 4" o 6".

Figura 2. Molde de 4"



Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 142-13

Figura 3. Molde de 6"



Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 142-13

❖ MUESTRA

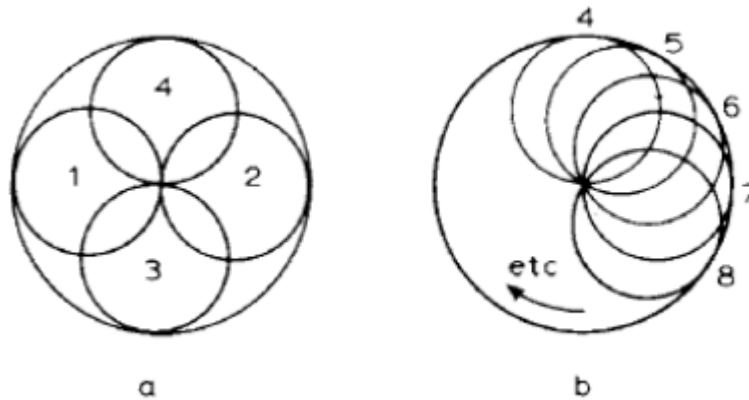
La cantidad mínima de muestra para un ensayo completo empleando los Métodos A o B es de unos 16 kg, y para el Método C de 29 kg. Por lo tanto, la muestra de campo debería tener una masa húmeda de, al menos, 23 kg y 45 kg, respectivamente. Se pueden requerir masas mayores si la muestra contiene sobre tamaños o si es necesario elaborar puntos de compactación adicionales.

❖ **PROCEDIMIENTO**

- Se verifica por medio de tamizado que la condición de la muestra para este ensayo se cumpla, una vez verificada se preparan las muestras para el ensayo como mínimo 4 muestras.

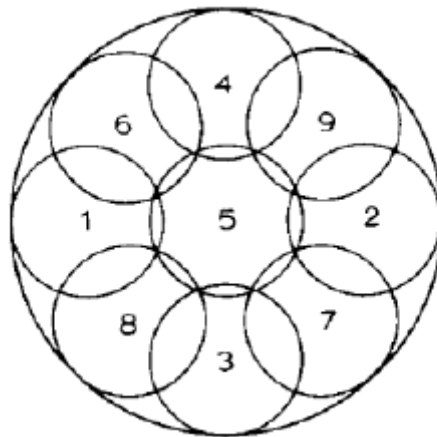
- Se comienza con la compactación de la siguiente manera:
 - Se determina la masa del molde seco y limpio
 - Se asegura el collar de extensión al molde.
 - El suelo se debe compactar en cinco capas más o menos iguales. El suelo se deberá compactar usando un cilindro de 50 mm de diámetro (2").
 - La cantidad total de suelo usada deberá ser tal, que la quinta capa compactada sobrepase el borde del molde, quedando dentro del collar de extensión, pero en una longitud que no exceda de 6 mm (¼"). Si se excede este límite, se deberá descartar el punto de compactación.
 - Cada capa se compacta con 25 golpes cuando está en el molde de 101.6 mm (4") y con 56 golpes cuando está en el molde de 152.4 mm (6").
 - Al operar el martillo manual, se debe tener cuidado para evitar levantar la camisa guía durante la carrera ascendente del martillo. Los golpes deberán ser sobre toda la superficie de la siguiente manera según sea el martillo que se use:

Figura 4: patrón de golpes para e martillo de 4".



Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 142-13

Figura 5: patrón de golpes para e martillo de 6".



Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 142-13

- ✓ Una vez terminada la compactación, se retira el collar de extensión y se realiza el enrase del material, con ayuda de una regla u otro elemento que permita esta operación, los orificios que se provoquen deberán ser rellenados con material con suelo no usado en el ensayo.



- ✓ Se determina y anota la masa del recipiente con el material. Y se extrae la muestra del molde y se escoge una parte de la muestra para la determinación de su humedad. Según INVE 122-13.
- ✓ Se realiza el mismo procedimiento con cada una de las muestras. Hasta obtener por lo menos cuatro puntos para realizar la gráfica.

❖ CÁLCULOS

- ✓ **Densidad húmeda:** Se realizara el cálculo por medio de la siguiente expresión:

$$\rho_H = K \times \frac{M_T - M_{MD}}{V}$$

Donde:

- ρ_H : Densidad húmeda, g/cm³.
- M_T : Masa del suelo húmedo más recipiente, g.
- M_{MD} : Masa del molde compactación, g.
- V : Volumen del molde, cm³.
- K : Constante de conversión que depende de las unidades utilizadas.
 - Usar 1, para g/cm³ y volumen en cm³
 - Usar 1000 para g/cm³ y volumen en m³
 - Usar 0.001 para kg/cm³ y volumen en m³
 - Usar 1000 para kg/m³ y volumen en cm³

- ✓ **Densidad húmeda :**

$$\rho_d = \frac{\rho_H}{1 + \frac{w}{100}}$$

✓ **Peso unitario seco:**

$$\gamma_d = K_1 \times \rho_H \left[\frac{KN}{m^3} \right]$$

O

$$\gamma_d = K_2 \times \rho_d \left[\frac{lbf}{pie^3} \right]$$

Donde:

- γ_d : peso unitario seco.
- K_1 : Constante de conversión (9.8066 para densidad en g/cm^3 ; 0.0098066 para densidad en kg/m^3);
- K_2 : Constante de conversión (62.428 para densidad en g/cm^3 ; 0.062428 para densidad en kg/m^3).

- ✓ Se realiza la gráfica de compactación con los datos de humedad de moldeo y el peso unitario seco, de cada sub-muestra. El contenido de humedad que corresponda al punto más alto de la curva, se llamará “humedad óptima” (aproximada a 0.1 %), mientras que el peso unitario seco correspondiente al contenido óptimo de humedad, se denomina “peso unitario seco máximo” (aproximado a 0.02 kN/m^3 o 0.1 lbf/pie^3).
- ✓ Se dibuja la curva de saturación a partir de la gravedad específica estimada. Los puntos para dibujar esta curva se obtienen eligiendo valores del peso unitario seco y calculando la respectiva humedad de saturación, con la expresión:

$$W_{sat} = \frac{\gamma_w G_s - \gamma_d}{\gamma_d G_s} \times 100$$

Donde:

- γ_w : Peso unitario del agua a 20° C (9.789 kN/m^3 o 62.32 lbf/pie^3)
- G_s : Gravedad específica del suelo, aproximada a 0.01
- γ_d : Peso unitario seco del suelo con tres dígitos significativos, kN/m^3 o lbf/pie^3



NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

- ❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
 - MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 142-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.

BORRADOR



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

LABORATORIO: 7

RELACIONES HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN
LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE
COMPACTACIÓN)
INV E - 142 - 13

DOCENTE

GRUPO:

NOTA:

CÓDIGO(S):

ESTUDIANTE(S):

HOJA : 1 DE 2

ASIGNATURA: _____

LABORATORIO No.: _____

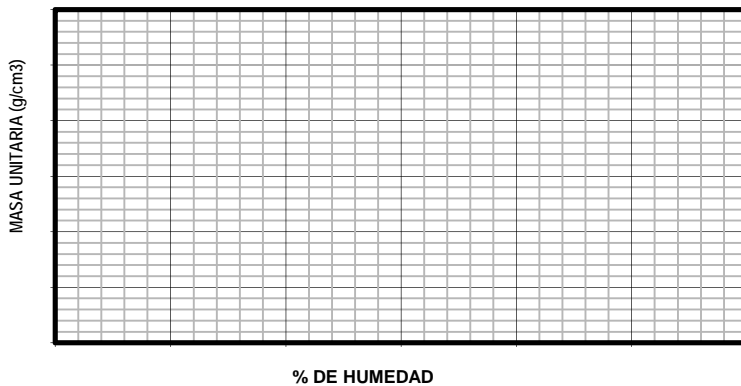
FECHA PRACTICA: _____

FECHA ENTREGA: _____

Datos de Compactación

ENSAYO No.	1	2	3	4	5
No. de capas					
Golpes por capa					
Molde No.					
Masa molde + material humedo (g)					
Masa molde (g)					
Masa material humedo (g)					
Volumen del molde (cm ³)					
Masa Unitaria Húmeda (g/cm ³)					
% de humedad					
Masa Unitaria Seca (g/cm ³)					
Humedad de Moldeo					
Masa recipiente + material humedo (g)					
Masa recipiente + material seco (g)					
Masa recipiente (g)					
% Humedad de Moldeo					
% Humedad natural del material					
% Humedad adicional					

CURVA DE COMPACTACION



CLASIFICACION DEL MATERIAL

Indice de plasticidad _____

U.S.C. _____

A.S.S.T.H.O. _____

Masa Unitaria Máxima (g/cm³) _____

% Humedad óptima _____

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO : _____

**CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE
MUESTRA INALTERADA
INV E – 148 – 13**

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar el índice de resistencia de los suelos de subrasante.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

El ensayo se realiza, normalmente, sobre una muestra de suelo preparada en el laboratorio en determinadas condiciones de humedad y densidad. Los pesos unitarios secos de los especímenes corresponden, generalmente, a un E 148 - 2 porcentaje del peso unitario seco máximo obtenido en el ensayo normal de compactación (INV E-141) o en el ensayo modificado (INV-142); pero, también, se puede operar en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

El ensayo CBR se utiliza en el diseño de pavimentos. En el ensayo, un pistón circular penetra una muestra de suelo a una velocidad constante. El CBR se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm (0.1 o 0.2") dentro de la muestra de ensayo, y el esfuerzo que se requirió para penetrar las mismas profundidades una muestra patrón de grava bien gradada.


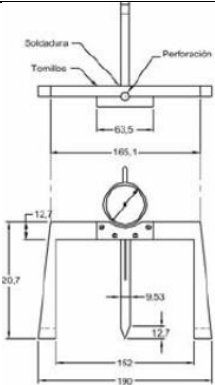
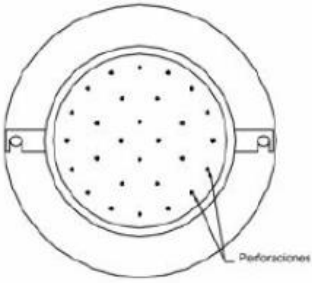
Este método de ensayo se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados, para su empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR

obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

❖ **EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
	<p>Horno: debe permitir una temperatura uniforme, de 110°C +- 5°C.</p>
	<p>Recipiente para las muestras, preferiblemente metálico que soporte cambios de temperatura.</p>
	<p>Moldes que cumplan la normatividad. imagen tomada de INVE 148-13.</p>



	<p>Martillo metálico, con una masa de 4.5364 ± 0.009 kg</p>
	<p>Trípode para medir expansión: según INVE 148-13, imagen tomada de INVE 148-13.</p>
	<p>Disco perforada según INVE 148-13, imagen tomada de INVE 148-13.</p>



Equipo de compresión: debe cumplir con especificaciones de la INVE 152-13, se puede graduar para este ensayo.

❖ MUESTRA

La muestra será la misma utilizada en el método c de las normas INVE 141 y 142, con la siguiente excepción:

Si todo el material pasa el tamiz de 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), se deberá usar la gradación entera, sin modificación, para preparar las muestras para fabricar los especímenes para ensayo. Si hay partículas retenidas en dicho tamiz, ellas se deberán remover y reemplazar por una cantidad igual, en masa, de material que pase el tamiz de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") y quede retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4), obtenido de porciones de la muestra total que no se van a usar para el ensayo.

❖ PROCEDIMIENTO

- Se determina humedad óptima del material según INVE 141 o INVE 142.



- Cuando se desee obtener el CBR al 100 % de compactación y a la humedad óptima, se compacta un espécimen usando el procedimiento de compactación especificado (INV E-141 o INV E-142), con una porción de suelo que contenga el contenido óptimo de agua ± 0.5 %, determinado de acuerdo con la norma INV E-122.
- Si se desea obtener el CBR con el contenido óptimo de humedad y a un determinado porcentaje del peso unitario seco máximo, se preparan tres especímenes con el contenido óptimo de agua ± 0.5 % y empleando el método de compactación especificado, pero aplicando un número diferente de golpes por capa a cada espécimen. Dicho número de golpes por capa deberá variar lo necesario para que los pesos unitarios secos resultantes presenten valores por encima y por debajo del valor deseado. Típicamente, si se desea obtener el CBR de un suelo al 95 % de compactación, resulta satisfactorio compactar especímenes con 56, 25 y 10 golpes por capa. La penetración se deberá realizar sobre todos ellos.
- **Relación de soporte para un rango de contenidos de agua:** se preparan los especímenes igual a los procedimientos anteriores, salvo que todos los especímenes usados para desarrollar la curva de compactación deberán ser penetrados.
- Se tomaran muestras antes y después de la compactación para determinar la humedad.
- Terminada la compactación se retira el collar de extensión y se enrasa el espécimen con la regla metálica. Cualquier hueco producido debe ser rellenado con material sobrante. Se desmonta el molde de la placa de base y se determina la masa del molde con el espécimen compactado. Se vuelve a montar el molde sobre la placa de base, pero ahora en posición invertida, sin incluir el disco espaciador y colocando previamente un papel de filtro sobre la placa de base.
- Sobre la superficie de la muestra invertida se coloca la placa perforada con vástago ajustable y, sobre ésta, las pesas de sobrecarga necesarias para producir una presión equivalente a la originada por todas las capas de pavimento que se hayan de construir sobre el suelo que se ensaya, con una aproximación de 2.27 kg (5.0 lb), correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg (10 lb).



- A continuación, se sumerge el molde en el tanque con las pesas de sobrecarga colocadas, dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se toma la primera lectura para medir la expansión, colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada.
- Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua constante, aproximadamente 25 mm (1") por encima de la superficie del espécimen. Se admite un periodo de inmersión más corto, nunca menor de 24 horas, si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados. Al final del período de inmersión, se vuelve a colocar el trípode exactamente en la misma posición que cuando se tomó la primera lectura y se lee el deformímetro para medir el hinchamiento y calcular posteriormente la expansión, como un porcentaje de la altura inicial del espécimen.
- Después de terminado el proceso de inmerso, se saca el molde y se deja escurrir el agua durante 15 minutos, se desmonta las pasas de sobrecarga, la placa perforada y el papel filtro, se pesa y se procede al ensayo de penetración.

Penetración de las probetas compactadas:

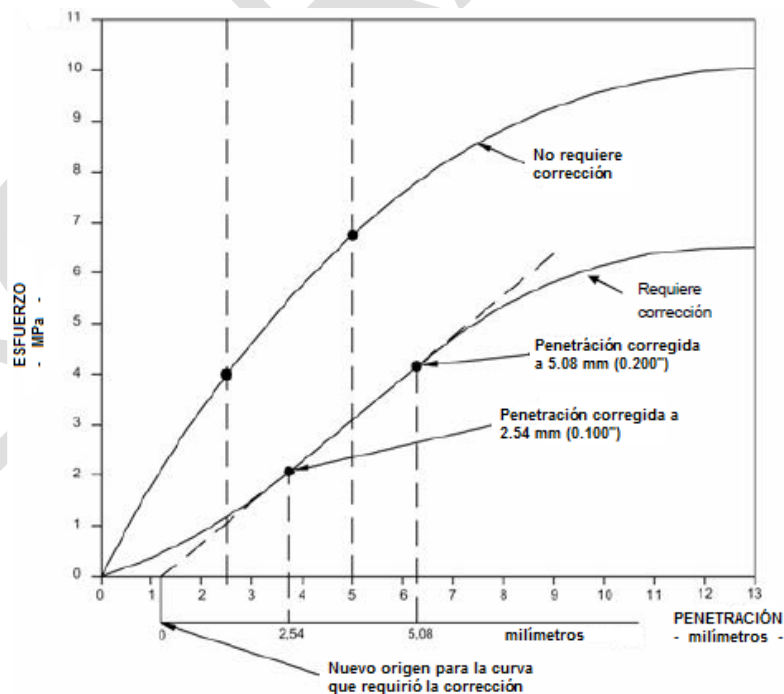
- ✓ Se colocan sobre el espécimen las mismas pesas de sobrecarga que tuvo durante el período de inmersión.
- ✓ Se aplica una carga de 44 N (10 lbf) para que el pistón asiente. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y, seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores: el del anillo dinamométrico (u otro dispositivo para medir la carga) y el de control de la penetración.
- ✓ La velocidad de penetración debe ser de 1.27 mm (0.05") por minuto. Se anotan la carga para las siguientes penetraciones del pistón dentro del suelo: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). Si la carga máxima ocurre a una penetración menor de 12.70 mm (0.500"), se hará la anotación correspondiente.

- ✓ Se desmonta el molde de la prensa y si el espécimen fue sometido previamente a inmersión, se toma una muestra para determinar su humedad, de los 25 mm (1") superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración. Su masa deberá ser al menos de 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular.

❖ CÁLCULOS

- ✓ Se realiza la gráfica de penetración- esfuerzo, con las lecturas obtenidas. Esta se debe corregir, ya que al inicio presenta una curvatura debido a la acomodación de las partículas u otros efectos que alteraron las lecturas iniciales. La corrección de la gráfica será reajustando el cero. La corrección consiste en trazar una tangente a la curva en el punto de inflexión, cuya prolongación hasta el eje de abscisas definirá el nuevo origen de esa curva (penetración cero) para la determinación de las presiones correspondientes a 2.54 y 5.08 mm, como se indica más adelante. Se debe dibujar una curva por cada espécimen penetrado.

Figura 1, Ejemplo de corrección de la gráfica penetración-esfuerzo



Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 148-13



- ✓ Relación de soporte CBR: se determinan los esfuerzos de la gráfica corregida para los puntos de penetración de 0.1" y 0.2" (2.54 y 5.08 mm). Y se calculan las relaciones de soporte correspondientes dividiendo dichos esfuerzos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000 lb/pg²) y 10.3 MPa (1500 lb/pg²), respectivamente, y multiplicando por 100. También, se debe calcular la relación de soporte para el esfuerzo máximo, si éste se produjo a una penetración inferior a 5.08 mm (0.200"); en este último caso, el esfuerzo de referencia se deberá obtener por interpolación. La relación de soporte (CBR) reportada para el suelo es, normalmente, la de 2.54 mm (0.1") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.2") de penetración es mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se toma como resultado del ensayo la relación de soporte (CBR) para 5.08 mm (0.2") de penetración.

- ✓ *Expansión* – La expansión de cada espécimen se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro del aparato medidor de expansión al inicio y al final de la inmersión, este valor se reporta en tanto por ciento, con respecto a la altura inicial de la muestra en el molde, que es de 116.43 mm (4.58").

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 122-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.

CÓDIGO(S):

ESTUDIANTE(S):

HOJA : 1 DE 2

ASIGNATURA:

LABORATORIO No.:

FECHA PRACTICA:

FECHA ENTREGA:

DENSIDAD SECA

PRUEBA	
No. de Golpes	
Molde No.	
No. de Capas	
Peso muestra húmeda + molde. (g).	
Peso molde. (g).	
Peso muestra húmeda. (g).	
Volumen molde. cm ³ .	
Densidad muestra húmeda. g/cm ³	
Densidad muestra seca. g/cm ³	

HUMEDAD

Recipiente No.	
Peso rec. + Muestra Hum. (g).	
Peso rec. + Muestra Seca (g).	
Peso Recipiente (g).	
Contenido de Humedad (%)	

PREPARACION DE MUESTRAS PARA CBR.

PRUEBA	
No. de Golpes	
Molde No.	
No. de Capas	
Peso muestra húmeda + molde. (g).	
Peso molde. (g).	
Peso muestra húmeda. (g).	
Volumen molde. cm ³	
Densidad muestra húmeda. g/cm ³	
Densidad muestra seca. g/cm ³	

HUMEDAD

Recipiente No.	
Peso rec. + Muestra Hum. (g).	
Peso rec. + Muestra Seca (g).	
Peso Recipiente (g).	
Contenido de Humedad (%)	

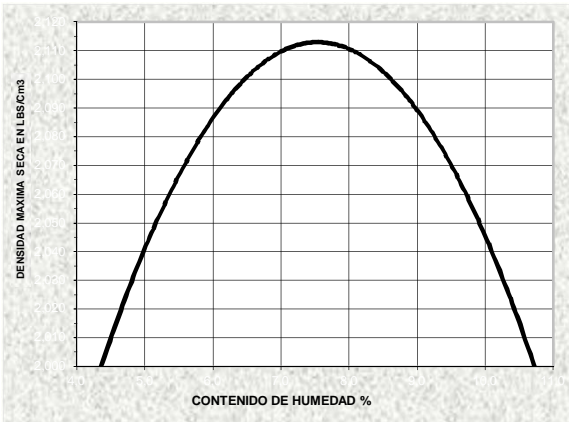
PENETRACION

No. DE GOLPES	
Molde.	
Dias de Inmersión	
Penetración en pulg	
0,005	
0,025	
0,050	
0,075	
0,100	
0,150	
0,200	
0,250	26.02
0,300	28.11
0,400	
0,500	
% de Expansión	

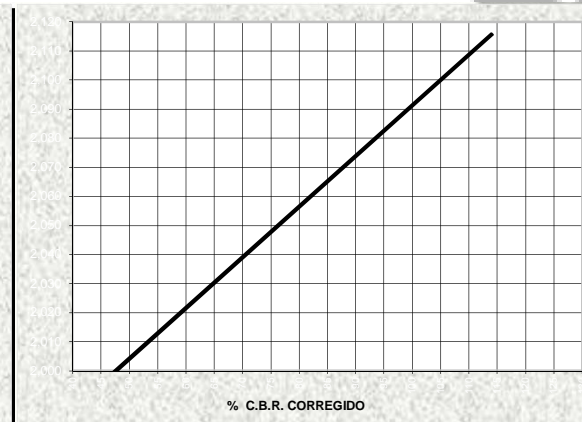
EXPANSIÓN

Fecha:	Molde No.		%expan.	Molde No.		%expan.	Molde No.		% EXPANSIÓN
	Lec. inicial	Lec. final.		Lec. inicial	Lec. final.		Lec. inicial	Lec. final.	
Hora:									PROMEDIO
Dias transcurridos:						0.1			

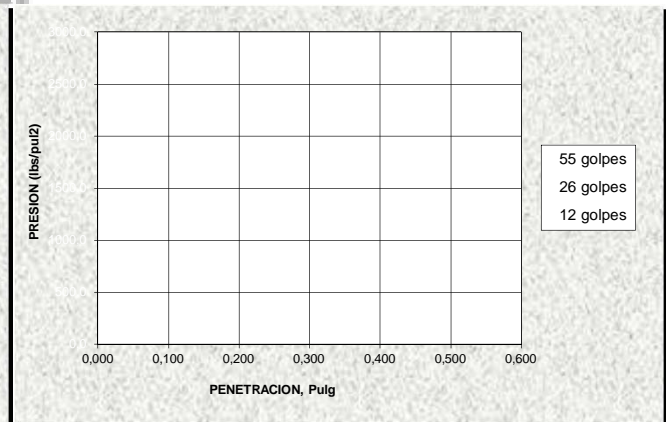
CURVA PROCTOR MODIFICADO



CBR vs DENSIDAD SECA MAXIMA



CURVAS DE ESFUERZO


RESULTADOS DEL ENSAYO

 DENSIDAD MAX.
 HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA

 Kg/cm³
 %

 GOLPES POR CAPA
 CBR CORREG. A 01
 CBR CORREG. A 02

OBSERVACIONES :



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

BORRADOR

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

INV E – 152 – 13

❖ OBJETIVOS

- Determinar la resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos.
- Determinar un valor aproximado de la resistencia de los suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.
- Determinar la resistencia a la corte.

❖ MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO

- **Resistencia a la Compresión no Confinada:** Es el esfuerzo mínimo a la cual una muestra de suelo no confinada, falla. La resistencia a la compresión inconfinada se toma como el valor del esfuerzo máximo que se produce en la muestra cuando falla durante el ensayo o el valor de la del esfuerzo necesario para producir una deformación axial del 15%, es decir se toma el valor de lo que ocurra primero.

Este método es estrictamente para suelos cohesivos que no expulsan agua durante la carga y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento, como arcillas o suelos cementados. Los suelos secos y friables, los materiales fisurados o estratificados, limos, turbas y las arenas no se podrán analizar por este

método ya que no se obtendrán resultados confiables a la resistencia de la compresión no confinada.

- **Deformación axial**: Cambio en la dimensión axial de la muestra que se puede expresar en términos de longitud, altura del espécimen, deformación unitaria o relación de vacíos.
- **Resistencia al corte**: Es el esfuerzo que se genera sobre la muestra para que esta llegue a fallar por cortante, para las muestras sometidas a este ensayo la resistencia al cortante se define como:

$$S_u = 0.5 \times q_u$$

Nota: Se debe explicar en una hoja anexa porque se puede expresar la resistencia al corte de esta manera en este tipo de ensayos.

❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS



Equipo de compresión: debe cumplir con especificaciones de la INVE 152-13

	<p>Deformímetro: debe cumplir con especificaciones de la INVE 152-13</p>
	<p>Calibre o pie de rey: para tomar las dimensiones de la muestra.</p>
	<p>Balanza: con una precisión de 0.1 % de la masa total.</p>

❖ **MUESTRA**

La muestra debe tener un diámetro mínimo de 30 mm (1.3”), con este diámetro el mayor tamaño de la partícula contenida dentro de la muestra debe de ser menor

que 1/10 del diámetro del espécimen. Para especímenes con diámetros de 72 mm (2.8") o mayores el tamaño máximo de las partículas debe ser menos que 1/6 del diámetro del espécimen. En caso que en muestras inalteradas se encuentren tamaños mayores que los permitidos de las partículas, se deberá realizar un análisis granulométrico según INV E 123-13.

La relación entre altura/diámetro del espécimen debe estar entre 2 y 2.5, para determinar la altura y el diámetro de la muestra se tomaran tres medidas de cada una y se realizara el promedio entre estas.

Los especímenes utilizados para este laboratorio pueden ser inalterados, muestras remodeladas o muestras compactadas.

En caso de tener muestras inalteradas se debe provocar la menor alteración de la muestra, en caso de que esta muestra presente muchas irregularidades se podrán corregir con material remodelado o con algún material como el yeso paris, o cemento.

❖ **PROCEDIMIENTO**

- El espécimen previamente preparado se coloca en el equipo de carga de tal manera que quede centrado sobre la platina inferior, a continuación se ajusta el equipo de tal manera que la platina superior solamente haga contacto con el espécimen, y se ajusta el indicador de deformación a ceros.
- Se aplica la carga para producir una deformación axial a una velocidad de 0.5 a 2.5% por minuto. Se debe graduar la velocidad de tal manera que el tiempo necesario para producir la falla no exceda de 15 minutos.

- Se deberá tomar nota de los valores de cargas y deformaciones e intervalos de tiempo regulares para realizar la gráfica de esfuerzo-deformación.
- Se dará como terminado el periodo de carga cuando:
 - Los valores de la carga decrezcan.
 - Se alcance una deformación igual al 15%.
- Se determinara el contenido de humedad del espécimen, según INVE 122-13
- Se realiza un esquema de la falla del espécimen o se tomara un registro fotográfico.

❖ **CÁLCULOS**

- **Deformación Axial:** Se determinara mediante la siguiente formula:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Donde:

- ε_1 : Deformación axial, al 0.1% más cercano.
- ΔL : Cambio de longitud del espécimen, cm.
- L_0 : Longitud inicial del espécimen, cm.

- **Área Corregida:** Se determinara según la siguiente expresión:

$$A = \frac{A_0}{\left[1 - \frac{\varepsilon_1}{100}\right]}$$

Donde:

- ϵ_1 : Deformación axial, para la carga dada.
- A_0 : Área inicial del espécimen, cm^2

➤ **Esfuerzo**: Se determinara utilizando la siguiente expresión:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- σ_c : Esfuerzo, tres cifras significativas. Kg/cm^2
- P : carga aplicada, KN.
- A : área corregida correspondiente a la carga dada. cm^2

➤ **Determinación del esfuerzo de compresión**: Se podrá tomar como el esfuerzo de compresión, aquel esfuerzo mínimo con el cual se alcanzó la falla del espécimen o aquel esfuerzo con el cual se logró que la deformación unitaria (axial) fuese igual al 15%. Se podrá además realizar una gráfica de esfuerzo-deformación, donde en las ordenadas se pondrán los esfuerzos de compresión y en las abscisas la deformación axial.

➤ **Esfuerzo cortante**: Se calculara de la siguiente forma:

$$S_u = 0.5 \times q_u$$

Donde:

- S_u = Esfuerzo cortante, Kg/cm^2 .
- q_u = esfuerzo de compresión, Kg/cm^2 .



- Coeficiente de elasticidad: EL coeficiente elasticidad del suelo se podrá calcular por medio de la gráfica en la parte elástica del material y será la pendiente de este estado del material.

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 152-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

Borrador

ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA
(CD)

INV E – 154 – 13

❖ **OBJETIVOS**

- Determinar la resistencia al corte en suelos consolidados drenados “CD”.
- Determinar el ángulo de fricción interna de los suelos.
- Determinar la cohesión de los suelos.

❖ **MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO**

El ensayo de corte directo consiste en hacer fallar una muestra en un dispositivo que permite infligir una falla de corte en el espécimen, esto permite determinar rápidamente algunas características mecánicas del suelo.

El ensayo se puede realizar sobre cualquier tipo de suelo, inalterado, remodelado o compactado. En este laboratorio la muestra se puede llevar a condiciones reales de trabajo por medio de la consolidación unidimensional y por el drenaje que realiza la muestra evitando la presión intersticial.

Cuando se habla de llevar al espécimen a la falla, se entiende como falla la condición de esfuerzo en el instante de la falla.

El esfuerzo normal nominal, es la fuerza aplicada en el área de la muestra, teniendo en cuenta que el área disminuye durante el ensayo, por tanto el esfuerzo

normal nominal crece. Por tanto el esfuerzo normal es desconocido para el ensayo.

El esfuerzo cortante nominal, es la fuerza de corte aplicada en el área de la caja de corte, durante el ensayo el área de contacto por donde se provoca la falla decrece, aumentando este esfuerzo y por ende el verdadero esfuerzo cortante es desconocido.

El desplazamiento que realiza la mitad superior durante el ensayo se conoce como el desplazamiento lateral relativo.

Antes de someter a la muestra a fuerzas de corte, y después de haber terminado la etapa de consolidación se conoce como la etapa de precorte.

❖ **EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % de la masa de ensayo.</p>
	<p>Aparato de corte: debe cumplir con especificaciones de la INVE 154-13.</p>

	<p>Caja de corte: circular p cuadrada que debe cumplir con especificaciones de la INVE 154-13.</p>
	<p>Indicadores de deformación</p>
	<p>Horno: capaz de mantener temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.</p>

❖ **MUESTRA**

Para las muestras inalteradas: se deben manipular con precaución para minimizar la alteración, como la humedad y la sección transversal.

La muestra utilizada para preparar los especímenes debe ser lo suficientemente grande para preparar tres especímenes.

Se debe anotar la masa de las dos mitades de la caja de corte unidas, posteriormente se introducen un espécimen labrando los lados laterales para que ajuste sin holgura y se labra sus superficies de tal manera que queden planas y paralelas.

Se determina la masa inicial de la caja con el espécimen y la altura de este, esto para calcular el contenido de agua inicial y la densidad del material.

Para las muestras fabricadas en el laboratorio: Los espécimen fabricados en el laboratorio se pueden fabricar por compactación o por reconstitución. El material que se vaya a utilizar se debe mezclar completamente y si es necesario se le añade agua para alcanzar la humedad deseada y se permite que el material húmedo se estabilice antes de preparar el espécimen, el tiempo de espera depende según el tipo de suelo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tiempo mínimo para estabilización

CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA UNIFICADO (NORMA INV E-181)	PERIODO MÍNIMO DE ESTABILIZACIÓN (HORAS)
SW, SP	No hay requisitos
SW-SM, SP-SM, SM	3
SC, ML, CL, SP-SC	18
MH, CH	36

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 154-13

❖ PROCEDIMIENTO

Para iniciar con el ensayo primero se deberá calibrar el equipo de corte siguiendo el procedimiento descrito en la INVE 154-13 numeral 7.

Posteriormente de haber calibrado el equipo según lo especificado en la norma se procede a ensayar el espécimen de la siguiente manera.

- Para las muestras inalteradas se colocan las piedras porosas húmedas o secas dependiendo lo solicitado, normalmente se colocan saturadas. Se colocan en las superficies expuestas del espécimen en la caja de corte y se coloca el conjunto en la cubeta y se alinea la cubeta en el marco de carga.
- Para los especímenes reconstituidos en el laboratorio, Se coloca y alinea el ensamble constituido por la caja de corte, la muestra, las piedras porosas y la cubeta en el marco de carga.
- Se ajusta la posición del sistema de carga de corte, sin transmitir fuerza sobre el instrumento de medición, se pone en cero el instrumento de medición y se anota.
- Se ajusta el instrumento de medición de los desplazamientos horizontales se ajusta a cero.
- Se coloca la placa de transferencia de carga sobre la piedra porosa colocada en la parte superior del espécimen.
- Se ajusta y alinea la barra de carga.
- Se aplica una pequeña fuerza normal sobre espécimen y se verifica si todos los elementos estén fijados, alineados y conectados.
- Se ajusta y fija el instrumento de deformación vertical.

- Después de haber realizado correctamente el montaje se procede a realizar la consolidación del espécimen, la carga normal se debe aplicar en incrementos leves hasta alcanzar el esfuerzo deseado, en caso de suelos cohesivos y de suelos granulares se puede aplicar la fuerza sin incrementos.
- Se puede llenar la cubeta de agua potable y mantener llena durante todo el ensayo. Esto para evitar la generación de presiones de poros negativas producto de la tensión superficial y previene el secado por evaporación durante el ensayo.
- Se debe incrementar la carga tan rápido como resulte práctico, se debe alcanzar la consolidación primaria, la determinación de la consolidación primaria se puede hacer por interpretación de la relación tiempo deformación normal, por experiencia con el material o por un valor por defecto a las 24 h. se anota la deformación vertical al final de cada incremento, así como el lapso para alcanzarla.
- Para el máximo esfuerzo normal, la carga se aplica con la mayor rapidez posible, y se toman lecturas de deformación inmediatamente.
- Posteriormente a la consolidación primaria, se anota el desplazamiento normal durante el precorte. Y se remueven los tornillos de alineación y con estos mismos se realiza la separación entre las mitades de la caja de corte hasta aproximadamente 0.64 mm o el tamaño máximo de las partículas. Se retiran los tornillos luego de crear el espacio.
- Se determina la velocidad de corte, la velocidad de corte debe permitir que el espécimen no experimente esfuerzos por el exceso de depresión de poros. La estimación de la velocidad requiere una estimación del tiempo requerido

para la disipación de la presión de poros y del monto de la deformación requerida para la falla.

El tiempo necesario para la falla puede ser en factor del tiempo de consolidación dependiendo la curva de deformación que se genere, cuando la curva es normal-logarítmica se usara el tiempo al 50% de la consolidación. Siendo el tiempo estimado (t_f), el producto entre el tiempo al 50% de la consolidación bajo el máximo incremento de esfuerzo normal en minutos, por 50.

Si la curva generada es normal raíz cuadrada del tiempo, el tiempo estimado (t_f), será el producto ente el tiempo al 90% de la consolidación al máximo incremento de esfuerzo normal en minutos, por 11,6.

Si los datos no generan ninguna de las anteriores curvas se utilizará los valores de la siguiente tabla.

Tabla 2. Valores por defecto

CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA UNIFICADO (NORMA INV E-181)	TIEMPO MÍNIMO HASTA LA FALLA (t_f)
SW, SP	10 min
SW-SM, SP-SM, SM	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	1440 min

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 154-13

- Se estima el desplazamiento lateral relativo requerido para llevar al espécimen a la falla, se puede usar los siguiente valores:
 - $d_f=10$ mm, cuando son suelos finos normalmente consolidados ligeramente pre-consolidados.
 - $d_f=5$ mm, para los demás suelos.

- Se calcula la velocidad de desplazamiento (R_d), como el factor de la división entre d_f/t_f

Después de haber establecido la velocidad, se procede a realizar el corte drenado de la siguiente manera:

- Se registran el tiempo inicial, el desplazamiento vertical y el lateral relativo, y las fuerzas normal y de corte.
- Se pone en funcionamiento el aparato y se inicia el proceso de corte, se toman lecturas de los tiempos, desplazamientos vertical y horizontal y la fuerza de corte a los intervalos deseados, se deben tomar los más a menudo posible para garantizar una exactitud en la curva desplazamiento-esfuerzo cortante.
- El espécimen debe ser sometido a corte hasta, al menos, el 10 % de desplazamiento lateral relativo.
- Se retira el espécimen de la caja, en caso de ser un suelo cohesivo no se podrá separar la caja en forma perpendicular, si no que se debe hacer con un movimiento deslizante.
- Al espécimen retirado se le debe hacer el ensayo de contenido de agua según la INV E 122-13.

NOTA:

- *Los datos deberán ser anotados en el formato de perteneciente a esta guía de laboratorio.*

❖ **CÁLCULOS**

- **Corrección de área:** Se corrige el área de acuerdo la sección de la caja de corte:

Para cajas cuadradas:

$$A = b \times (L - \varepsilon)$$

Para cajas circulares:

$$A = \frac{D^2}{2} \left(\theta - \frac{\varepsilon}{D} \sin \varepsilon \right)$$

- **Esfuerzo cortante nominal:** se determinara según la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

Donde:

- τ : Esfuerzo cortante nominal, KPa (lbf/pg²), mínimo 3 digito significativos.
- F_s : Fuerza de corte, KN, 3 dígitos significativos.
- A: Área de la caja de corte (m²), 3 dígitos significativos.

- **Esfuerzo normal nominal:** Se determinara utilizando la siguiente expresión:

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A}$$

Donde:

- σ_n : Esfuerzo normal nominal, KPa (lbf/pg²), mínimo 3 digito significativos.
- F_n : Fuerza normal actuante sobre el espécimen, KN, 3 dígitos significativos.



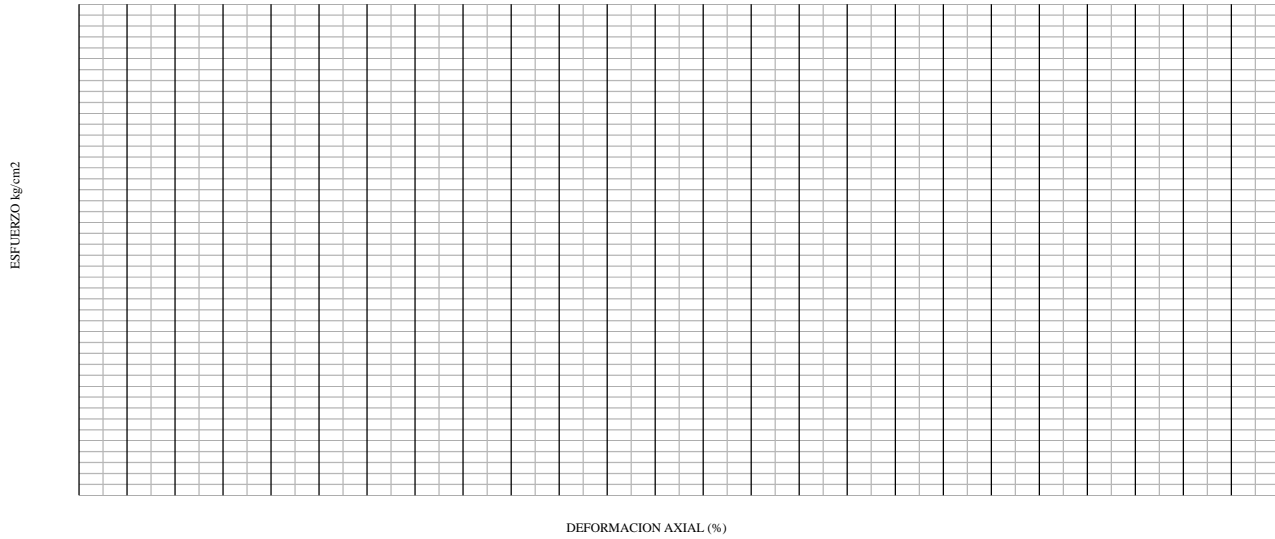
- ✓ Se calculan los valores iniciales de la relación de vacíos, el contenido de agua, la densidad seca y el grado de saturación, con base en la gravedad específica, la masa inicial y la masa final del espécimen y el volumen inicial de éste. El volumen del espécimen se determina a partir de su espesor y de las dimensiones de la caja de corte.

NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

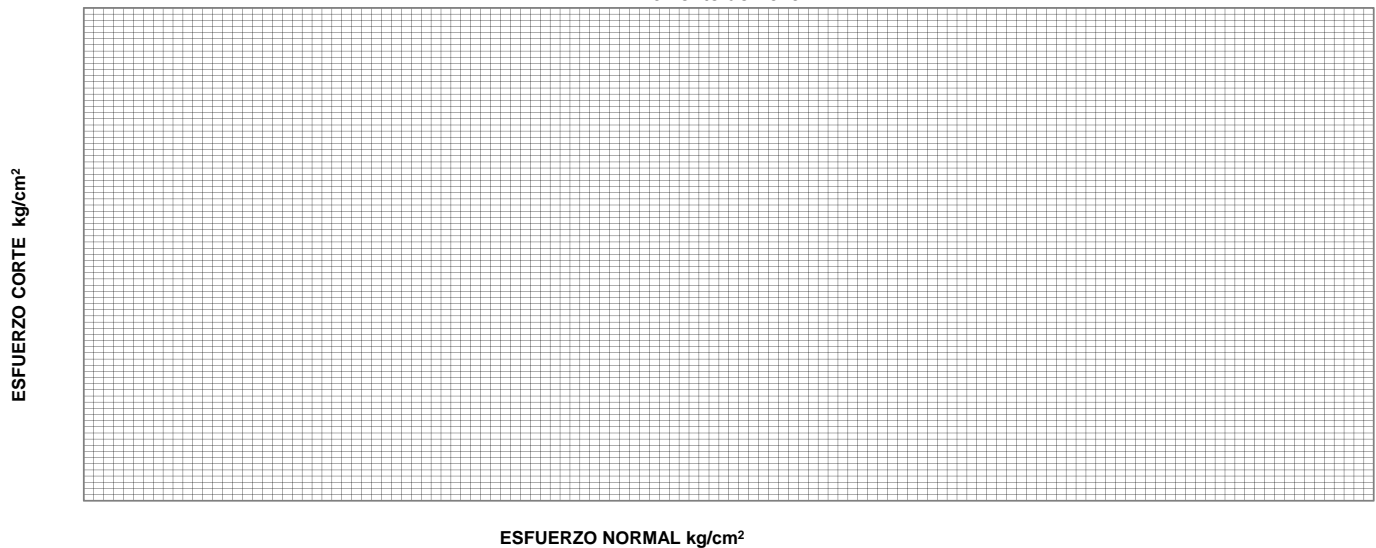
- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 154-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.

CURVA ESFUERZO - DEFORMACION



DEFORMACION AXIAL (%)

Envolvente de Falla



ESFUERZO NORMAL kg/cm²

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA _____
COEHSIÓN _____

OBSERVACIONES DURANTE EL ENSAYO :



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

Borrador

CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS

INV E – 151 – 13

❖ OBJETIVOS

- Determinar los asentamientos diferenciales en los suelos.
- Determinar los asentamientos totales en los suelos.
- Determinar la velocidad de los asentamientos.

❖ MARCO TEÓRICO DEL ENSAYO

Este ensayo se efectúa sobre muestras generalmente de suelos finos saturadas e inalteradas. También se puede utilizar otros tipos de muestra como lo son muestras meteorizadas o que fueron alterados por químicos, para la utilización de este tipo de muestras pueden requerir técnicas especiales de evaluación. Ya que esta prueba asume que los poros están 100% saturados y por tanto son aplicables a suelos sedimentados naturalmente en agua.

Este ensayo se podrá realizar por medio de dos métodos el “A” y el “B”, los cuales difieren en que, en el método “A” se toman lecturas de tiempo-deformación como mínimo durante dos incrementos de carga los cuales se hacen de manera constante durante 24 horas o múltiplos de este tiempo, mientras que en el método “B” se realizan lecturas de tiempo-deformación para todo los incrementos de carga, que se harán después de haber alcanzado el 100% de la consolidación

primario o como se realizan en el método "A". Como en el segundo método se toman datos explícitos se puede obtener resultados como la consolidación secundaria, el coeficiente de consolidación para materiales saturados y la velocidad de la compresión secundaria y por supuesto lo referente a la consolidación primaria. Por otro lado el método "A" en los resultados combina las deformaciones debidas a consolidación primaria y la consolidación secundaria.

Con los conceptos técnicos utilizados para este ensayo son:

- ✓ Deformación axial: Cambio en la dimensión axial de la muestra que se puede expresar en términos de longitud, altura del espécimen, deformación unitaria o relación de vacíos.
- ✓ Incremento de carga: Etapa del ensayo en la cual la muestra está bajo un esfuerzo axial total constante.
- ✓ Duración del incremento de carga: Lapso durante el cual la muestra está bajo un esfuerzo total constante.
- ✓ Relación de incremento de carga, RIC: Aumento o disminución del esfuerzo axial total que se va a aplicar a la muestra en el siguiente paso, dividido por el esfuerzo axial total actual.
- ✓ Esfuerzo axial total: La fuerza que actúa sobre la muestra, dividida por el área de ésta. Una vez se ha completado la consolidación, se considera que el esfuerzo axial efectivo es igual al esfuerzo axial total.
- ✓ Incremento de esfuerzo axial total: El cambio (incremento o disminución) en el esfuerzo axial total aplicado en una etapa.

Este ensayo se basa en la teoría convencional de Terzaghi para calcular el coeficiente de consolidación c_v teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El suelo está saturado y tiene propiedades homogéneas.
- El flujo del agua de los poros se produce en dirección vertical.
- La compresibilidad de las partículas de suelo y del agua de poros es despreciable frente a la compresibilidad del esqueleto del suelo.
- La relación esfuerzo-deformación es lineal bajo el incremento de carga.
- La relación permeabilidad-compresibilidad del suelo es constante bajo el incremento de carga.
- Aplica la ley de Darcy para flujo a través de medios porosos.

En resumen este ensayo trata de someter a un espécimen de suelo a un esfuerzo axial, estando el espécimen consolidado lateralmente y 100% saturado, con la posibilidad de realizar el drenaje para expulsar el exceso de agua en su interior, ocasionando que las partículas sólidas del suelo se reacomoden ocupando el espacio antes ocupado por el agua. Esto ocasiona que el espécimen sufra un asentamiento en sentido del esfuerzo axial al que se está sometiendo. Los datos obtenidos de este ensayo son de gran utilidad para estimar la velocidad y magnitud de los asentamientos de un suelo cuando es sometido a una sobre carga en la vida real. Esto es de gran importancia para diseñar las estructuras civiles y evaluar su comportamiento.



❖ EQUIPOS E INSTRUMENTOS

	<p>Balanza: Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % y/o 0,01g de la masa de ensayo.</p>
	<p>Consolidómetro: Debe cumplir con lo especificado en la INVE 151-13.</p>
	<p>Discos porosos: Debe cumplir con lo especificado en la INVE 151-13.</p>
	<p>Pantalla filtrante: que se coloca entre el disco poroso y el espécimen, para evitar la intrusión del suelo dentro de aquel.</p>



	<p>Cizalla o cortador cilíndrico</p>
	<p>Deformímetro</p>
	<p>Horno: debe permitir una temperatura uniforme, de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.</p>

❖ **MUESTRA**

Se debe de reducir la posibilidad de alterar la muestra como sea posible, ya que se debe evitar cambios en la humedad, densidad, etc. Así como evitar la vibración, distorsión y compresión. El lugar donde se manipulen las muestras debe garantizar que se minimicen los cambios de humedad.

Una vez garantizado que la muestra se altera lo más mínimo posible, se procede a labrar o tallar la muestra y se inserta en el anillo de consolidación, siendo el diámetro menor de la muestra 50 mm (2.0"). Donde debe quedar ajustado dentro del anillo. Se pueden utilizar la cizalla o plataforma giratoria.

Se deben recortar al ras la muestras con los extremos planos del anillo, se puede usar una cierra de alambre o una regla con filo dependiendo el suelo.

Se debe determinar la masa húmeda inicial de la muestra (M_{T0}), midiendo primero la masa del anillo (M_r) y posteriormente la masa del anillo muestra.

Se determina la altura inicial de la muestra (H_0), se puede tomar le promedio de al menos cuatro alturas medidas en diferentes puntos mediante el uso de un calibrador, o se mide el espesor del anillo (H_r), menos e espesor de la placa espaciadora, (H_{rs}), menos el espesor del filtro (H_{fs}). La altura mínima inicial de la muestra es de 12 mm, pero no menor que 10 veces el diámetro de partícula del suelo ensayado.

La relación entre el diámetro y la altura de la muestra es mínimo de 2.5.

Se calcula el volumen inicial de la muestra (V_0), con dos cifras significativas.

Es opcional determinar la gravedad específica (INVE 128), Límites de Atterberg (INVE 125, INVE 126) y Granulometría (INVE 123).

❖ PROCEDIMIENTO

- Se realiza una calibración del equipo según lo indicado en la INV E-151 en el numeral 7.

- Dependiendo del tipo de material se preparan los discos porosos y otros elementos. El consolidómetro se debe ensamblar de tal manera que no se pierda contenido de humedad o la expansión de la muestra. Para ensayar muestras parcialmente saturadas se recomienda usar los elementos húmedos. El consolidómetro se debe encerrar en una membrana de caucho para evitar el cambio de volumen debido a evaporación.
- Se ubica el consolidómetro dentro del aparato de carga y se genera un esfuerzo axial aproximadamente de 5 KPa (100 lbf/pie²). Se ajusta el deformímetro y se registra la deformación inicial (d_0), se podrá aumentar un poco la carga de ser necesario para evitar la expansión o se podrá disminuir si el suelo presenta una consolidación significativa.
- Si la muestra es inalterada saturada naturalmente u obtenida de por debajo del nivel freático, se deberá inundar la muestra inmediatamente después la carga y aumentar la carga para evitar su expansión.
- La muestra se somete a incrementos de esfuerzo axial total constante. Antes de aplicar cada incremento se deberá medir la altura o el cambio de la misma en la muestra, d_f .
- Cuando se requieran determinar la pendiente y la forma de la curva de compresión virgen o el valor del esfuerzo de pre-consolidación, el esfuerzo axial máximo total debe ser lo suficientemente alto para brindar, ya sea: (a) tres puntos que definan una línea recta cuando se dibujen los esfuerzos en una escala logarítmica (b) tres puntos que definan una curva cóncava cuando se dibujen los esfuerzos en una escala logarítmica, o (c) un nivel de esfuerzos que sea 8 veces el esfuerzo estimado de pre-consolidación.

- Para el periodo de descarga o rebote se debe elegir de manera que se divida en dos aproximadamente el esfuerzo anteriormente aplicado.

Existen dos métodos para definir la secuencia de tiempo de las lecturas durante el incremento de carga y la duración mínima de esta.

Método “A”:

- El tiempo de aplicación estándar de cada incremento de carga es de 24 horas.
- Durante al menos dos incrementos de carga, incluyendo al menos uno después de exceder el esfuerzo de pre-consolidación, se debe anotar la deformación axial, d , a intervalos de tiempo de aproximadamente 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas una vez se ha aplicado la carga. Se toman suficientes lecturas cuando el final de la duración del incremento está cercano, para verificar que se ha terminado la consolidación primaria. Para incrementos de carga en los cuales no se necesite tomar datos. de tiempo versus deformación, de todas maneras se deja la carga el mismo tiempo que cuando sí se necesita tomarlos.

Método “B”:

- Para cada incremento, se anota la deformación axial, d , a intervalos de tiempo de aproximadamente 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos y 1,

2, 4, 8 y 24 horas a partir del momento de aplicación de cada incremento de carga. La duración de cada incremento debe ser superior al tiempo requerido para completar la consolidación primaria. Para cualquier incremento de carga en el cual sea imposible verificar el fin de la consolidación primaria (debido por ejemplo a baja relación de incremento de carga, alta sobreconsolidación durante los incrementos de recompresión o consolidación rápida), la duración del incremento de carga debe ser constante y debe exceder el tiempo requerido para conseguir la consolidación primaria de un incremento aplicado después del esfuerzo de pre-consolidación y a lo largo de la curva de compresión virgen. Cuando se necesite evaluar la compresión secundaria, se aumenta la duración del incremento de carga tanto como para definir su velocidad.

Procedimiento para desmante:

- Para minimizar el hinchamiento durante el desmante, se lleva la muestra nuevamente hasta la carga de asiento (alrededor de 5 kPa de esfuerzo total axial). Cuando el cambio en la deformación axial se ha reducido a menos de 0.2 % por hora (usualmente durante la noche), se registra la deformación axial final del ensayo, *det*, se libera la carga final de asiento y se remueve rápidamente el consolidómetro del marco de carga. Se remueven del consolidómetro la muestra y el anillo y se seca cualquier agua presente en ellos.
- Se mide la altura del espécimen, *H_{et}*, con una aproximación de 0.01 mm (0.001”) tomando el promedio de al menos 4 medidas hechas con comparador de dial u otro aparato apropiado en diferentes puntos uniformemente espaciados en las superficies superior e inferior.

- Se determina la masa total de la probeta, M_T , con aproximación de 0.01 g, midiendo primero el conjunto anillo-muestra y restando después la masa del anillo.
- Se determina la humedad final del espécimen w_{fp} .

NOTA:

- Los datos deberán ser anotados en el formato de perteneciente a esta guía de laboratorio.

❖ **CÁLCULOS**

- **Masa seca de la muestra:** Se determinara mediante la siguiente formula:

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

Donde:

- M_d : Masa seca, g. aproximada a 0.01.
- M_{Tf} : Masa total del espécimen después del ensayo (g)
- w_{fp} : Contenido de agua final, en decimales.
- V: Volumen del recipiente de medida (m^3)

- **Humedad inicial y final:** se determinara según la siguiente expresión:

$$w_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} \times 100$$

$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} \times 100$$

Donde:

- w_0 : Humedad inicial, %.
- w_f : humedad final, %.
- M_{T0} : Masa total del espécimen antes del ensayo.

➤ **Densidad seca inicial**: Se determinara utilizando la siguiente expresión.

$$\rho_d = \frac{Md}{V0} \times 100$$

Donde:

- ρ_d densidad seca, g/cm³
- $V0$: volumen inicial, cm³

➤ **Esfuerzo axial total**: Se determinara utilizando la siguiente expresión.

$$\sigma_a = \frac{P + M_a g}{A} \times 10$$

Donde:

- σ_a esfuerzo axial tota
- M_a :masa del aparato que descansa sobre el especien, Kg.

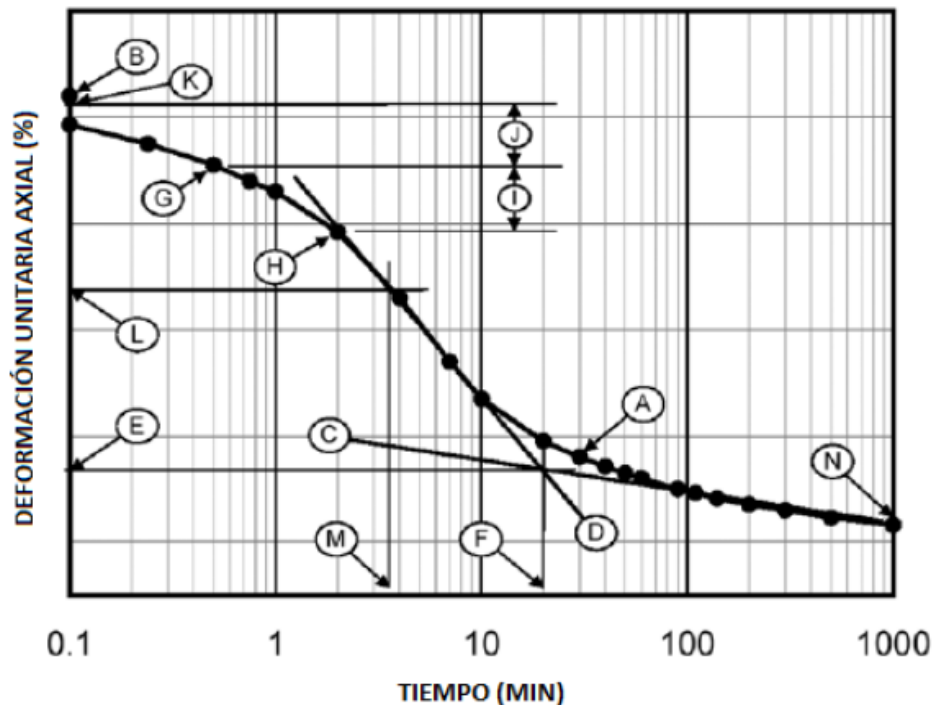
- P: Fuerza aplicada, N
- A: área del espécimen, cm²
- g: aceleración de la gravedad.

Se pueden realizar dos interpretaciones graficas las cuales son:

- Se dibuja la deformación unitaria axial, ϵ , contra el logaritmo del tiempo, usualmente en minutos, para cada incremento de carga aplicado y se realizan las siguientes operaciones.
- Se traza una línea recta a través de los puntos que representan las últimas lecturas de tiempo y cuya tendencia es de línea recta y pendiente constante (**C**). Se dibuja una segunda línea recta, tangente a la parte más inclinada de la curva logaritmo del tiempo versus deformación unitaria axial (**D**). La intersección de estas dos líneas representa la deformación unitaria axial (**E**), ϵ_{100} , y el tiempo (**F**), t_{100} , correspondientes al 100 % de la consolidación primaria. El exceso de compresión por encima del 100 % de la consolidación primaria se conoce como compresión secundaria.
- Se encuentra la deformación unitaria axial que representa 0 % de la consolidación primaria (**K**), seleccionando cualesquier dos puntos que tengan una relación de tiempos de 1 a 4 (**puntos G y H en este ejemplo**). El incremento de deformación unitaria axial para el mayor de los tiempos estará entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ del total del incremento de deformación unitaria axial total para el incremento de carga en cuestión. La deformación unitaria axial correspondiente a 0 % de consolidación primaria es igual a la deformación unitaria axial correspondiente al tiempo menor, menos la diferencia en deformación unitaria axial (**I=J**) entre los dos puntos seleccionados.
- La deformación unitaria axial (**L**), ϵ_{50} , correspondiente al 50 % de la consolidación primaria, es igual al promedio de las deformaciones axiales unitarias correspondientes al 0 y al 100 %. El tiempo (**M**), t_{50} , requerido

para el 50 % de la consolidación, se puede hallar gráficamente a partir de la curva logaritmo del tiempo - deformación, observando el tiempo al cual corresponde el 50 % de la consolidación primaria sobre ella.

Figura 1, ejemplo de procedimiento1



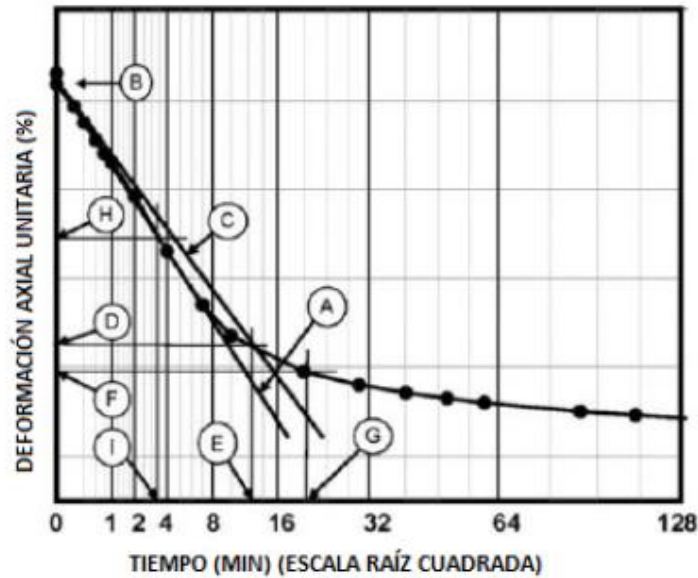
- A – CURVA ESFUERZO –DEFORMACIÓN UNITARIA TRAZADA SOBRE LOS PUNTOS DEL ENSAYO
- B - DEFORMACIÓN A TIEMPO = 0 MINUTOS
- C - AJUSTE LINEAL DE LA PORCIÓN FINAL DE LA CURVA
- D - AJUSTE LINEAL DE LA PORCIÓN MÁS INCLINADA DE LA CURVA
- E - LECTURA DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS C Y D, CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN
- F - LECTURA DE TIEMPO EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS C Y D, CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN
- G - PRIMER PUNTO SELECCIONADO PARA LA INTERPRETACIÓN DEL 0 % DE LA CONSOLIDACIÓN
- H - SEGUNDO PUNTO PARA LA INTERPRETACIÓN, CORRESPONDIENTE A UN TIEMPO CUATRO VECES MÁS QUE EL DEL PUNTO G
- I - INCREMENTO DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA ENTRE LOS PUNTOS H Y G
- J - INCREMENTO DE DEFORMACIÓN UNITARIA IGUAL A I
- K - DEFORMACIÓN DEDUCIDA PARA EL COMIENZO DE LA CONSOLIDACIÓN
- L - DEFORMACIÓN AL 50 % DE LA CONSOLIDACIÓN, IGUAL A LA MEDIA ENTRE K Y E
- M - TIEMPO CORRESPONDIENTE AL 50 % DE LA CONSOLIDACIÓN
- N - DEFORMACIÓN UNITARIA Y TIEMPO PARA LA ÚLTIMA LECTURA DEL INCREMENTO

Nota: Esquema sin escala

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 151.

- En el segundo procedimiento. Se dibuja la curva deformación unitaria axial, ϵ , contra la raíz cuadrada del tiempo, típicamente en minutos, para cada intervalo aplicable de carga.
- Se dibuja una línea recta a través de los puntos que representan las lecturas iniciales de tiempo y que exhiben una tendencia de línea recta (**A**). Se extrapola la línea hacia $t = 0$ y se obtiene la deformación unitaria axial que representa el 0 % de la consolidación primaria (**B**).
- Se traza una segunda línea recta a través de la ordenada 0 %, de tal manera que la abscisa correspondiente (**C**) sea 1.15 veces la abscisa de la primera línea recta para todos los datos; es decir, se construye una línea recta que parta de (**B**) y que tenga una pendiente de 1.15 veces la pendiente de la línea **A**. La intersección de esta segunda línea con la curva (Ver numeral 11.5.2) define la deformación unitaria axial, ϵ_{90} , (**D**), y el tiempo t_{90} , (**E**), correspondientes al 90 % de la consolidación primaria.
- La deformación unitaria axial al 100 % de la consolidación (**F**) es 1/9 mayor que la diferencia en deformación unitaria axial entre 0 y 90 % de consolidación. El tiempo de consolidación primaria (**G**), t_{100} , se puede tomar en la intersección de la curva deformación unitaria axial-raíz cuadrada del tiempo y esta ordenada de deformación axial. La deformación unitaria axial (**H**), ϵ_{50} , correspondiente al 50 % de consolidación, es igual a la deformación unitaria axial a los 5/9 de la diferencia entre 0 y 90 % de consolidación. El tiempo para el 50% de consolidación (**I**), t_{50} , corresponde a la intersección de curva deformación unitaria axial-raíz cuadrada del tiempo con la ordenada de deformación 50 %.

Figura 2, ejemplo de procedimiento2



- A – AJUSTE LINEAL DE LOS PRIMEROS DATOS TOMADOS
- B - EXTENSIÓN DE LA LÍNEA "A" AL TIEMPO = 0 MINUTOS
- C - LÍNEA CONSTRUIDA CON UNA PENDIENTE DE 1.15 VECES LA DE LA LÍNEA A
- D - DEFORMACIÓN LEÍDA EN LA INTERSECCIÓN DE LA LÍNEA C CON LA CURVA TRAZADA SOBRE LOS DATOS
- E - TIEMPO LEÍDO EN LA INTERSECCIÓN DE LA LÍNEA C CON LA CURVA TRAZADA SOBRE LOS DATOS
- F - DEFORMACIÓN CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN
- G - TIEMPO CORRESPONDIENTE AL 100 % DE CONSOLIDACIÓN
- H - DEFORMACIÓN UNITARIA CORRESPONDIENTE AL 50% DE CONSOLIDACIÓN
- I - TIEMPO CORRESPONDIENTE AL 50 % DE CONSOLIDACIÓN

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 151.

- **Se calcula el coeficiente de consolidación:** los valores serán los escogidos según el método.

$$C_v = \frac{T H_{D50}^2}{t}$$

Donde:

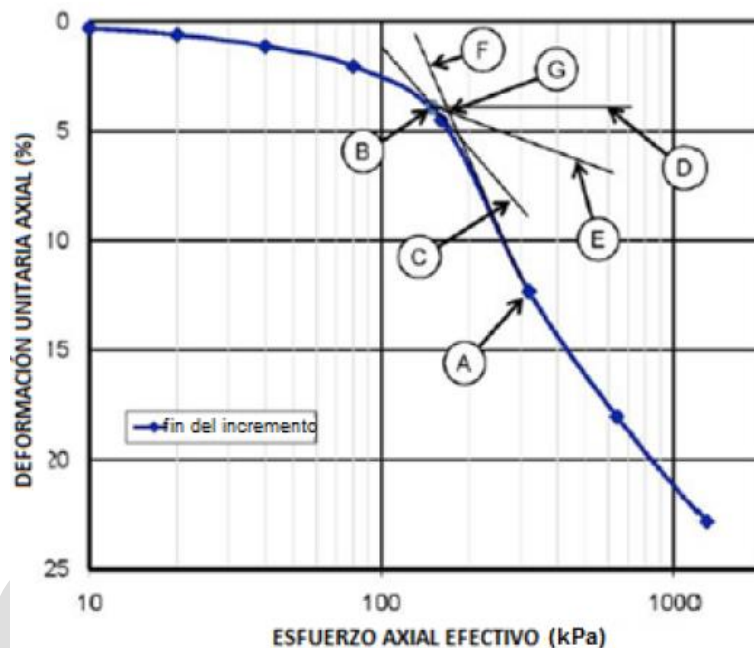
- C_v : Coeficiente de consolidación, cm^2/s .
 - T : Un factor adimensional de tiempo: para el primer procedimiento $T=T_{50}=0.197$, para el segundo $T=T_{90}=0.848$.
 - t : Tiempo correspondiente al grado específico de consolidación, s ; para el primer procedimiento será el t_{50} y para el segundo el t_{90} .
 - H_{D50} : Longitud de la trayectoria de drenaje al 50 % de consolidación, cm ; para drenaje por las dos caras, H_{D50} es la mitad de la altura del espécimen al incremento apropiado; para drenaje por una sola cara, H_{D50} es la altura completa.
-
- Propiedades carga. Deformación: Se tabulan las lecturas de deformación o de cambio de deformación, df , correspondientes al final de cada incremento y, si está usando el método de ensayo B, los correspondientes al final de la consolidación primaria, d_{100} .
 - Se dibujan los resultados de deformación correspondientes al final de cada incremento y, si está usando el método B, los correspondientes al final de la consolidación primaria versus el esfuerzo en escala logarítmica.

Se determina el valor del esfuerzo de pre consolidación usando el procedimiento que se describe a continuación:

- Se traza una curva suave a través de los puntos
- Se estima el punto de máxima curvatura sobre la curva de compresión (**B**).
- Se dibuja la tangente a la curva de compresión en este punto (**C**), y se traza una línea horizontal (**D**) partiendo también del punto (**B**). Se prolongan las líneas **C** y **D** hacia la derecha (en el sentido creciente de las abscisas).
- Se traza una línea (**E**), que bisecte el ángulo formado entre las dos líneas **C** y **D**.

- Se dibuja una línea recta tangente a la porción lineal más inclinada de la curva de compresión (brazo de compresión virgen) (**F**), y se prolonga hacia arriba hasta que se corte con la línea bisectriz (**E**). El punto de corte se llamará (**G**). La abscisa correspondiente a este punto de intersección será el esfuerzo estimado de pre-consolidación.

Figura 3, ejemplo de procedimiento de curva esfuerzo deformación



- A - DEFORMACIÓN TRAZADA SOBRE LOS PUNTOS TOMADOS
- B - PUNTO DE MÁXIMA CURVATURA
- C - LÍNEA TANGENTE A LA CURVA EN EL PUNTO B
- D - LÍNEA HORIZONTAL A TRAVÉS DEL PUNTO B
- E - LÍNEA BISECTRIZ DEL ÁNGULO FORMADO POR C Y D
- F - LÍNEA TANGENTE A LA PORCIÓN MÁS INCLINADA DE LA CURVA
- G - ESFUERZO DE PRECONSOLIDACIÓN, LEÍDO EN LA INTERSECCIÓN DE LAS LÍNEAS E Y F

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVE 151



NOTA: Los resultados deben ser entregados en los espacios correspondientes al formato de la guía del laboratorio.

❖ **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INV E 151-13. Bogotá D.C: INVIAS, 2013.

BORRADOR



ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

Borrador