



Universidad
Continental

Mecánica de suelos I

Guías de Laboratorio



Visión

Al 2021, ser la mejor universidad para el Perú y el mundo en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial.

Misión

Somos una organización de educación superior dinámica que, a través de un ecosistema educativo estimulante, experiencial y colaborativo, forma líderes con mentalidad emprendedora para crear impacto positivo en el Perú y en el mundo.

Universidad Continental

Material publicado con fines de estudio



NORMAS BÁSICAS DE LABORATORIO

El presente Manual de Guías de Laboratorio para Mecánica de Suelos I en la Universidad Continental S.A.C., tiene por finalidad estandarizar el método y procedimientos, para la ejecución de los ensayos de laboratorio, de suelos que se utilizan en los ensayos programados en el Silabo del curso, con el objeto de asegurar que su difusión y como consecuencia el conocimiento de los estudiantes correspondan a los estándares de calidad propuestos en estas guías, para la adecuada formación de los estudiantes de la E.A.P. de Ingeniería Civil.

Se deben de ejecutar los diferentes ensayos programados siguiendo los procedimientos indicados en esta presente Guía.



Índice

Visión	2
Misión	2
Normas básicas de laboratorio	3
Índice	4
Guía de práctica N° 1: Exploración de Suelos (Muestreo de Suelos y Rocas)	5
Guía de práctica N° 2: Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo	13
Guía de práctica N° 3: Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado	19
Guía de práctica N° 4: Determinación del Limite líquido de los suelos	27
Guía de práctica N° 5: Determinación del límite plástico (L.P.)	34
Guía de práctica N° 6: Método de ensayo estándar para la gravedad específica de solidos de suelo	39
Guía de práctica N° 7: Ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos agregado fino.	49
Guía de práctica N° 8: Ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.	58
Guía de práctica N° 9: Compactación de suelos (Proctor modificado)	67
Guía de práctica N° 10: CBR de suelos (Laboratorio)	80



Guía de práctica N° 1:

EXPLORACIÓN DE SUELOS (MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS)

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Es el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos y rocas.

2. Fundamento Teórico

Establecer los procedimientos adecuados de muestreo de suelos y rocas, que permitirán la correlación de los respectivos datos con las propiedades del suelo, tales como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca, tales como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	barrenos	De acero negro	1
2	lampa	De latón	2
3	Frasco	De cierre hermético	3
4	pico	De latón	2
5	tubos	De plástico	2
6	tela		1m

3.2. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	parafina	Cera solida	1 kg
2	Ácido clorhídrico	Determinación de carbonatos al identificar minerales en rocas y suelos.	10 ml



4. Indicaciones/instrucciones:

4.1 Muestra:

Deben obtenerse muestras representativas de suelo o roca, o de ambos, de cada material que sea necesario para la investigación. El tamaño y tipo de la muestra requerida, depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y las limitaciones del equipo de ensayo a ser usado.

Nota 1. El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio del responsable de la investigación, pero se sugiere las siguientes cantidades:

- Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg.
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg.
- Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg.

Debe identificarse cuidadosamente cada muestra con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrase en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes de cierre hermético para evitar pérdidas de la misma. Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, las muestras deben ser protegidas para la pérdida de humedad.

Deberá tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,5 kg.

Las muestras tomadas, deben servir como mínimo para realizar los siguientes ensayos de

Laboratorio:

- Análisis granulométrico por tamizado
- Análisis granulométrico por hidrómetro
- Humedad natural
- Determinación del límite líquido



- Determinación del límite plástico
- Gravedad específica de los suelos

Las muestras tomadas deben servir para la realización de los siguientes ensayos en construcción de terraplenes:

- Los mencionados en el ítem que antecede.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía Proctor Modificado
- CBR de materiales compactados

Las muestras tomadas deben servir para la realización de los siguientes ensayos para subrasantes:

- Los mencionado en el ítem que antecede.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía de Proctor Modificado
- CBR.

5. Procedimientos:

- a) Calicatas y trincheras: Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.
- b) Investigación y muestreo del suelo mediante barrenos y muestreadores: Procedimiento útil para la determinación del nivel freático. La profundidad con esta clase de barreno está limitada por las condiciones agua-suelo, las características del suelo y el equipo empleado.
- c) Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos: Procedimiento para obtener muestras y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado, fundamentalmente para suelos no cohesivos, pudiendo ser usado en suelos cohesivos para recuperar muestras o para determinar un valor cualitativo de la resistencia.
- d) Método para muestreo de suelos con tubo de pared delgada, MTC E 120: Procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.
- e) Ensayo de corte con veleta en suelo cohesivo, MTC E 122: Procedimiento para medir in situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.

Primero

5.1 La investigación del suelo y roca comprenderá entre otros lo siguiente:

- a) Revisión de cualquier información disponible sobre la geología y la formación de la roca o del suelo, o de ambas, sobre las condiciones del nivel freático en el sitio y en las vecindades.



- b) Determinación del nivel freático y del material de fundación firme, bien sea roca o suelos de adecuada capacidad de soporte.
- c) Investigación en el sitio de los materiales superficiales y del subsuelo mediante perforaciones de percusión y lavado, rotación, barrenos manuales o mecánicos de espiral, calicatas y métodos geofísicos.
- d) Identificación del suelo y de los tipos de roca en el terreno con registros de la profundidad a la cual se presentan y de la localización de sus discontinuidades estructurales.
- e) Recuperación de muestras representativas inalteradas y remoldeadas para ensayos de caracterización del suelo o de la roca, y de los materiales para la construcción.
- f) Evaluación del comportamiento de instalaciones existentes en la vecindad inmediata del sitio
- g) propuesto, con respecto al material de fundación y el medio ambiente.
- h) Instrumentación en el sitio para medir movimientos por medio de inclinómetro, placa de asentamiento, etc.

Segundo

5.2 Determinación del perfil de suelos

- Un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y datos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto en cuestión.
- Pueden emplearse métodos geofísicos de exploración para complementar los datos de las perforaciones y afloramientos, y para interpolar entre los hoyos. Los métodos sísmicos y de resistividad eléctrica, pueden resultar particularmente valiosos cuando las diferencias nítidas en las propiedades de materiales sub superficiales contiguas están indicadas.
- El método de refracción sísmica es especialmente útil para determinar la profundidad a la cual se halla la roca o en sitios donde estratos sucesivamente más densos son encontrados.
- El método de resistividad eléctrica es igualmente útil para determinar la profundidad de la roca, evaluando formaciones estratificadas donde un estrato más denso descansa sobre uno menos denso, y en la investigación de canteras de arena-grava o de otros materiales de préstamo.



Tercero

Las investigaciones geofísicas pueden ser una guía útil para programar los sitios de perforaciones y calicatas. En lo que sea posible, la interpretación de estudios geofísicos deberá ser verificada por perforaciones o excavaciones de prueba.

- La profundidad de las calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1,5 m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar o disminuir esa profundidad. Los sondeos para estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis superficial de transmisión de esfuerzos.
- Donde el drenaje pueda ser afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que lo puedan obstaculizar, las perforaciones deberán prolongarse suficientemente dentro de estos materiales para determinar las propiedades hidrogeológicas y de ingeniería, relevantes para el diseño del proyecto.
- En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para obtener las cantidades requeridas de material que cumpla los requerimientos de calidad especificada.

5.3 Los registros de perforaciones deberán incluir:

- Descripción de cada sitio o área investigada, con cada hueco, sondeo o calicata, localizado claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente. Perfil estratigráfico de cada hueco, sondeo o calicata, o de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos o palabras.
- Fotografías en colores de núcleos de roca, muestras de suelos y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad. Cada fotografía deberá identificarse con fecha y un número o símbolo específico, una fecha y escala de referencia.
- La identificación de todos los suelos deberá basarse en las presentes normas para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para



construcción de carreteras, en la norma sobre descripción mediante procedimientos manuales y visuales, o en la de identificación de rocas.

- Las áreas acuíferas, drenaje subterráneo y profundidad del nivel freático hallado en cada perforación, calicata o hueco.
- Los resultados de ensayos en sitio (in situ), donde se requieran, como los de penetración o los de veleta u otros ensayos para determinar propiedades de suelos o rocas.
- Porcentaje de recuperación de núcleos e Índice Calidad de Roca en perforaciones de núcleo.
- Representación gráfica de campo y laboratorio y su interpretación facilita el entendimiento y comprensión de condiciones superficiales.

Cuarto

5.4 Perfil Subsuperficial

Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente en base a perforaciones reales o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios deberá hacerse con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica que se tenga disponible, anotando claramente que tal interpolación o continuidad asumida de estratos, es tentativa.

6. Resultados

Interpretación de los resultados

La extrapolación de datos en áreas locales no investigadas puede hacerse de manera tentativa, únicamente cuando se conozca que existe geológicamente una disposición sub superficial uniforme del suelo y de la roca siendo la interpretación de responsabilidad del especialista. Las propiedades de los suelos y rocas de proyectos importantes, no deberán predecirse solamente con base en la simple identificación o clasificación en el terreno, sino que deberán comprobarse mediante ensayos de laboratorio y de terreno. Las recomendaciones de diseño deben ser formuladas por especialistas en geotecnia o por ingenieros de carreteras familiarizados con los problemas comunes en dichas áreas.



ANEXO SIMBOLOS GRAFICOS PARA SUELOS

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016.

7. Conclusiones

- 7.1 Conocer los procedimientos básicos para el muestreo de suelos y rocas.
- 7.2 Ejecutar de forma adecuada los procedimientos establecidos en esta Guía propuesta.

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



ANEXO:

Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO			
CURSO:	Mecánica de Suelos	SECCION			
DOCENTE:					
ENSAYO:		N°01 CLASIFICACION VISUAL-MANUAL DE SUELOS			
Muestra N°					
1 Ubicación					
2 Humedad	Seco	Humedo	Saturado		
3 Color					
4 Profundidad de calicata	Estrato				
Solo para fraccion Gruesa					
4 Porcentaje de bolonería presente en la muestra				%	
5 Porcentaje de fracciones constituyentes	Grava	Arena	Finos		
	%	%	%		
6 Gradacion	Bien Graduada (W)		Mal Graduada (P)		
7 Angularidad	Angulares		Redondeadas		
8 Tamaño máximo	mm				
Solo para fraccion Fina					
9 Consistencia	Muy blando	Blando	Compacto		Muy compacto
10 Plasticidad	Ninguna	Baja	Media	Alta	Muy alta
11 Resistencia en estado seco	Ninguna	Baja	Media	Alta	Muy alta
12 Estructura	Estratificada	Laminada	Fisurada	Clivada	Homogenea
13 Cementacion	Debil		Moderada		Fuerte
Descripcion del Suelo					
ITEM	ALUMNO		CÓDIGO	FIRMA	
ENSAYO:		N°01 CLASIFICACION VISUAL-MANUAL DE SUELOS			
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:	FECHA	



Guía de práctica N° 2:

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

2. Fundamento Teórico

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}^*$. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Nota 1. (*) El secado en horno siguiendo en método (a $110 \text{ }^\circ\text{C}$) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelos contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ o en un desecador a temperatura ambiente.

Referencias Normativas

ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.



3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	Precisión de 0.01g y 0.1g	1
2	Horno de secado	temperatura de 110 ± 5 °C	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	bandejas	Latón de 30cm*20cm	3
2	tenazas	De acero	1
3	cuchillos	De acero	1
4	espátulas	Platina de 0.8mm	1
5	cucharón	Capacidad de 1/2 y 1/4 kg	2

4. Indicaciones/instrucciones:

ESPECIMEN DEL ENSAYO

La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

TABLA #1

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		$a \pm 0,1\%$	$a \pm 1\%$
2 mm o menos	2,00 mm (N° 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (N° 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Nota.- * **Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.**

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016.

Si se usa toda la muestra, ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

5. Procedimientos:

Primero

SELECCION DEL ESPECIMEN DE ENSAYO

Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de



humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

Segundo

Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):

Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.

Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de material, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho ó alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.

Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.

En muestras intactas tales como: bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra. Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm., o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.

Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en 6.2.3.c. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.



Nota . El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestre la sección completa. Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

Procedimiento de muestra inalterada.

Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).

Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la TABLA #1 de este ensayo.

Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase de este ensayo) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

Nota. Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

Nota. Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.



6. Resultados

CALCULOS

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$
$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%)
M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos
M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.
M_C = es el peso del contenedor, en gramos
M_W = es el peso del agua, en gramos
M_S = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

7. Conclusiones

El ensayo realizado debe de emitir un Informe que contenga lo siguiente:

- La identificación de la muestra (material) ensayada, tal como el número de la perforación, número de muestra, número de ensayo, número de contenedor, etc.
- El contenido de agua del espécimen con aproximación al 1 % ó al 0,1 %, como sea apropiado dependiendo de la mínima muestra usada. Si se usa este método conjuntamente con algún otro método, el contenido de agua del espécimen deberá reportarse al valor requerido por el método de ensayo para el cual se determinó el contenido de humedad.
- Indicar si el espécimen de ensayo tenía un peso menor que el indicado en 6.1.2 de este ensayo.
- Indicar si el espécimen de ensayo contenía más de un tipo de material (estratificado, etc.).
- Indicar el método de secado si es diferente del secado en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Indicar si se excluyó algún material del espécimen de ensayo.

8. Sugerencias y/o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



ANEXO

Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO	
CURSO:	Mecánica de Suelos		SECCION :
DOCENTE:			
ENSAYO:	N°02 CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108-2000 ASTM D 2216		
1	Ubicación		
2	Estrato	Profundidad	
Muestra N°01			
Peso del recipiente (1)		kg	gr
Peso de la muestra natural (2)		kg	gr
Peso de la muestra seca (3)		kg	gr
Peso del agua en la muestra (4) = (2) - (3) - (1)		Kg	gr
Muestra N°02			
Peso del recipiente (1)		kg	gr
Peso de la muestra natural (2)		kg	gr
Peso de la muestra seca (3)		kg	gr
Peso del agua en la muestra (4) = (2) - (3) - (1)		Kg	gr
Muestra N°03			
Peso del recipiente (1)		kg	gr
Peso de la muestra natural (2)		kg	gr
Peso de la muestra seca (3)		kg	gr
Peso del agua en la muestra (4) = (2) - (3) - (1)		Kg	gr
$W = \frac{\text{Peso del agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$		Muestra N°01	%
W : contenido de humedad (%)		Muestra N°02	%
		Muestra N°03	%
		Promedio	%
ITEM	ALUMNO	CÓDIGO	FIRMA
ENSAYO:	N°02 CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO MTC E 108-2000 ASTM D 2216		
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:
			FECHA



Guía de práctica N° 3:

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. **Propósito /Objetivo** (de la práctica):
Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

2. **Fundamento Teórico**

- a. Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).
- b. Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

Referencias Normativas

ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

3. **Equipos, Materiales y Reactivos**

- 3.1. **Equipos**

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	Precisión de 0.01	1
2	Balanza	Precisión de 0.1	1
3	Estufa	mantener temperaturas de 110 ± 5 °C	1
4	Agitador de tamices	Rotab motorizado	1

- 3.2. **Materiales**

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Tamiz 3"	Acero inoxidable	1
2	Tamiz 2"	Acero inoxidable	1
3	Tamiz 1 1/2"	Acero inoxidable	1
4	Tamiz 1"	Acero inoxidable	1
5	Tamiz 3/4"	Acero inoxidable	1
6	Tamiz 3/8"	Acero inoxidable	1



7	Tamiz #4	Acero inoxidable	1
8	Tamiz #10	Acero inoxidable	1
9	Tamiz #20	Acero inoxidable	1
10	Tamiz #40	Acero inoxidable	1
11	Tamiz #60	Acero inoxidable	1
12	Tamiz #140	Acero inoxidable	1
13	Tamiz #200	Acero inoxidable	1
14	Tapa de tamiz	Acero inoxidable	1
15	Fondo de tamiz	Acero inoxidable	1
16	bandejas	De latón 30*20cm	2
17	Cucharón	De acero inoxidable	2
18	Taras	De acero inoxidable	4
19	brocha	De mango de madera de 4"	2
20	Cepillo metálico	De cerdas de acero	1

Los Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.00
2"	50.80
1 1/2"	38.10
1"	25.40
3/4"	19.00
3/8"	9.50
#4	4.76
#10	2.00
#20	0.84
#40	0.43
#60	0.26
#140	0.11
#200	0.075

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016.

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.00
1 1/2"	38.10
3/4"	19.00
3/8"	9.50
#4	4.76
#8	2.36
#16	1.10
#30	0.59
#50	0.30
#100	0.15
#200	0.075

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016.

**4. Indicaciones/instrucciones:****a. LA MUESTRA:**

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos

por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 1:

Tabla 1

Diámetro Nominal de la partículas más grandes mm (pulg.)	Peso mínimo aproximado de la porción (gr.)
9.50 (3/8")	500
19.60 (3/4")	1000
25.40 (1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
50.80 (2")	4000
75.00 (3")	5000

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016.

El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,76° mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4),



Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

5. Procedimientos:

Primero

Análisis por medio de Tamizado de la fracción retenida en el Tamiz de 4,760 Mm (Nº4).

- a. Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.00
2"	50.80
1 1/2"	38.10
1"	25.40
3/4"	19.00
3/8"	9.50
#4	4.76

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016.

- b. los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.
- c. En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.
- d. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.
- e. Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.



Segundo

Análisis granulométrico de la fracción Fina

- a. El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.
- b. Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- c. Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda. Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009. Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.
- d. La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).
- e. Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).
- f. Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- g. Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- h. Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- i. Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- j. Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y se pesa.

6. Resultados

i. CALCULOS

Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (N°4):



Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (N°4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4,760 mm (N°4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera. Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4):

Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N° 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa malla } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W1}{W1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire
W1 = Peso de suelo secado en el horno



7. Conclusiones

Informe

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- b) Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- c) Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprende un ensayo completo de sedimentación.

Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

a) Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.

b) Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es.

Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.

c) Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.

d) La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.

e) Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.

f) Errores en las pesadas y en los cálculos.

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



Guía de práctica N° 4:

DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Discusión: Se considera que la resistencia al corte no drenada del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi).

El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

2. Fundamento Teórico

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los límites: líquido y plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad

Frecuentemente se utilizan tres métodos para evaluar las características de intemperización de materiales compuestos por arcilla-lutita. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites de estos materiales tienden a incrementarse. La magnitud del incremento se considera ser una medida de la susceptibilidad de la lutitas a la intemperización.



El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo.

Referencias Normativas

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	vasija de porcelana	115 mm (4 ½") de diámetro	1
2	Aparato del límite líquido (o de Casagrande).	Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos	1
3	Acanalador	De bronce	1
4	capsula	Resistente a la corrosión	5
5	balanza	Precisión 0.01g	1
6	Horno o estufa	conservar temperaturas de 110±5°C con termostato	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Espátula	De hoja flexible (3"- 4")	1
2	taras	Acero inoxidable	3

3.3. Insumos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Pureza del agua	1

4. Indicaciones/instrucciones:

LA MUESTRA

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425 µm (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.



5. Procedimientos:

Primero

Multipunto

Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una

Profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

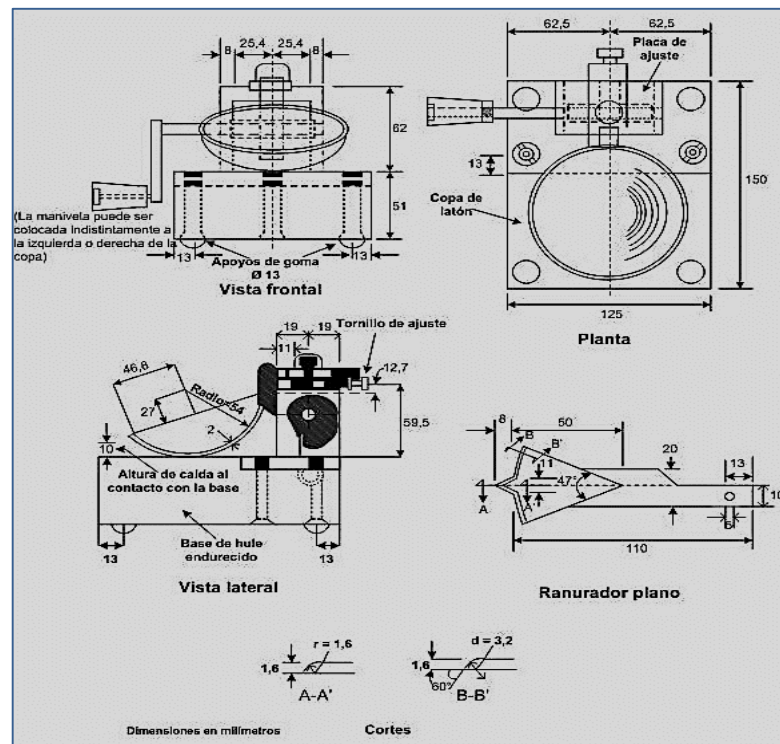
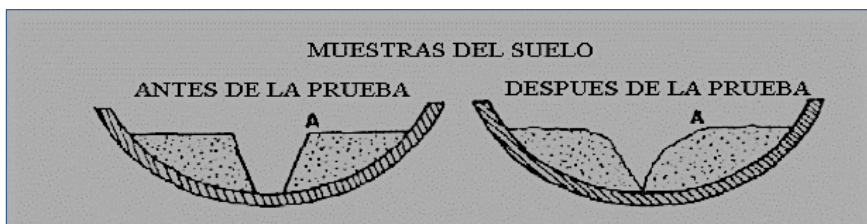


Figura 1: Aparato manual para límite líquido

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016



FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016



Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede

cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.

Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).

Nota. Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2 pulg).

Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir de 6.1 a 6.3 a un contenido más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

Registrar el número de golpes, N , necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.

Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.

Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 6.1 a 6.6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos



para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.

Segundo

Determinar el contenido de humedad, W_n , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

Un punto

El ensayo se efectúa en la misma manera

6. Resultados

Representar la relación entre el contenido de humedad, W_n , y el número de golpes correspondientes, N , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.

Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

(Un punto)

Determinar el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

Donde:

- N = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad,
- W_n = Contenido de humedad del suelo,
- K = factor dado en la tabla A.1



Tabla A -1

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
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: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

Tabla A -2
Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Líquido	0,8	2,4
Precisión Multilaboratorio		
Límite Líquido	3,5	9,9

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

7. Conclusiones

PRECISION

El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

DISPERSION

Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



ANEXO

Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO	
CURSO:	Mecánica de Suelos	SECCION:	
DOCENTE:			
ENSAYO:		N°04 LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO MTC E 111-2000 ASTM D 4318 AASHTO T 90	
Muestra N°			
1	Ubicación		
2	Estrato	Profundidad	
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO		DETERMINACION DE LIMITE PLASTICO	
Capsula N°		Capsula N°	
Peso de la capsula		Peso de la capsula	
P.cap + Suelo Humedo		P.cap + Suelo humedo	
P.cap + suelo seco		P.cap + Suelo seco	
Humedad ω %		Humedad ω%	
Numero de Golpes N			
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES			
10	25	100	
NUMERO DE GOLPES			
ITEM	ALUMNO	CÓDIGO	FIRMA
ENSAYO:		N°04 LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO MTC E 111-2000 ASTM D 4318 AASHTO T 90	
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:
			FECHA



Guía de práctica N° 5:

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.)

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo

2. Fundamento Teórico

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los plásticos de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad.

Referencias Normativas

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.



3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Espátula	De hoja flexible	1
2	recipiente	De 4 1/2" de diametro	1
3	balanza	Precisión de 0.01 gr	1
4	estufa	regulable a 110 ± 5 °C	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Tamiz #40	Acero inoxidable	1
2	Vidrio de reloj	Determinación de humedad	1
3	Vidrio esmerilado	Superficie de rodadura	1
4	brocha	Mango de madera	1
5	taras	De acero inoxidable	2
6	capsulas	Con tapa	3

3.3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Pureza del agua	1/2 litro

4. Indicaciones/instrucciones:

LA MUESTRA

Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añada más agua.



5. Procedimientos:

Primero

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

Segundo

Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.

6. Resultados

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla para la precisión de un operador.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Plástico	0,	2,6
Precisión Multilaboratorio		
Límite Plástico	3,	10,6

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

7. Conclusiones

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$



Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



ANEXO

Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO																																					
CURSO:	Mecánica de Suelos	SECCIÓN:																																					
DOCENTE:																																							
ENSAYO:		N°04 LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO MTC E 111-2000 ASTM D-4318 AASHTO T 90																																					
Muestra N°																																							
1 Ubicación																																							
2 Estrato		Profundidad																																					
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO		DETERMINACION DE LIMITE PLASTICO																																					
Capsula N°		Capsula N°																																					
Peso de la capsula		Peso de la capsula																																					
P.cap + Suelo Humedo		P.cap + Suelo humedo																																					
P.cap + suelo seco		P.cap + Suelo seco																																					
Humedad w %		Humedad w%																																					
Numero de Golpes N																																							
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">ITEM</th> <th style="width: 40%;">ALUMNO</th> <th style="width: 20%;">CÓDIGO</th> <th style="width: 25%;">FIRMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				ITEM	ALUMNO	CÓDIGO	FIRMA																																
ITEM	ALUMNO	CÓDIGO	FIRMA																																				
ENSAYO:		N°04 LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO MTC E 111-2000 ASTM D-4318 AASHTO T 90																																					
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:																																				
			FECHA																																				



Guía de práctica N° 6:

MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de sólidos de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (N° 4) mediante un picnómetro de agua. Cuando el suelo contiene partículas más grandes que la malla de 4,75 mm, el Método de Ensayo MTC E 206 podrá ser usado para los sólidos de suelo retenidos en el tamiz de 4,75 mm y este método de ensayo podrá ser usado para los sólidos de suelo que pasen el tamiz de 4,75 mm.

Los sólidos de suelo para estos métodos de ensayo no incluyen sólidos los cuales puedan ser alterados por estos métodos, contaminados con una sustancia que prohíba el uso de estos métodos, o que son sólidos de suelo altamente orgánicos, tales como materias fibrosas flotando en el agua.

2. Fundamento Teórico

La gravedad específica de los sólidos de suelo es usado en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación.

La gravedad específica de sólidos de suelo es usado para calcular la densidad de los sólidos de suelo. Esto se logra multiplicando su gravedad específica por la densidad de agua (a una temperatura apropiada)

El término de sólidos de suelo es típicamente asumido a representar partículas minerales formadas naturalmente o suelo como partículas que no son solubles rápidamente en el agua. Por lo tanto, La gravedad específica de sólidos de suelo conteniendo material extraño, tal como cemento, limo, y como un material soluble en el agua, tal como cloruro de sodio, y suelos conteniendo material con una gravedad específica menor que el de él, típicamente requiere de un tratamiento especial (ver Nota 1) o una definición calificada de su gravedad específica.

**Referencias Normativas**

NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo.

3. Equipos, Materiales y Reactivos**3.1. Equipos**

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Picnómetro	matraz taponado	2
2	Balanza	Precisión de 0.01g	1
3	Horno de Secado	temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$	1
4	Bomba de alto vacíos	Equipo de succión de vacíos	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Termómetro	aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$ y rango -1 a 57°C	1
2	Embudo	plástico	1
3	Tamiz – N° 4 (4,75m)	Acero inoxidable	1
4	pipeta	plástico	1
5	estufa	De dos hornillas	1
6	brocha	Mango de madera	1
7	Taras	De acero inoxidable	3

3.3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Pureza del agua	3 litros

4. Indicaciones/instrucciones:**DE LA MUESTRA**

El espécimen de ensayo puede ser suelo húmedo o secado al horno y podrá ser representativo de los sólidos de suelo que pasen la malla U.S. Estándar N° 4 en el total de la muestra. La Tabla 1 da guías en cuanto a masas de suelo seco versus tipo de suelo y tamaño de picnómetro.

Dos importantes factores concernientes a la cantidad total de sólidos de suelo que estén siendo ensayados son los siguientes. Primero, la masa de los sólidos de suelo divididos por su peso específico tendrán cuatro dígitos significantes. Segundo, la mezcla de los sólidos de suelo y agua es una pasta aguada no un fluido altamente viscoso (pintura espesa) durante el proceso de desairado.



Masa redondeada para el Espécimen de Ensayo

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (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: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

5. Procedimientos:

Primero

MÉTODO A

Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0,01g (típicamente 5 dígitos significantes). Repita esta determinación cinco veces. Una balanza debería ser usada para todas las mediciones de masa. Determinar y registrar el promedio y la desviación estándar. La desviación estándar podrá ser menor o igual que 0,02g. Si es mayor, probar con mediciones adicionales o usar una balanza más estable o precisa.

Llenar el picnómetro con agua desairada por encima o debajo de la marca de calibración dependiendo del tipo de picnómetro y la preferencia del laboratorio para añadir o remover agua.

Se recomienda que el agua sea removida para llevar el nivel de agua a la marca de calibración.

El método de remoción reduce los cambios de alteración del equilibrio termal por reducción del número de veces que el contenedor aislado es abierto.

El agua debe estar desairada para asegurar que no hayan burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada ya sea mediante ebullición, vacío, combinación de vacío y calentamiento, o un mecanismo de desairado. Esta agua desairada no debería ser usada hasta que se haya equilibrado la temperatura del cuarto. También, esta agua podrá ser añadida al picnómetro

Más de seis picnómetros pueden ser calibrados concurrentemente en cada contenedor aislado.

Poner el picnómetro(s) dentro del contenedor aislado y cubierto junto con el termómetro (en un vaso picudo de agua), tapón(es) (si un picnómetro taponado está siendo usado), y agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una



pipeta. Dejar el picnómetro(s) llegar al equilibrio termal (por al menos 3 horas). La temperatura de equilibrio debería estar dentro de 4°C de la temperatura del cuarto y entre 15 y 30°C .

Mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abrir el contenedor y remover un picnómetro. Solo la corona del picnómetro podrá ser tocada para prevenir el calentamiento por manipuleo cambiando el equilibrio termal. Trabajar ya sea en el contenedor o colocar el picnómetro en un bloque aislado (Styrofoam) mientras se realice los ajustes en el nivel del agua.

Si se usa un matraz volumétrico como picnómetro, ajustar el agua a la marca de calibración, con la parte inferior del nivel de los meniscos en la marca. Si el agua tiene que ser añadida usar el agua termalmente equilibrada del contenedor aislado. Si el agua tiene que ser removida, usar un pequeño tubo de succión o una tolla de papel. Revisar y remover cualquier glóbulo de agua en el alma del picnómetro o en el exterior del matraz. Medir y registrar la masa del picnómetro y agua con una aproximación al $0,01\text{g}$.

Si un matraz taponado es usado, colocar el tapón en la botella, entonces remover el exceso de agua usando un gotero. Secar la punta o corona usando una toalla de papel. Estar seguro de que el exterior del matraz está seco por completo. Medir y registrar la masa del picnómetro y el agua con una aproximación al $0,01\text{g}$.

Medir y registrar la temperatura del agua con una aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$ usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado. Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión apropiada, Regresar el picnómetro al contenedor aislado. Repetir las mediciones para todos los picnómetros en el contenedor.

Tercero

MÉTODO B

Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndose a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Desmenuzar algunos terrones de suelo usando un mortero y mano. Si el suelo no se dispersara fácilmente después del secado o ha cambiado su composición, use el Método de Ensayo A.

Colocar el embudo en el picnómetro. El pico del embudo debe extenderse pasando la marca de calibración o sello del tapón. Vierta directamente los sólidos de suelo en el embudo. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del picnómetro usando un spray de lavado en una botella a presión.



Preparando la pasta aguada de suelo – Añada agua hasta que el nivel del agua esté entre $1/3$ y $1/2$ de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Agite el agua hasta que la pasta aguada se forme. Enjuagar cualquier suelo adherido al picnómetro en la pasta.

Si la pasta aguada no está formada pero si una pasta viscosa, use un picnómetro teniendo un volumen mayor.

Nota. Para algunos suelos conteniendo una fracción significativa de material orgánico, el kerosén es un mejor agente de humedecimiento que el agua y puede ser usado en lugar del agua destilada para los especímenes secados al horno. Si el kerosén es usado, el aire entrampado debería ser solo removido mediante el uso de un aspirador. El kerosén es un líquido inflamable que debería ser usado con extremada precaución.

Desairando la pasta aguada de suelo – El aire entrampado en la pasta de aguada de suelo puede ser removido usando ya sea calor (ebullición), vacío o calor y vacío combinados.

Cuando se usa solo el calor (ebullición), use una duración de lámenos 2 horas después de que la mezcla suelo – agua llegue a hervir completamente. Use solo suficiente calor para lograr que la pasta aguada hierva. Agite la pasta aguada como una necesidad de prevenir que alguna partícula de suelo esté pegada o secada en el vidrio por encima de la superficie de la pasta aguada.

Si solo el vacío es usado, el picnómetro debe ser continuamente agitado bajo un vacío de al menos 2 horas. Continuamente agitado significa que los sólidos de suelos limo / arcillosos permanecerán en suspensión, y que la pasta aguada esté en constante movimiento. El vacío debe permanecer relativamente constante y ser lo suficiente para causar burbujeo al inicio del proceso de desairado.

Si la combinación de vacío y calor es usada, los picnómetros pueden ser colocados en un baño de agua templada (no más de 40°C) mientras se aplique el vacío. El nivel de agua en el baño debería estar ligeramente por debajo del nivel de agua en el picnómetro, si el vidrio del picnómetro se calienta, el suelo se pegará y secará típicamente al vidrio. La duración del vacío y el calor deben ser de al menos 1 hora después de iniciada la ebullición. Durante el proceso, la pasta aguada debería ser agitada como una necesidad de mantener la ebullición y prevenir que el suelo se seque en el picnómetro.

Llenado del picnómetro con agua – llene el picnómetro con agua desairada de este ensayo) introduciendo el agua a través de una pieza de tubo de diámetro pequeño con su extremo puesto justo debajo de la superficie de la pasta aguada en el picnómetro o usando el tubo de llenado del picnómetro. Si el tubo de llenado del picnómetro es usado, llene el tubo con agua, y cierre la válvula, coloque el tubo tal



que los hoyos de drenaje estén justo en la superficie de la pasta aguada. Abrir la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya sobre la superficie de la pasta aguada. Al desarrollarse la capa de agua limpia, subir el tubo e incrementar la velocidad de flujo. Si el agua añadida se torna nublosa, no añada agua sobre la marca de calibración o en el área del sello del tapón. Añada el agua remanente el siguiente día.

Si usa el matraz de yodo taponado, llene el matraz, tal que la base del tapón esté sumergida en agua. Entonces apoye el tapón en ángulo en el cuello acampanado para prevenir aire entrampado debajo del tapón. Si usa un matraz volumétrico o taponado, llene el matraz por encima o por debajo de la marca de calibración dependiendo de la preferencia.

Si el calor ha sido usado, deje el espécimen enfriar hasta aproximadamente la temperatura del cuarto.

Equilibrio termal – Ponga el picnómetro(s) en el contenedor aislado. El termómetro (en un vaso picudo de agua), y algo de agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta que debería también ser colocada en el contenedor aislado. Deje este ítem en el contenedor cerrado toda la noche para lograr el equilibrio termal.

Determinación de la masa del picnómetro – Si el contenedor aislado no está posicionado cerca de una balanza, mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abra el contenedor y saque el picnómetro. Solo toque la punta o la corona del picnómetro porque el calor de las manos puede cambiar el equilibrio termal. Coloque el picnómetro en un bloque aislado.

Si usa un matraz volumétrico, ajuste el agua a la marca de calibración siguiendo el procedimiento.

Si el matraz taponado es usado, coloque el tapón en la botella mientras remueve el exceso de agua usando un gotero. Seque la corona usando un papel toalla. Estar seguro de que el exterior del matraz esté seco.

Mida y registre la masa del picnómetro, suelo, y agua con una aproximación de 0,01g usando la misma balanza usada para la calibración del picnómetro.

Determinación de la temperatura del picnómetro – Mida y registre la temperatura de la mezcla pastosa aguada de suelo agua con una aproximación de 0,1°C usando el termómetro y el método usado durante la calibración, Esta es la temperatura de ensayo.

Masa del suelo seco – determine la masa de una tara o platillo con una aproximación de 0,01g.



Transfiera el suelo pastoso aguado a la tara o platillo. Es imperativo que todo el suelo sea transferido. El agua puede ser añadida. Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y enfriarlo en un secador. Si la tara puede ser sellada de manera que el suelo no pueda absorber humedad durante el enfriamiento, un secador no será necesario. Mida la masa seca de los sólidos de suelo con la tara con una aproximación de 0,01 g usando la balanza designada, calcule y registre la masa de los sólidos de suelo secos con una aproximación de 0,01 g.

Nota. Este método ha sido probado para proveer más consistencia, repitiendo resultados que determinen la masa seca previa al ensayo. Esto es lo más probable debido a la pérdida de sólidos de suelo durante la fase de de-airado del ensayo.

6. Resultados

CALCULOS

Calcule la masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo como sigue:

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

Donde:

$M_{pw,t}$ = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (Tt), g, M_p = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g,

V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro, mL, y

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/mL de la Tabla 2.

Calcule el peso específico de los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, G_t como sigue:

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

Donde:

ρ_s = La densidad del sólidos de suelo Mg/m³ o g/cm³,

$\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), de la Tabla 2, g/mL o g/cm³.

M_s = la masa de los sólidos de suelo secadas al horno (g), y

$M_{pws,t}$ = la masa del picnómetro, agua, y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, (Tt), g.

Calcule la gravedad específica de los sólidos de suelo a la a 20°C como sigue:

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



Donde:

K= el coeficiente de temperatura dado en la Tabla.

Para sólidos de suelo conteniendo partículas más grandes que el tamiz de 4,75mm (N°4) para el cual el Método de Ensayo ASTM C 127 fue usado para determinar el peso específico de estas.

TABLA
Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas^A

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Coeficiente de temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Coeficiente de temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Coeficiente de temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Coeficiente de temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99879	1,00057	18,0	0,99866	1,00039
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072	17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071	17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069	17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067	17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066	17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064	17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062	17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061	17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059	17,9	0,99862	1,00041	18,9	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
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998	21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996	21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994	21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992	21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990	21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987	21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985	21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983	21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981	21,9	0,99780	0,99959	22,9	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
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907	25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904	25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902	25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899	25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897	25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894	25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892	25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889	25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887	25,9	0,99681	0,99860	26,9	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
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800	29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797	29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794	29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791	29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788	29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785	29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783	29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780	29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777	29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016



7. Conclusiones

7.1 El método usado para especificar como los datos son registrados en las hojas de datos de ensayo o formularios, como los datos debajo, es la forma industrial estándar, y son representativos de los dígitos significantes que deberían estar contenidos. Estos requerimientos no consideran variación de material in situ, uso de los datos, estudios de especial propósito, o algunas consideraciones para los objetivos del usuario. Es práctica común incrementar o reducir dígitos significantes de los datos reportados conmensurados con estas consideraciones. Esta más allá de los alcances de esta norma considerar dígitos significantes usados en los métodos de análisis para diseño de ingeniería.

Reportar como mínimo la siguiente información (data):

Identificación del suelo que está siendo ensayado, tal como número de perforación o sondeo, número de muestra, profundidad, y número de ensayo.

Clasificación visual del suelo que está siendo ensayado (grupo, nombre y símbolo en acuerdo con la práctica ASTM D 2487).

Porcentaje de partículas de suelo pasando la malla 4,75mm (Nº4).

Si algún suelo o material fue excluido del espécimen de ensayo, describir el material excluido.

Método usado (Método A o B).

Todas las medidas de masa (con aproximación al 0,01g).

Temperatura de ensayo (con aproximación al 0,1°C).

Peso específico a 20°C (G , G_s , $G_{20^\circ C}$) con una aproximación de 0,01. Si se desea, valores próximos a 0,001 pueden ser registrados.

Peso específico promedio a 20°C (G_{ave} o $G_{avg@20^\circ C}$) con aproximación a 0,01, si es aplicable.

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



ANEXO

Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO		
CURSO:	Mecánica de Suelos		SECCION	
DOCENTE:				
ENSAYO:	N°06 PESO ESPECIFICO / GRAVEDAD DE SOLIDOS / GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS MTC E 113 - 2000 ASTM D 854			
Muestra N°				
1	Ubicación			
2	Estrato	Profundidad		
GRAVEDAD DE SOLIDOS (Gs)				
	Temperatura (°C)	Peso Especifico del agua (gr/cm ³)	Factor de Corrección α	
Peso del picnometro	16	0.99897	1.0007	
Temperatura °C	17	0.99880	1.0006	
Factor de correccion α	18	0.99862	1.0004	
Ws :peso del suelo seco	19	0.99843	1.0002	
	20	0.99823	1.0000	
W1: picnometro + agua + suelo	21	0.99802	0.9998	
	22	0.99780	0.9996	
W2:picnometro + agua	23	0.99757	0.9993	
	24	0.99732	0.9991	
W2:picnometro + agua	25	0.99707	0.9988	
Vs=Ws+W2-W1	26	0.99681	0.9986	
Gs= α Ws/ Vs	27	0.99654	0.9983	
	28	0.99626	0.9980	
	29	0.99597	0.9977	
	30	0.99567	0.9974	
PROPIEDADES INDICE				
Gravedad Especifica (Gs)				
Humedad , ω (%)				
Peso Especifico γ (gr/cm ³)				
Grado de Saturacion S(%)				
Peso Especifico Seco γ _d (gr/cm ³)				
Peso especifico sumergido γ _s (gr/cm ³)				
Porosidad n				
Relacion de Vacios e				
ITEM	ALUMNO	CÓDIGO	FIRMA	
ENSAYO:	N°06 PESO ESPECIFICO / GRAVEDAD DE SOLIDOS / GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS MTC E 113 - 2000 ASTM D 854			
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:	FECHA



Guía de práctica N° 7:

ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y

AGREGADO FINO

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. **Propósito /Objetivo** (de la práctica):

Este método de ensayo se propone servir como una prueba de correlación rápida de campo. El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). El término "equivalente de arena", expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.

Nota 1. Algunos realizan la prueba sobre material con un tamaño máximo más pequeño que el tamiz N°4 (4,75mm). Esto se hace para evitar que se atrapen los finos arcillosos o plásticos y el polvo en las partículas comprendidas entre los tamices N°4 a 8 (4,75mm a 2,36 mm). El ensayo de materiales con tamaño máximo más pequeño, puede disminuir los resultados numéricos de la prueba.

2. **Fundamento Teórico**

Finalidad y alcance:

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fineza, y carácter del material arcilloso presente en el espécimen de ensayo.

Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en los agregados.

Este método de ensayo provee un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.



3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Agitador mecánico	sostener el cilindro plástico graduado	1
2	Un cilindro graduado	de plástico acrílico con tapón	1
3	Horno	Mantener temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$	1
4	Balanza	De precisión 0.1g	1
5	Tubo de irrigador	De jebe apropiado	1
6	contrapeso	De acero inoxidable	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Lata de medición	Capsula de latón	1
2	Tamiz N°4 (4,75mm)	Acero inoxidable	1
3	Embudo	plástico	1
4	Jarra	Plástico de 1 litro	1
5	tara	Acero inoxidable	3
6	cronometro	general	1
7	Papel filtro		1
8	bandeja	Acero inoxidable	1
9	cucharon	Acero inoxidable 1/4kg y 1/2kg	2

3.3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Stock de Solución	Mezcla efectuada	400

Referencias Normativas

NTP 339.146:2000: Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

4. Indicaciones/instrucciones:

MUESTRA

Muestrear el material a ser ensayado en concordancia con ASTM D 75.

Mezclar completamente la muestra y reducirla si es necesario, usando los procedimientos aplicable en NTP 339.089.

Obtener como mínimo 1500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75mm) de la siguiente manera:

Separar la muestra en el tamiz N°4(4,75mm) por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado por una acción chocante, de tal manera que se mantenga a la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie del tamiz. Continuar el tamizado hasta que no más del 1% en peso del residuo pase el tamiz durante 1 min. La operación de tamizado puede ser realizada a mano o mediante un aparato mecánico. Cuando se está determinado, todo el tamizado mecánico, usar el método manual descrito mas arriba, usando una capa simple de material sobre el tamiz.



Desmenuzar cualquier grumo de material en la fracción gruesa que pase el tamiz N°4 (4,75mm). Se puede usar un mortero y un pisón cubierto de jebe o cualquier otro medio que no cause apreciable degradación del agregado.

Remover cualquier capa de finos adheridos a los agregados gruesos. Esos finos se pueden remover secando superficialmente el agregado grueso y refregando luego con las manos sobre un recipiente plano.

Añadir el material pasante del tamiz obtenido en 5.3.b y 5.3.c de este ensayo para separar la porción fina de la muestra.

Preparar especímenes de ensayo del material pasante la porción del tamiz N°4 (4,75mm) de la muestra por cualquiera de los procedimientos descritos en 6.1.1 o 6.1.2 de este ensayo.

Nota 5. Los experimentos muestran que cuando la cantidad de material que siendo reducido por cuarteo decrece, también decrece la seguridad de obtener muestras representativas. Por esta razón, es imperativo que se ejerza extremo cuidado cuando se preparan los especímenes de ensayo.

5. Procedimientos:

Primero

PREPARACION DEL ENSAYO

Preparación de la muestra de ensayo, Procedimiento A:

Si fuera necesario, verter el material para evitar la segregación o pérdida de finos durante las operaciones de cuarteo. Tener cuidado al añadir humedad a la muestra para mantener un condición libre de flujo de material.

Usando el recipiente de medida, tomar cuatro de estas medidas de la muestra. Cada vez que una medida llena del material es recogida de la muestra, golpee el extremo inferior de la medida sobre una mesa de madera u otra superficie dura por lo menos cuatro veces y sacúdala ligeramente para producir una medida de material consolidado a nivel o ligeramente redondeado sobre el extremo.

Determinar y registrar la cantidad de material contenido en esas cuatro medidas por peso o por volumen en un cilindro plástico seco.

Retornar el material a la muestra y proceder a cuartear la muestra usando el procedimiento aplicable en NTP 339.089 y haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando este peso o volumen son obtenidos, dos



operaciones adicionales sucesivas de cuarteo sin ajuste, deberán proporcionar la cantidad apropiada de material para rellenar la medida, y proporcionar por lo tanto un espécimen de ensayo.

Secar el espécimen de ensayo a peso constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y enfriar a la temperatura del cuarto antes de ensayar.

Nota. Los resultados del equivalente de arena sobre especímenes de ensayo que no han sido secados generalmente serán más bajos que los resultados obtenidos sobre especímenes de ensayo idénticos que si han sido secados. Como una forma de ahorrar tiempo, es permisible ensayar más materiales sin secarlos, cuando el valor del equivalente de arena es usado para determinar el cumplimiento de una especificación con un mínimo valor de ensayo aceptable. Si el resultado del valor de ensayo es más bajo que lo especificado, sin embargo, será necesario repetir la prueba sobre un espécimen de ensayo secado.

Si el equivalente de arena determinado en una prueba sobre un espécimen de ensayo secado, es más bajo que el límite inferior de la especificación, será necesario realizar dos pruebas adicionales sobre especímenes de ensayo secado, tomados de la misma muestra. El equivalente de arena para una muestra deberá ser determinado de acuerdo con la sección de cálculos.

Preparación del espécimen de ensayo, Procedimiento B:

Manteniendo una condición de flujo libre, vaciar la cantidad suficiente de material para prevenir la segregación o pérdida de finos.

Cuartear de 1 000 a 5 000 g del material. Mezclar completamente con un cucharón de mano en un recipiente circular hacia el medio del recipiente, rotando a este horizontalmente. El mezclado deberá ser continuado por lo menos 1 min para alcanzar uniformidad. Verificar que el material tenga la condición de humedad necesaria, apretando una pequeña porción de la muestra completamente mezclada en la palma de la mano. Si se forma un molde que permite su manipuleo cuidadoso sin romperse, entonces se ha obtenido el correcto rango de humedad. Si el material está muy seco, el molde se desmenuzara y será necesario añadirle agua, remover y reensayar hasta que el material forme un molde. Si el material muestra agua libre, está muy húmedo para ensayar y debe ser drenado y secado al aire, mezclándolo frecuentemente para asegurar uniformidad. Este material húmedo en demasía, formara un buen molde cuando se chequea inicialmente, de tal manera que el proceso de secado debería continuar hasta un chequeo por apretamiento del material de un molde que es mas frágil y delicado al manipuleo que el original. Si el contenido de humedad "como es recibido" está dentro de los límites descritos arriba, la muestra puede ensayarse inmediatamente. Si el contenido de húmeda es alterado para cumplir esos límites, la muestra puede ser puesta en un recipiente, cubierta con una tapa o con una toalla húmeda que no toque el material, por un minuto de 15 min.



Después del tiempo mínimo de curado, remezclar por 1 min sin agua. Cuando esté enteramente mezclado, formar el material en un cono con una trulla.

Tomar la lata de medida en una mano y presionarla directamente en la base de la pila mientras mantiene la mano libre firmemente contra el lado opuesto de la pila.

Cuando la lata atraviesa la pila y emerge, hacer suficiente presión con la mano para que el material llene la lata. Presione firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que consolide en la lata. El material en exceso deberá ser nivelado en la parte superior de la mano, moviendo el filo de la llana en un movimiento de aserrado a lo largo del borde.

Para obtener especímenes de ensayo adicionales, repetir los procedimientos.

Tercero

Procedimiento Operatorio

Ajustar el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) de la solución de trabajo de cloruro de calcio. Coloque la botella a $91 \pm 3\text{cm}$ (36 ± 1 pulg) sobre la superficie de trabajo (véase Fig. 4).

Nota 7. En lugar de la botella de 3,8 L (1,0 gal), se puede usar un recipiente de vidrio o plástico con una mayor capacidad, con tal que el nivel de líquido de solución de trabajo sea mantenido entre 91cm y 114cm (36pulg y 45pulg) sobre la superficie de trabajo.

Empezar el sifón conectándolo a la parte superior de la botella con la solución mediante un pedazo corto de tubo, mientras se abre el sujetador.

Sifonear $102 \pm 3\text{mm}$ ($4 \pm 0,1$ pulg) (indicado en el cilindro graduado) de la solución de trabajo de cloruro cálcico en el cilindro de plástico.

Verter uno de los especímenes de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo (véase Fig. 5).

Golpear ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total del espécimen.

Mantener al espécimen humedecido y al cilindro in disturbado por 10 ± 1 min.

Al final de los 10 min del periodo de humedecimiento, parar el cilindro, y aflojar luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.

Después de aflojar el material del fondo del cilindro, agitar el cilindro y su contenido por uno de los siguientes tres métodos:



Método del agitador Mecánico: Colocar el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena, registrar el tiempo, y permitir que la maquina agite el cilindro y su contenido por 45 ± 1 s.

6. Resultados

CALCULOS

Calcular el equivalente de arena al más cercano 0,1 % como sigue:

$$SE = (\text{Lectura de arena}/\text{lectura de arcilla}) \times 100$$

Donde

:

$$SE = \text{Arena equivalente}$$

Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, reportarlo como el siguiente número entero más alto. Por ejemplo, si el nivel de arcilla fue 8,0 y el nivel de arena fue 3,3; el equivalente de arena calculado será:

$$(3,3/8,0) \times 100 = 41,2$$

Como este equivalente de arena calculado no es un número entero, deberá reportarse como el siguiente entero que es 42.

Si se desea promediar una serie de valores de equivalente de arena, promediar los valores de números enteros, determinados como ha sido descrito en 7.1.2 de este ensayo. Si el promedio de esos valores no es un número entero, elevarlo al siguiente número entero más alto como se muestra en el siguiente ejemplo:

Calcular los valores SE: 41,2; 43,8; 40,9.

Después de redondearlos al siguiente número entero superior, se convierten en 42; 44; 41.

Determinar el promedio de esos valores como sigue:

$$\frac{42 + 44 + 41}{3} = 42,3$$

Desde que el valor promedio no es un número entero, deberá ser redondeado al siguiente número entero mayor, y el valor del equivalente de arena se reporta como 43.

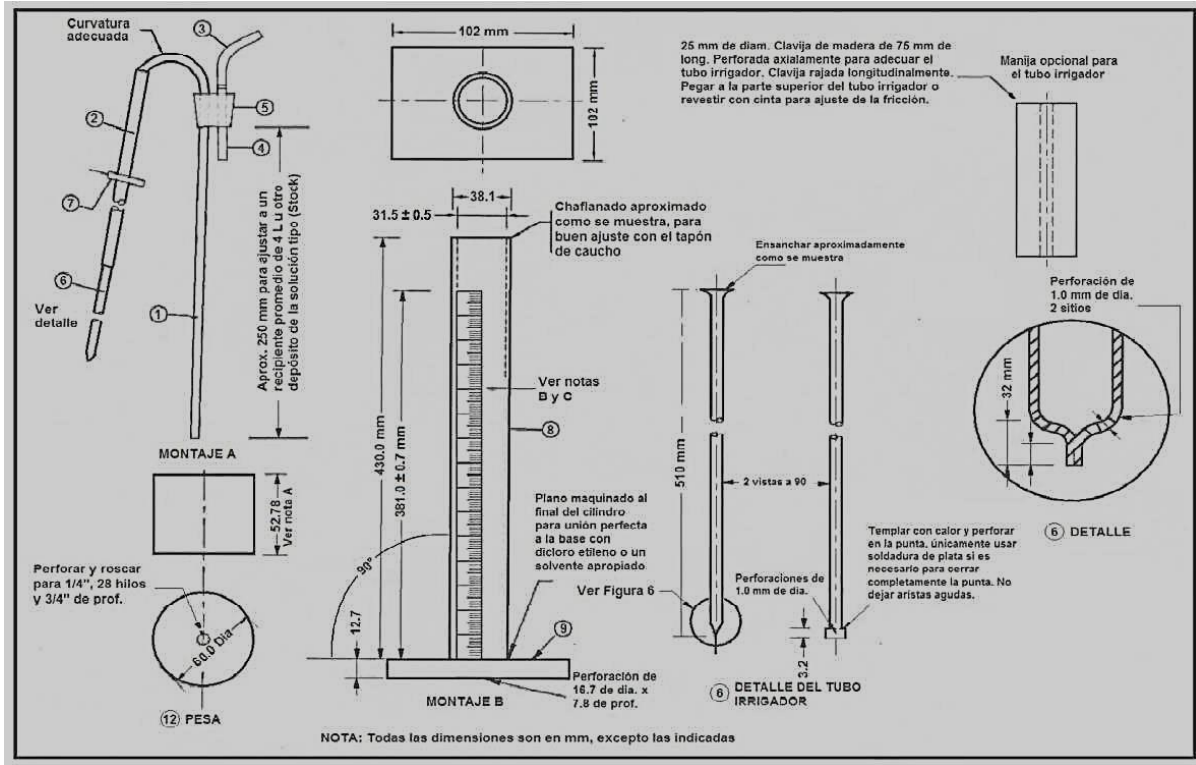


Figura 1: Aparato de Ensayo de equivalente de arena

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

Lista de materiales				
Montaje	Parte N°	Descripción	Tamaño de stock, pulg.	Material
A		Montaje del sifón		Tubo de cobre (puede semiquelado) Tubo de jebe, goma pura o equivalente Tubo de jebe, goma pura o equivalente Tubo de cobre (puede ser niquelado) Jebe
	1	Tubo del sifón	1/4 de diámetro x 16	
	2	Manguera del sifón	3/16 diámetro interno x	
	3	Manguera de golpe	5/16 diámetro interno x	
	4	Tubo de golpe	1/4 de diámetro x 2	
	5	Tapón de 2 agujeros	N° 6	
	6	Tubo irrigador	1/4 diámetro externo x 0,035	
B		Montaje graduado:		Plástico acrílico transparente Plástico acrílico transparente
	8	Tubo	1,50 diámetro externo x	
	9	Base	1/4 x 4 x 4	
C		Montaje de pison de pie		Nylon 101 tipo 66 revenido Bronce (puede ser niquelado) Acero C.R. (puede ser niquelado) Metal resistente a la corrosión Bronce (puede ser
	10	Indicador de lectura de		
	11	arena	1 1/4 de diámetro x 0,59	
	12	Varilla	1/4 de diámetro x 17 1/2	
	13	Peso	2 de diámetro x 2.078	
	14	Tuerca	1/16 de diámetro x 1/2	
	15	Base	11/16 hex x 0,54	
	Tapón solidó	N° 7		

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016



7. Conclusiones

PRECISION

Los siguientes estimados de precisión para este método de ensayo se basan en los resultados del

AASHTO Materials Reference Laboratory (AMRL) programa de Muestra de Referencia, con ensayos llevados a cabo usando el método de ensayo ASTM D 2419 Y el método AASHTO T 176.

No hay diferencias significativas entre los dos métodos. Los datos se basan en los análisis de ocho resultados de pruebas pareadas de 50 a 80 laboratorios, con un rango de valores promedio del equivalente de arena para las muestras, variando de aproximadamente 60 a 90.

Precisión de un único operador: La desviación estándar de un solo operador que se ha hallado es de 1,5 para valores de equivalente de arena mayores de 80 y de 2,9 para valores menores de 80 (1s)*. Por eso, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos por el mismo operador sobre materiales similares, no deberá diferir en más de 4,2 y 8,2*, respectivamente (d2s).

Precisión de laboratorios múltiples: La desviación estándar de laboratorios múltiples se ha encontrado que es de 4,4 para valores de equivalente de arena mayores de 80 y de 8,0 para valores menores de 80 (1s)*. Por eso, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos de diferentes laboratorios sobre materiales similares no deberían diferir en más de 12,5 y 22,6, respectivamente (d2s).

Datos adicionales de precisión están disponibles de un estudio hecho por una agencia estatal involucrando la circulación de pares de muestras de 20 laboratorios en tres ocasiones diferentes.

El rango de los valores de equivalente de arena para esas muestras variaron de aproximadamente 30 a 50; esos fueron materiales conteniendo muchos más finos que las muestras AMRL reportadas en 8.1.1.1 y 8.1.1.2 de este ensayo.

La desviación estándar de los laboratorios múltiples de los ensayos en agencias individuales se encontró ser de 3,2 (1s). Por eso, dentro de los laboratorios de esta agencia, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos de diferentes laboratorios sobre materiales similares, no difieren en más de 9,1 (d2s).

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



ANEXO

		Universidad Continental			ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO		
CURSO:	Mecánica de Suelos				SECCION :		
DOCENTE:							
ENSAYO:	N°07 EQUIVALENTE DE ARENA MTC E 114-2000 ASTM D 2419 AASHTO T 176						
Muestra N°							
1	Ubicación						
2	Estrato	Profundidad					
EQUIVALENTE DE ARENA							
MUESTRA :		IDENTIFICACION				Promedio	
		1	2	3	4		
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	mm						
Hora de entrada a saturación							
Hora de salida de saturación (mas 10")							
Hora de entrada a decantación							
Hora de salida de decantación (mas 20")							
Altura máxima de material fino	mm						
Altura máxima de la arena	mm						
Equivalente de Arena							
$Equivalente de arena (EA) = \frac{lectura\ de\ arena}{lectura\ de\ arcilla} \times 100$		%					
ITEM	ALUMNO			CÓDIGO	FIRMA		
ENSAYO:	N°07 EQUIVALENTE DE ARENA MTC E 114-2000 ASTM D 2419 AASHTO T 176						
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:	FECHA			



Guía de práctica N° 8:

DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA

Sección :	Docente: Escribir el nombre del docente
Fecha :/...../.....	Duración: Indica. Tiempo
Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material	

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Establecer el método de ensayo estándar para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.

2. Fundamento Teórico

Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por un método de ensayo normado.

Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.

Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm).

Esta norma también puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados o suelos in-situ, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material que esté sometido a prueba deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación y debe estar lo suficientemente firme como para soportar la mínima presión ejercida al momento de cavar el orificio y colocar el equipo sobre él, sin que se deforme o caiga.



3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	Capacidad 30kg	1
2	Estufa	temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$	1
3	Frasco contenedor	De plástico	1
4	Válvula cilíndrica	De acero inox.	1
5	Plato de metal cuadrado	Aluminio	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Tamiz 3/4"	Acero inoxidable	1
2	Tamiz #10	Acero inoxidable	1
3	Tamiz #20	Acero inoxidable	1
4	Tamiz #60	Acero inoxidable	1
5	Cucharon	Fondo hondo	1
6	Cinzel	acero	2
7	comba	De 1.5lb	1
8	brocha		1
9	Tara	De acero inoxidable	5
10	bandeja	De acero inoxidable 20*30cm	2
11	espátula	De triángulas de 0.5mm	1
12	Regla de medición	De 30 cm	1

3.3. Insumo

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Arena Ottawa	Densidad precisa	10kg

4. Indicaciones/instrucciones:

MATERIALES

Arena: Deberá ser limpia, uniforme, seca, no cementada, durable y que discurra libremente. Tener un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor de 2 y el tamaño máximo de partículas menor que 2,0 mm (Malla N° 10) y menos del 3% en peso que pase la malla de 250 μm (Malla N° 60).

Debe estar libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos en la densidad de la masa por cambios diarios en la humedad atmosférica. Son deseable arenas naturales, redondeadas. Las arenas trituradas, partida o que tengan partículas angulares no son libres de escurrir en caída libre, por lo que esta condición puede causar una acción puente y estructuras inestables lo cual tendría resultados inadecuados y por lo tanto imprecisión en la determinación de la densidad (Nota 2). Para seleccionar la arena de una fuente o cantera potencial se debe efectuar una gradación y cinco (5) determinaciones de la densidad de masa por separado, las cuales deben ser hechas para cada recipiente o saco de arena de acuerdo a los procedimientos que se establecen en el Anexo 2. Para ser aceptable la arena, la variación de densidad-volumen entre cualquier determinación y el promedio no debe ser mayor de 1% del promedio. Antes de usar la



arena en determinaciones de densidad, esta debe ser secada, luego se deja que tome la humedad del aire del sitio donde va a ser usada (véase Nota 3). La arena para ser nuevamente usada, deberá estar libre de cualquier suelo contaminante, verificarse su gradación y secarla y volver a determinar la densidad y el volumen (véase Nota 4). Las pruebas de densidad y volumen de la arena deben ser hechas a intervalos no mayores de 14 días, siempre después de cualquier cambio significativo de humedad atmosférica; antes de volver a usar la arena y antes de usar un nuevo material previamente aprobado (véase Nota 5).

En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicados. La necesidad de revisiones más frecuentemente puede determinarse comparando los

resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un periodo de tiempo

Nota 2. Algunas arenas manufacturadas (partidas) como arenas producto de explosiones, se han utilizado exitosamente con buena reproducibilidad. La reproducibilidad de los resultados de ensayo que utilizan arena angular debe revisarse bajo situaciones de ensayo controladas en laboratorio antes de seleccionar una arena angulosa para su uso.

Nota 3. Muchas organizaciones han encontrado beneficioso almacenar arenas en contenedores resistentes a la humedad. La arena debe almacenarse en áreas secas protegidas del clima. El empleo de una bombilla u otra fuente de calor dentro de o adyacente a los contenedores de almacenamiento también se ha encontrado beneficioso en áreas de alta humedad

Nota 4. Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso.

Nota 5. La mayoría de las arenas tiene tendencia a absorber la humedad de la atmósfera. Una muy pequeña cantidad de humedad absorbida puede hacer un cambio sustancial en la densidad y el volumen. En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicado. La necesidad de revisiones más frecuentes puede determinarse comparando los resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un período de tiempo.

Referencias Normativas

NTP 339.143: Suelos. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena



5. Procedimientos:

Primero

Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determine la densidad del suelo in-situ de la siguiente manera:

Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad según el Anexo A2, y determine la masa total.

Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.

Segundo

Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el

movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.

En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada (véase Nota 6).

Nota 6. Puede tomarse un segundo aparato calibrado para el campo cuando se anticipa esta condición (en vez de volver a llenar o hacer una segunda determinación). Puede utilizarse el procedimiento en 5.1.4 de este ensayo. Para cada prueba cuando se desea la mayor producción donde se pueda obtener una superficie relativamente suave.

Tercero

Se excava el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitará el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la Tabla 1 para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de



prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cabe un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que esté marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

TABLA

Volúmenes Mínimos del Hoyo de Ensayo Basados en el Tamaño Máximo de la Partícula

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm ³	pies ³
1/2	1	1	0,05
1	2	2	0,075
2	5	2	0,1

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio rebordeado en la misma posición que se marcó durante la calibración. Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.

Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.

Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad. Cuando se requiera, efectúe las correcciones apropiadas para el material de mayor tamaño utilizando la Práctica ASTM D 4718.

Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de húmedo o, en todo caso, utilice una muestra completa.

Determine el contenido de humedad de acuerdo al Guía de Practica N° 02.

Los especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de



prueba. La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad exactos al 1%.

6. Resultados

CALCULOS

Los cálculos mostrados son en gramos para la masa y en centímetros cúbicos para el volumen. Se permite otras unidades siempre y cuando cuenten con los factores apropiados de conversión; esto es para mantener cuidadosamente la consistencia de las unidades de cálculo.

Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = \frac{(M1 - M2)}{\rho_1}$$

Donde:

- V = volumen del orificio de prueba, cm³.
- M₁ = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, g (de 5.1.7).
- M₂ = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, (del anexo A1.2.2.3) g.
- r₁ = densidad del volumen de la arena (del Anexo A2.3.5), g/cm³.

Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M4 = \frac{100 * M3}{(W - 100)}$$

Donde:

- W = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %
- M₃ = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g (de 5.1.8).
- M₄ = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$r_m = M_3 / V$$

$$r_d = M_4 / V$$



Donde:

V	=	volumen del orificio de prueba, cm^3
M_3	=	masa húmeda del material del orificio de prueba, g
M_4	=	masa seca del material del orificio de prueba, g
r_m	=	densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo \mathbf{g}_m , en g/cm^3
r_d	=	densidad seca del material probado, o su peso unitario seco \mathbf{g}_d , en g/cm^3 .

Es preferible expresar la densidad in-situ como un porcentaje de alguna otra densidad, por ejemplo, las densidades de laboratorio determinadas de acuerdo a los Métodos de Ensayo MTC E 115, MTC

E 116, ASTM D 4253 ó ASTM D 4254. Esta relación puede determinarse dividiendo la densidad in-situ entre la densidad de laboratorio y multiplicándola por 100. Los cálculos para determinar la densidad relativa se dan en el Método de Ensayo ASTM D 4254. Las correcciones para el material de mayor tamaño pueden realizarse de acuerdo a la práctica ASTM D 4718, en caso sea requerido

Informe

El Informe debe contener como mínimo, los siguientes datos:

- Ubicación de la prueba, elevación, espesor del estrato probado u otros datos pertinentes para ubicar o identificar la prueba.
- Volumen del orificio de ensayo, en cm^3 .
- Densidad húmeda in-situ, en g/cm^3 .
- Densidad seca in-situ, r_d , en g/cm^3 .
- Peso unitario seco in-situ, en kN/m^3 ($r_d \times 9,807$), expresado lo más cercano posible a $0,1 \text{ kN}/\text{m}^3$.
- Contenido de agua del suelo in-situ, expresado como un porcentaje de masa seca, y el método de ensayo utilizado.
- Identidad del aparato de prueba y volumen calibrado.
- Densidad del volumen de la arena utilizada, en g/cm^3 .
- Descripción visual del suelo o designación del material.
- Masa y porcentaje de las partículas de mayor tamaño y el tamaño de la malla utilizada, en caso se hay empleado una.
- Comentarios acerca del ensayo, si se da el caso.
- Si la densidad sea in-situ o el peso está expresado como un porcentaje de otro valor, incluya lo siguiente:
 - El método de ensayo de laboratorio utilizado.
 - La densidad seca comparativa o el valor del peso unitario y el contenido de agua utilizado.
 - La corrección del material de mayor tamaño y detalles, si se diera el caso.
 - El porcentaje comparativo del material in-situ para el valor de comparación.
- Si la densidad in-situ, el peso unitario o el contenido de humedad van a utilizarse para una aceptación, incluya los criterios de aceptación que se aplican al ensayo.



7. Conclusiones

Precisión

Establecimiento de la Precisión – Debido a la naturaleza del suelo o de los materiales rocosos que se probaron mediante este método, aún no es posible, o en todo caso sería muy costoso en estos momentos, producir especímenes múltiples que tengan propiedades físicas uniformes. Cualquier variación que se observe en los datos es sólo una probabilidad que se debe a la variación del espécimen o al operador, o una variación de la prueba de laboratorio.

Dispersión

Establecimiento de la Confiabilidad – No existe un valor de referencia aceptado para este método de ensayo, por lo tanto, la confiabilidad no puede ser determinada.

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf

ANEXO

Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO					
CURSO: DOCENTE:	Mecánica de Suelos					SECCION :	
ENSAYO:		N°11 DENSIDAD DE CAMPO MTC E 117-2000 ASTM D 1556					
Muestra N°							
1	Ubicación						
2	Estrato						
DENSIDAD HUMEDA							
N°	NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	5	6
	ESPESOR DE LA CAPA cm	0.15 cm	0.15 cm	0.15 cm	0.15 cm	0.15 cm	0.15 cm
1	Peso del frasco + arena (gr)						
2	Peso del frasco + arena sobrante (gr)						
3	Peso de arena empleada (1) – (2) (gr)						
4	Peso de la arena en el cono (gr)						
5	Peso de la arena del hueco (gr) (3) – (4)						
6	Densidad de la arena (gr/cc)						
7	Volumen del hueco cc (5) / (6)						
8	Peso del tara + suelo + grava (gr)						
9	Peso del tara (gr)						
10	Peso del suelo + grava (8) – (9) (gr)						
11	Peso retenido en el tamiz ¼ (gr). (N° 4)						
12	% grava ¼" (N°4)						
13	Peso específico de la grava (gr/cc)						
14	Volumen de la grava (cc). (11) / (13)						
15	Peso del suelo (gr). (10) – (11)						
16	Volumen del suelo (cc). (7) – (14)						
17	Densidad Húmeda (gr/cm3) (15) / (16)						
CONTENIDO DE HUMEDAD							
18	Recipiente N°						
19	Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)						
20	Peso del recipiente + suelo seco (gr)						
21	Peso del agua (gr). (19) – (20)						
22	Peso del recipiente (gr)						
23	Peso del suelo seco (gr) (20) – (22)						
24	Contenido de humedad (21) / (23) x 100						
ITEM	ALUMNO	CÓDIGO		FIRMA			
ENSAYO:		N°11 DENSIDAD DE CAMPO MTC E 117-2000 ASTM D 1556					
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:	FECHA			



Guía de práctica N° 9:

COMPACTACION DE SUELOS (PROCTOR MODIFICADO)

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)).

2. Fundamento Teórico

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)).

Nota 1. Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

Nota 2. El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg).

Nota 3. Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (¾ pulg), ver ensayo ASTM D 4718.

Se proporciona 03 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.



METODO "A"

Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)

Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (N° 4).

Número de capas: 5

Golpes por capa: 25

Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4).

Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

METODO "B"

Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.

Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).

Número de Capas: 5

Golpes por capa: 25

Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).

Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

METODO "C"

Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).

Número de Capas: 5

Golpes por Capa: 56

Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).



El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Nota. Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.

Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.

En la profesión de Ingeniería es práctica común, usar indistintamente unidades que representan Masa y Fuerza, a menos que se realicen cálculos dinámicos. Esto implícitamente combina dos sistemas de diferentes Unidades, que son el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. Científicamente, no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de prueba se ha hecho usando unidades libra-pulgada (Sistema Gravimétrico) donde la libra (lbf) representa a la Unidad de Fuerza. El uso de libra-masa (lb. m) es por conveniencia de unidades y no intenta establecer que su uso es científicamente correcto. Las conversiones son dadas en el Sistema Internacional (SI) de acuerdo al ensayo ASTM E 380. El uso de balanzas que registran libra-masa (lbm) ó registran la densidad en lbm/ft³ no se debe considerar como si no concordase con esta norma.

Este método de ensayo no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario establecer la seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la



construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad (w_o) y el Peso Unitario Seco máximo mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo. La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o), y el Peso Unitario Seco se debe basar en

experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

Referencias Normativas

NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)).

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Molde de 4 pulgadas	Base y collarin	1
2	Molde de 6 pulgadas	Base y collarin	1
3	Pisón ó Martillo	5.5lb – 10 lb	1
4	Extractor de Muestras	Varilla extractor	1
5	Balanza	Capacidad de 30kg	1
6	Balanza	Precisión 0.01g	1
7	Horno de secado	mantener una temperatura de 110 ± 5 °C	1

3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Regla enrazadora	De acero	1
2	Tamiz #4	Acero inoxidable	1
3	Tamiz 3/8"	Acero inoxidable	1
4	Tamiz 3/4"	Acero inoxidable	1
5	Bandeja	Acero inoxidable	5
6	Brocha	Mango de madera	1
7	Martillo de goma	goma	1
8	capsula	Recipiente y tapa	5
9	probeta	Plástico graduado	1
10	pipeta	plastico	1



4. Indicaciones/instrucciones:

La Muestra

La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.

Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm (¾ pulg) ó 19.0mm (¾ pulg) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.

5. Procedimientos:

Primero

Preparación de Aparatos

Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado.

Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.

Revise que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

Calibración de los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos:

Balanza.- Evaluar de acuerdo con especificaciones ASTM D 4753 (Especificaciones, Evaluación, Selección y Elección de Balanzas y Escalas para uso muestras de suelos y rocas.)

Moldes.- Determinar el volumen como se describe en Anexo A1.



Pisón Manual.- Verifique la distancia de caída libre, masa del pisón y la cara del pisón de acuerdo con 4.1.2 de este ensayo. Verificar los requisitos de la guía de acuerdo con 4.1.2.1 de este ensayo.

Pisón Mecánico.- Calibre y ajuste el pisón mecánico de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2168 (Calibración de Pisón Mecánico de Compactación de Suelos en Laboratorio) Además, el espacio libre entre el pisón y la superficie interior del molde debe verificarse de acuerdo a este ensayo.

PREPARACION DEL ENSAYO SUELOS

No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.

Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.

Preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo a esta Guía.

Segundo

Método de Preparación Húmeda (Preferible)

Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (N° 4); 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla (ver Nota 6). Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario (ver 7.1.1 de este ensayo). Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Nota . Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.



Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.2.2.2 de este ensayo, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F).

Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado ó seleccionado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la práctica ASTM D 2488 o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método de ensayo NTP 339.134 (ASTM D 2487)

Tercero

Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C. Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar quebrar las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: 4,75 mm (N°4); 9,5 mm (3/8 pulg) ó 19,0 mm (3/4 pulg). Durante la preparación del material granular que pasa la malla 3/4 pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg) de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes.

Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 5,9 kg (13 libras) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en 6.2.2.2 de este ensayo. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento especificado en 6.2.2.3 de este ensayo para los suelos secos ó adicionar agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

Compactación.- Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.



Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4 pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4 pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

Nota 7. Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en 6.2.4.7 de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen,



presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio como se especifica en el anexo A1 (A.1.4.1 de este ensayo).

Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.

6. CALCULOS E INFORME

Cálculos

Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado como se explica en 7.1.3 y 7.1.4 de este ensayo, plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig. 3). Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación $0,2 \text{ kN/m}^3$ ($0,1 \text{ lbf/pie}^3$) y contenido de agua aproximado a $0,1\%$. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el Peso unitario seco máximo y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718. Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

Plotear la curva de saturación al 100% . Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas como se explica en esta Guía.

Nota 8. La curva de saturación al 100% es una ayuda al diseñar la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92 á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede ser ploteada o trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.



Nota 9. La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

Contenido de Agua, w.- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.

Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m³)
- M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
- M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)
- V = Volumen del molde de compactación (m³)

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

Donde:

- ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m³)
- w = contenido de agua (%)

$$g_d = 62,43 \text{ pd en lbf/pie}^3 \text{ (3)}$$
$$g_d = 9,807 \text{ pd en kN/m}^3$$

Donde:

- g_d = peso unitario seco del espécimen compactado.

En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

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

Donde:

- W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%).
- γ_w = Peso unitario del agua 9,807kN/m³ ó (62,43 lbf/ pie³).
- g_d = Peso unitario seco del suelo.
- G_s = Gravedad específica del suelo.



Nota 10. La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica NTP 339.131.

Informe

Reportar la siguiente información:

- Procedimiento usado (A, B o C).
- Método usado para la preparación (húmedo ó seco).
- El contenido de agua recibida, si se determinó.
- El óptimo Contenido de Agua Modificado, con aproximación al 0,5 %.
- El Peso Unitario Seco Máximo, con aproximación a 0,5 lbf/pie³.
- Descripción del Pisón (Manual ó Mecánico).
- Datos del tamizado del suelo para la determinación del procedimiento (A, B ó C) empleado.
- Descripción o Clasificación del material usado en la prueba (ASTM D 2488, NTP 339.134).
- Gravedad Específica y Método de Determinación.
- Origen del material usado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, etc.
- Ploteo de la Curva de Compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecerla y la curva de compactación y la curva de 100% saturación, el punto de Peso Unitario
- Seco Máximo y Óptimo Contenido de Agua.
- El dato de Corrección por Fracción Sobredimensionada si es usado, incluyendo la fracción sobredimensionada (Fracción Gruesa), P_c en %.

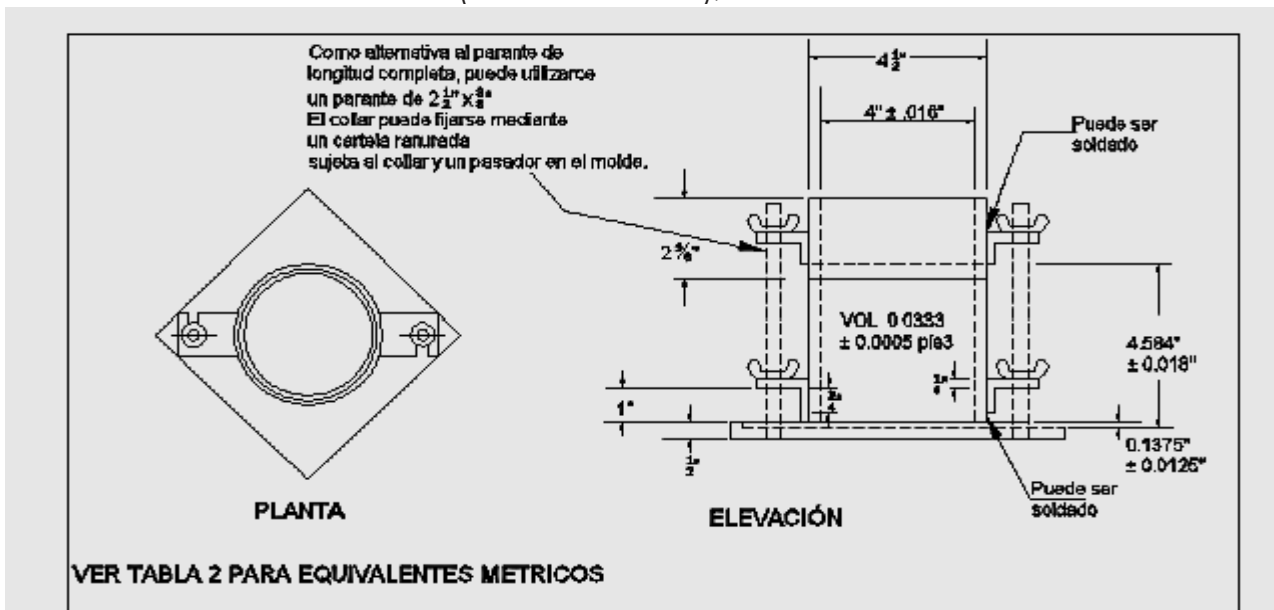


Figura 1: Molde cilíndrico de 4,0 pulg

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

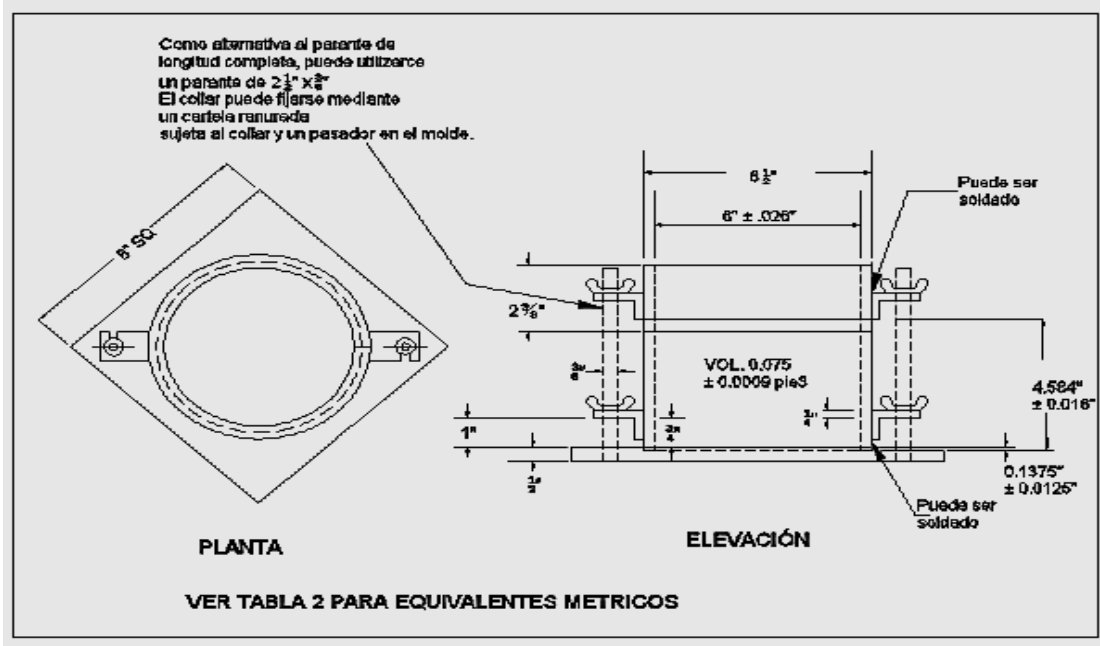


Figura 2: Molde cilíndrico de 6,0 pulg

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

7. Conclusiones

Precisión y Dispersión

- **PRECISION.**- Todos los datos están siendo evaluados para determinar la precisión de este método de ensayo. Además los datos pertinentes están siendo solicitados por los usuarios de este método de ensayo
- **CONFIABILIDAD.**- No es posible obtener la información sobre la confiabilidad porque no existe otros métodos de determinación de valores de máximo Peso Unitario Seco Modificada y Optimo Contenido de Humedad.Sugerencias y /o recomendaciones

8. Sugerencias y /o recomendaciones

Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

El mismo procedimiento se ejecuta para la realización del Ensayo de COMPACTACION DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA ESTANDAR, diferenciado solamente la cantidad de energía de compactación correspondiente (600 kN-m/m³ (12 400 pie-lbf/pie³)).

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf



Universidad Continental		ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO			
CURSO:	Mecánica de Suelos		SECCION :		
DOCENTE:					
ENSAYO:	N°08 COMPACTACION TIPO PROCTOR MTC 115 -2000 / MTC 116 -2000 / ASTM D 1557 /ASTM D 698				
N° de Muestra:		Profundidad :			
TIPO	PROCEDIMIENTO			DATOS DE EQUIPO	
Estandar	A	B	C	Peso gr	Diámetro cm
Modificada				Altura cm	Volumen cm ³
Peso suelo + molde (1)	gr				
Peso molde (2)	gr				
Peso suelo húmedo compactado (1) - (2) = (3)	gr				
Volumen del molde (4)	cm ³				
Peso volumétrico húmedo (3)/(4) = (5)	gr				
Recipiente N°					
Peso del suelo húmedo+tara	gr				
Peso del suelo seco + tara	gr				
Tara	gr				
Peso de agua (6)	gr				
Peso del suelo seco (7)	gr				
Contenido de agua (6)/(7) * 100 = (8)	%				
Peso volumétrico seco (5) / (1 + (8)/100)	gr/cm ³				
				Densidad máxima (gr/cm ³)	
				Humedad óptima (%)	
RELACION HUMEDAD-DENSIDAD					
ITEM	ALUMNO		CÓDIGO	FIRMA	
ENSAYO:	N°08 COMPACTACION TIPO PROCTOR MTC 115 -2000 / MTC 116 -2000 / ASTM D 1557 /ASTM D 698				
GRUPO:	RESPONSABLE GRUPO	SELLO/FIRMA	REVISADO:	FECHA	



Guía de práctica N° 10:

CBR DE SUELOS (LABORATORIO)

Sección :Docente: Escribir el nombre del docente

Fecha :/...../..... Duración: Indica. Tiempo

Instrucciones: Señalar las indicaciones necesarias que deberá tener en cuenta el estudiante para el uso del material

1. Propósito /Objetivo (de la práctica):

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

2. Fundamento Teórico

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.

Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Prensa CBR	Anillo de deformación 50 kN	1
2	balanza	Capacidad de 30gr	1
3	Trípode expansión	De acero inoxidable	1
4	Dial indicador	De precion de 0.01mm	2
5	Estufa	mantener una temperatura de 110 ± 5 °C	1

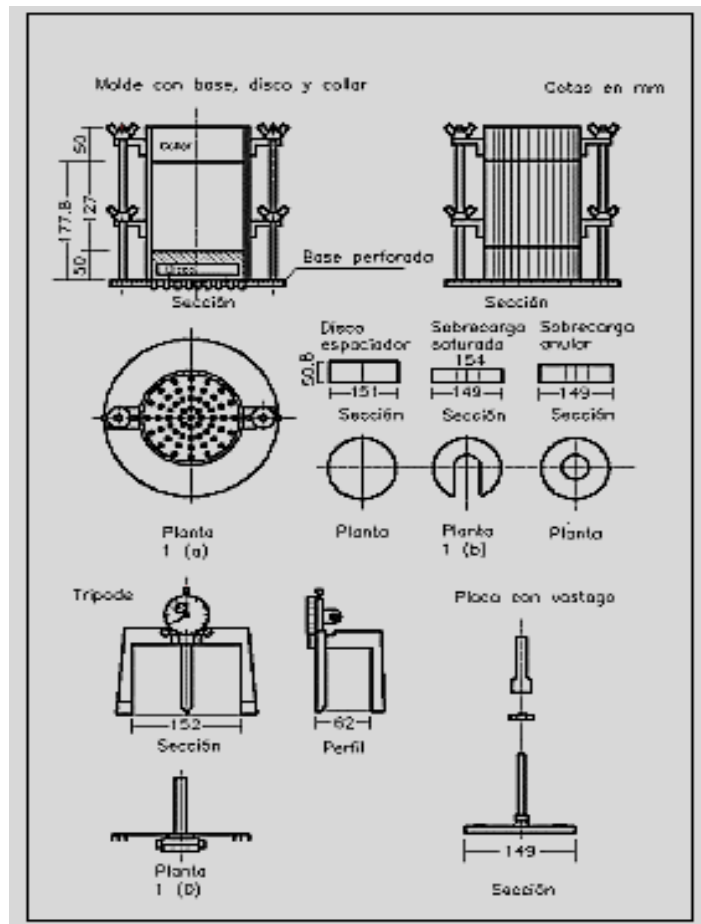


3.2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Molde de 6"	De acero base y collarín	3
2	Tamiz 3/4" y #4	De acero inoxidable	1
3	Tanque de inmersión	Capacidad para los moldes	1
4	Enrazador	De acero	1
5	Disco espaciador	De acero	3
6	Disco ranurado	De acero	3
7	Disco anular	De acero	3
8	Placa perforada y vástago	De acero	3
9	Pisón o martillo	De 10lb de acero	1
10	Bandeja	De acero inoxidable	5
11	Cucharón	De capacidad de 1kg	3
12	Brocha	Mango de madera	1
13	jarra	De capacidad 1litro	1
14	Probeta graduada	De 500 ml	1

4. Indicaciones/instrucciones:

Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).



FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016



5. Procedimientos:

Primero

De la Muestra

La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos de prueba NTP 339.141 ó NTP 339.142 para la compactación de un molde de 152,4mm (6") excepto por lo siguiente:

Si todo el material pasa el tamiz de 19mm (3/4"), toda la graduación deberá usarse para preparar las muestras a compactar sin modificación. Si existe material retenido en el tamiz de 19 mm (3/4"), este material deberá ser removido y reemplazado por una cantidad igual de material que pase el tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm) y sea retenido en el tamiz N° 4 obtenido por separación de porciones de la muestra no de otra forma usada para ensayos.

Segundo

Procedimiento

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

Preparación de la Muestra.- Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19,1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19,1 mm (3/4") y de 4,75 mm (N°4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al Proctor Estándar. De esta



forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según Guía de Laboratorio N° 02. Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

Tercero

Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (véase Figura 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 56, 25 y 10 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interés a mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 56, 25 y 10 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Cuarto

Nota 2. A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 kg de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la



parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un período de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados (véase Figura 2c).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

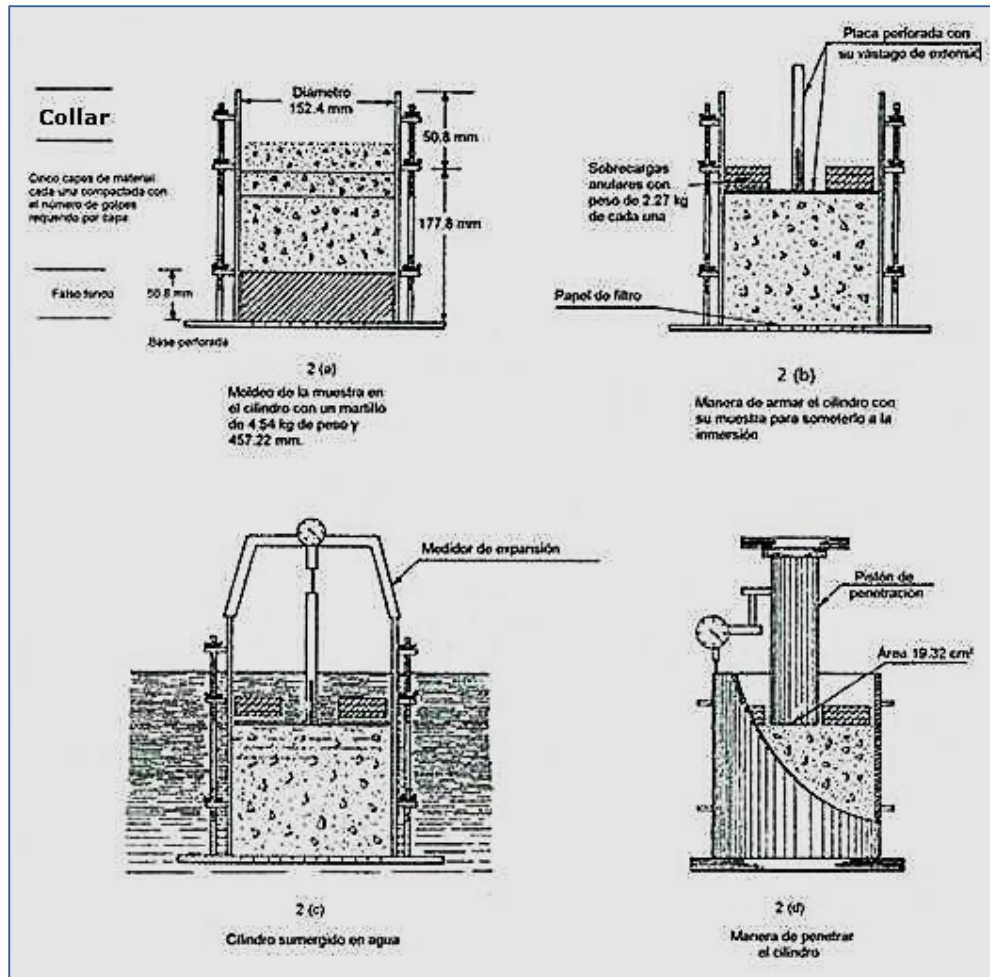


Figura 2: Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con $\pm 2,27$ kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, Llévase el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N

(5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración (véase Figura 2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.



Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Penetración

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

* Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

6. Resultados

Cálculos

Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$



Donde:

H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión; la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (véase Figura 3).

Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 6.3. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ de expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100$$

Donde

L₁ = Lectura inicial en mm.

L₂ = Lectura final en mm.

Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

De la curva corregida tórnense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001b/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte 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 resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

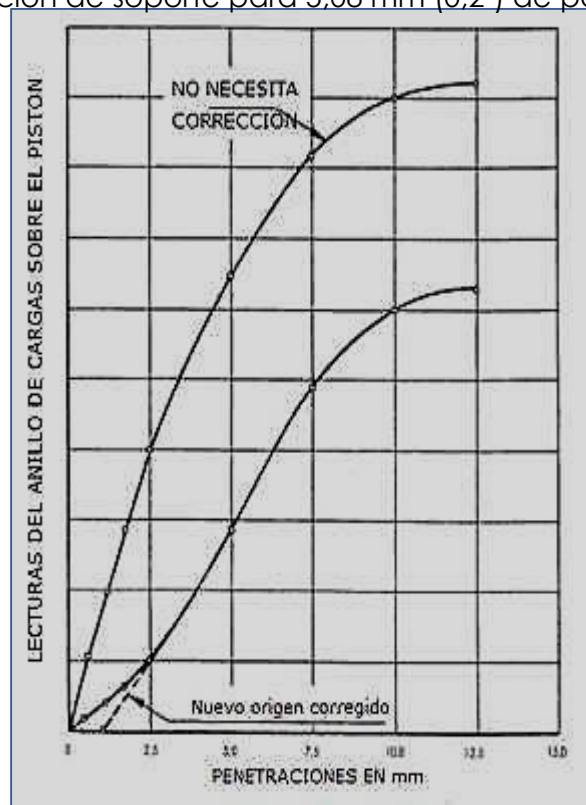


Figura 3: Curva para cálculo de índice de CBR

FUENTE: Manual de ensayo de materiales –MTC 2016

7. Conclusiones



INFORME LECTURAS DEL ANILLO DE CARGAS SOBRE EL PISTON

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse son los siguientes:

Método usado para la preparación y compactación de los especímenes.

Descripción e identificación de la muestra ensayada.

Humedad al fabricar el espécimen.

Peso unitario.

Sobrecarga de saturación y penetración.

Expansión del espécimen.

Humedad después de la saturación.

Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma MTC E 115.

Curva presión-penetración.

Valor de relación de soporte (C.B.R.).

8. Sugerencias y /o recomendaciones

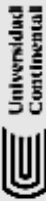
Cumplimiento estricto de los procedimientos establecidos en la presente Guía, priorizando la seguridad de los estudiantes que participen en ellas.

El mismo procedimiento se ejecuta para la realización del Ensayo de COMPACTACION DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA ESTANDAR, diferenciado solamente la cantidad de energía de compactación correspondiente (600 kN-m/m³ (12 400 pie-lbf/pie³)).

9. Referencias bibliográficas consultadas y/o enlaces recomendados

- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica (7ª ed.). International Thomson Editores. Biblioteca UC. Código. 624.15136 D28
- Manual de Ensayos de Laboratorio EM – 2000. Aprobado mediante R.D. N° 018-2016-MTC/14 del 03/09/2016 www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/.../index.htm
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Aprobado mediante R.D. N° 010-2014-MTC/14 del 09/04/2014. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf
-

ANEXO



ÁREA DE PAVIMENTOS, SUELOS Y CONCRETO

CURSO:	Mecánica de Suelos	SECCION:
DOCENTE:		

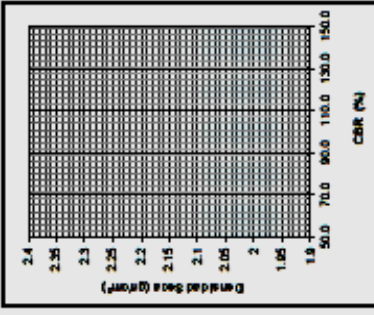
ENSAYO: N°09 ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) MTC E 133 - 2000 ASTM D 1883 AASHTO T 193

Muestra N°	
ubicación	
Extrato	
Profundidad	

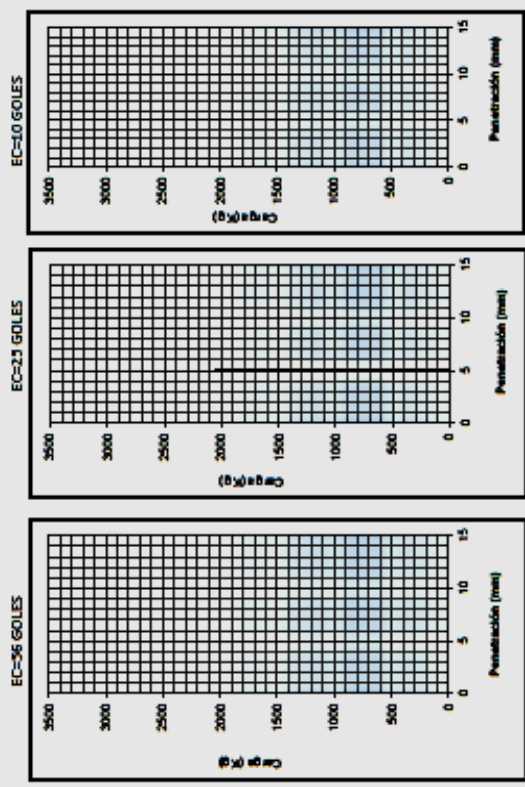
COMPACTACION		5	6	9	10
Molde N°	Capas N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Golpes por capa					
Condición de la muestra					
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)					
Peso de molde (gr) (2)					
Peso del suelo húmedo (gr) (1)-(2) = (3)					
Volumen del molde (cm ³) (4)					
Densidad húmeda (gr/cm ³) (3)/(4) = (5)					
Tara (gr)					
Peso suelo húmedo + tara (gr) (6)					
Peso suelo seco + tara (gr) (7)					
Peso de tara (gr) (8)					
Peso de agua (gr) (6)-(7)=(9)					
Peso de suelo seco (gr) (7)-(8) = (10)					
Contenido de humedad (%) (9)/(10) * 100% = (11)					
Densidad seca (gr/cm ³) (5)/((1 + (11)) = (12)					

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		EXPANSION		EXPANSION	
				mm	%	mm	%	mm	%

PENETRACION mm	CARGA STANDA. kg/cm ²	MOLDE N°	CORRECCION		MOLDE N°		CORRECCION	
			Dial	%	Dial	%	Dial	%
0.025								
0.050								
0.075								
0.100	1000							
0.150								
0.200	1500							
0.250								
0.300	1900							
0.400	2300							
0.500	2600							



METODO DE COMPACTACION	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
85% MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	
DENSIDAD INSITU (gr/cm ³)	
C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	
C.B.R. al 85% de M.D.S. (%)	
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	
Valor de C.B.R. al 85% de la M.D.S.	



ITEM	ALUMNO	CORRISO	FIRMA
ENSAYO:	N°09 ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) MTC E 133 - 2000 ASTM		
GRUPO:	ENCABE CF	SELLO/FIRMA	REVISADO: FECHA