

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA  
ASTM 2003.**

PRESENTADO POR:

**SANDRA LISSETH GARCÍA TREJO**

**MARÍA OFELIA RAMÍREZ LÓPEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERA CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2006

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA :

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

SECRETARIA GENERAL :

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURÁN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERA CIVIL**

Título :

**PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA  
ASTM 2003.**

Presentado por :

**SANDRA LISSETH GARCÍA TREJO  
MARÍA OFELIA RAMÍREZ LÓPEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores :

Ingra. Susan Elizabeth Campos de Orellana  
Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides  
Ing. Juan Carlos Figueroa

San Salvador, Diciembre de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**Ingra. Susan Elizabeth Campos de Orellana**

**Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides**

**Ing. Juan Carlos Figueroa**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, por iluminarnos a lo largo de nuestro tiempo de estudio, en especial por habernos dado perseverancia y paciencia durante la realización de este trabajo.

Te agradecemos por ponernos en el camino a todas las personas que nos colaboraron desinteresadamente y que fueron esenciales para culminar este triunfo.

**A la Ingra. Susan Elizabeth Campos de Orellana**, por la orientación y el esfuerzo dedicado para la obtención de este trabajo. Gracias por brindarnos los conocimientos para culminar esta etapa de nuestro estudio.

**Al Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides**

Por el tiempo y conocimientos brindados durante la elaboración de este trabajo. Le agradecemos por los ánimos dados para finalizar este trabajo.

**Al Ing. Juan Carlos Figueroa**

Por su valioso tiempo y colaboración desinteresada para el desarrollo de este trabajo. Gracias por abrirnos las puertas del Laboratorio de Suelos y Materiales (GEOCONSA S.A. de C.V.) y compartir algunos conocimientos y experiencias para la obtención de un mejor trabajo.

**A la Ingra. Lesly Emidalia Mendoza** por la colaboración y los ánimos brindados durante la última etapa de nuestro trabajo.

Queremos agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma nos colaboraron desinteresadamente durante la realización de este trabajo de graduación:

Téc. Carlos Edgardo Morataya

Prof. Ramón Evelio López

Srita. Margarita Campos

Al laboratorio de Suelos y Materiales **GEOCONSA S.A. de C.V.** por habernos permitido la realización de uno de los ensayos en sus instalaciones.

Al laboratorio de la **Universidad Simeón Cañas (UCA)** por los servicios prestados en la realización de uno de los ensayos presentados en este trabajo.

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS TODOPODEROSO:**

Por ayudarme en cada momento que lo he necesitado, por estar ahí siempre. Te agradezco por toda la sabiduría brindada a lo largo de mi carrera y por darle respuestas positivas a todas mis peticiones.

Quiero que sepas que esto va por ti.

Te amo.

### **A MI PAPI Y MAMI:**

Rigoberto García y María del Tránsito Trejo por todo el amor, sacrificio y apoyo incondicional que me han brindado durante toda mi vida, en especial en la etapa que estoy por culminar. Gracias por darme ánimo siempre que lo he necesitado, por sus sabios consejos, por las palabras que me han confortado y ayudado a salir adelante.

Los amo.

### **A MI HERMANA GISELA:**

Por estar siempre conmigo en las buenas y malas, por darme palabras de aliento cuando las he necesitado y disfrutar junto a mí las alegrías. Te agradezco por ser como eres, amorosa, detallista, por ser siempre sincera. Casi nunca te lo digo pero quiero que sepas que te amo muchísimo hermanita.

### **A MI SOBRINITA PREFERIDA XIMENTITA (CHIQUID):**

Por darme todos esos momentos de alegría durante estos 4 años, por las decoraciones de mi cuarto, las porras que junto a tu mami me hicieron, te robaste mi corazón y sabes que te amo muchísimo.

### **A MI ABUELITO MONCHO (el más guapo de todos):**

Gracias por ser ejemplo de lucha y un pilar en la familia, porque con tu inmensa sabiduría nos has enseñado el amor y el respeto. La García te dedica este triunfo y quiere que sepas lo mucho que te quiere.

### **A MIS TÍOS ADONAY PORTILLO Y MARICRUZ TREJO:**

A quienes agradezco todo el apoyo incondicional que me han brindado en toda mi vida, por sus consejos, por tener unos corazones inmensos y sobre todo por su amor. Les dedico este éxito. Infinitas gracias.

**A MI PRIMA SANDRA:**

Por ser mi amiga, te agradezco todas las palabras de ánimo y apoyo que he recibido de parte tuya durante esta etapa de mi vida.

**A MI AMIGA SUGEY:**

A quien le agradezco todos estos años de amistad, por estar conmigo en todo momento, en las alegrías y tristezas, dándome apoyo cuando más lo he necesitado. Gracias por toda tu colaboración brindada en este trabajo. Te quiero mucho amiga.

**A MI AMIGA Y COMPAÑERA DE TESIS MARY:**

Por todo el esfuerzo, dedicación y empeño que has tenido durante este trabajo. Quiero decirte que además de haber logrado este triunfo he ganado una gran amiga. Te quiero.

**A NIÑA MARINA SEGURA:**

A quien quiero como de mi familia, le agradezco todo el cariño, atenciones y consejos recibidos. Gracias por adoptarme.

**A BRISA Y LARISSA TEREZON:**

A mis hermanitas postizas por hacerme sentir como de la familia, por todos los ánimos, por su amistad. Las quiero niñas.

**A MIGUEL ANGEL LEMUS:**

Por todos los consejos y colaboración brindados durante todo este tiempo, por estar siempre dispuesto a ayudar. Infinitas gracias.

**A LA FAMILIA RAMÍREZ LÓPEZ:**

Por todas las palabras de ánimos y la colaboración que tuvieron para poder finalizar este trabajo. Gracias Don Julio, Niña Lina, Silvia, Lilian, Chenta.

**A MI FAMILIA**

A mis tíos y primos que en todo momento estuvieron apoyándome para culminar esta meta. Los quiero a todos.

**A MIS AMIGOS:**

A todas las personas que me han apoyado incondicionalmente, a través de todos estos años.

*Sandra*

## DEDICATORIA

*En primer lugar quiero dar infinitas Gracias a Dios por ser quien siempre en todo momento de mi vida me ha dado lo necesario, lo cual me ha llevado a la culminación de esta etapa muy importante de mi vida, Dios GRACIAS.*

*A MI MADRE, Marcelina Hernández López por ser quien me dio la vida y quien siempre se sintió muy orgullosa de mí, mami esos años duros de trabajo no fueron en vano, Gracias por apoyarme siempre y tener mucha fe en mí, este trabajo es por usted.*

*A MI PADRE, Julio Ramírez por ser siempre el pilar de la familia y estar allí siempre que lo he necesitado, papi Gracias.*

*A MI HERMANA ANA SILVIA, quien es como mi segunda madre, Gracias por ser mi amiga y apoyarme siempre en todo.*

*A MIS HERMANAS, Vicenta, Lilian y Sonia, quienes en todo momento han estado siempre pendientes de mí y me han dado ánimos para continuar adelante.*

*A MIS HERMANOS, Tomás y Julio que a pesar de estar lejos siempre me han apoyado y se han sentido orgullosos de mí.*

*A mis sobrinos Erick, Denys, Vero, Christian, Gaby, Jonatan, por creer y confiar en su tía, y en especial a mi sobrina Adriana por ser como mi hermana menor y escucharme siempre en mis momentos difíciles de mi vida.*

*AL AMOR DE MI VIDA, Miguel Ángel quien es el apoyo más grande que he tenido a lo largo de mi carrera, quien siempre ha puesto sus esperanzas en mí y a quien debo este triunfo, Gracias amorcito por brindarme siempre tu apoyo, Te amo...*

*Y EN ESPECIAL, PERO MUY ESPECIAL, A MIGUELITO ALEJANDRO, mi hijo, quien desde mi vientre estuvo siempre conmigo apoyándome durante la culminación de mi trabajo, por ti y para ti es todo lo que hago mi bebé, te amo y te quiero.*

*A SANDRA GARCIA, mi compañera de tesis y amiga, quien supo soportarme durante estos largos años en la U y quien siempre estuvo aconsejándome, Gracias amiga por ser clave en esta etapa de mi vida.*

*A mis amigas, Sugey, Nury, Rosaura, Any, y amigos Beto, Juan Carlos, por formar parte de mi mejor grupo de amigos.*

MARY



## INDICE GENERAL

INTRODUCCION . . . . .	1
<b>CAPITULO I : "GENERALIDADES"</b>	
1.1 Antecedentes . . . . .	4
1.2 Planteamiento del problema . . . . .	6
1.3 Objetivos	
1.4 Objetivo general . . . . .	8
1.5 Objetivos específicos . . . . .	8
1.6 Alcances globales . . . . .	9
1.7 Justificación . . . . .	10
<b>CAPITULO II :MARCO TEORICO"</b>	
2.1 Generalidades de mecánica de suelos . . . . .	12
2.1.1 Principales tipos de suelos . . . . .	12
2.1.2 Tamaño y forma de las partículas . . . . .	14
2.1.3 Muestreo del Suelo . . . . .	15
2.1.4 Fases del suelo . . . . .	17
2.1.5 Características físicas y mecánicas de una muestra de suelo . . . . .	18
2.2 Propiedades físicas de los suelos . . . . .	19
2.2.1 Contenido de humedad de un suelo . . . . .	20
2.2.2 Determinación de la Gravedad específica del suelo . . . . .	21
2.2.3 Análisis del tamaño de las partículas de los Suelos (ASTM D 422) . . . . .	22
2.2.4 Límites de Atterberg . . . . .	23
2.2.5 Descripción e identificación de los suelos (Procedimiento Visual-Manual) . . . . .	24
2.2.6 Contenido de materia Orgánica . . . . .	24
2.2.7 Ensayo de compactación en laboratorio . . . . .	24
2.2.8 Densidad de un suelo . . . . .	25
2.3 Propiedades mecánicas del suelo . . . . .	25
2.3.1 Prueba de Compresión Triaxial No drenada - No consolidada . . . . .	26
2.3.2 Ensayo de Corte Directo . . . . .	26

2.3.3	Ensayo de consolidación unidimensional	27
2.3.4	Ensayo de permeabilidad (Método de carga constante)	27
2.3.5	Prueba de Penetración Standard (SPT).	28
2.4	Calidad y uso de las normas ASTM en los materiales de construcción	28
2.4.1	Identificación de la designación de las normas ASTM	31

### **CAPITULO III : "ENSAYOS PARA LA DETERMINACION**

#### **DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO"**

ENSAYO N° 1	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en el laboratorio, por masa (ASTM D 2216-98)	34
ENSAYO N° 2	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento directo (ASTM D 4959-00)	44
ENSAYO N° 3	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento con horno microonda (ASTM D 4643-00)	53
ENSAYO N° 4	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en campo, por el método de ensayo de presión a gas de carburo de calcio, speedy (ASTM D 4944-98)	63
ENSAYO N° 5	Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo por el método del picnómetro con agua (ASTM D 854-02)	75
ENSAYO N° 6	Determinación del tamaño de las partículas de suelos (ASTM D 422-63, reprobada en 1998)	95
ENSAYO N° 7	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (ASTM D 4318-00)	127
ENSAYO N° 8	Práctica para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual-manual) (ASTM D 2488-00)	152
ENSAYO N° 9	Determinación del contenido de ceniza y materia orgánica de turbas y otros suelos orgánicos (ASTM D 2974-00).	178
ENSAYO N° 10	Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos (AASHTO T 99-01)	186

ENSAYO N° 11	Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos (AASHTO T 180-01).	. . . . .	213
ENSAYO N° 12	Determinación de la densidad del suelo en el sitio por el método del cono de arena (AASHTO T 191-02)	. . . . .	242

**CAPITULO IV : ENSAYOS PARA LA DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS**

ENSAYO N° 13	Determinación de la densidad del suelo y suelo-agregado en el lugar por métodos nucleares (a una baja profundidad)	. . . . .	256
ENSAYO N° 14	Ensayo de compresión triaxial no consolidada - no drenada para suelos cohesivos	. . . . .	269
ENSAYO N° 15	Método de ensayo para corte directo de suelos bajo condiciones drenadas y consolidadas .	. . . . .	295
ENSAYO N° 16	Ensayo de consolidación unidimensional de los suelos	. . . . .	322
ENSAYO N° 17	Método de ensayo para la determinación de la permeabilidad de suelos granulares, (Método de carga constante)	. . . . .	371
ENSAYO N° 18	Método de ensayo estándar para la prueba de penetración y muestreo de suelos con barreno partido	. . . . .	389

**CAPITULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones	. . . . .	405
Recomendaciones	. . . . .	407
Bibliografía	. . . . .	409
Anexos A-1		
Anexos B		

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II: "MARCO TEÓRICO"

Figura A	Forma típica de las partículas . . . . .	15
Figura B	Obtención de muestras alteradas . . . . .	15
Figura C	Obtención de muestras inalteradas . . . . .	16
Figura D	Barrenas manuales . . . . .	17
Figura E	Representación gráfica del tamaño de las partículas de un suelo . . . . .	22
Figura F	Carta de plasticidad . . . . .	23
Figura G	Muestra de encabezados de las normas ASTM . . . . .	32

### CAPÍTULO II: "ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO"

Figura 1.1	Horno para el secado de muestras . . . . .	37
Figura 1.2	Equipo para el desarrollo de la determinación del contenido de humedad . . . . .	38
Figura 1.3	Determinación de la masa de la muestra de suelo . . . . .	40
Figura 2.1	Equipo para el desarrollo del ensayo del contenido de humedad . . . . .	47
Figura 2.2	Aplicación de calor al recipiente y muestra de suelo húmedo en la cocina eléctrica . . . . .	49
Figura 2.3	Determinación de la masa seca del espécimen . . . . .	49
Figura 3.1	Pesado del recipiente y muestra de suelo húmeda en una balanza de 0.1 g de legibilidad . . . . .	58
Figura 3.2	Recipiente de porcelana con muestra de suelo húmedo, junto con un Beakers de vidrio lleno con agua, colocados dentro de un horno microonda . . . . .	58
Figura 3.3	Muestra de suelo seco en un recipiente de porcelana olocado dentro de un desecador. . . . .	59
Figura 3.4	Mezclado de la muestra de suelo seco con espátula. . . . .	59
Figura 4.1	Equipo "Speedy . . . . .	67
Figura 4.2	Realización del cuarteo de la muestra de suelo. . . . .	67

Figura 4.3	Determinación de la masa de la muestra de suelo húmedo (20 g).	69
Figura 4.4	Curva de calibración	71
Figura 4.5	Determinación del contenido de humedad utilizando la carta de calibración	74
Figura 5.1	Determinación de la masa del frasco volumétrico.	80
Figura 5.2	Colocación de los frascos volumétricos con agua, termómetro, beaker, piseta dentro del recipiente baño María	81
Figura 5.3	Determinación de la temperatura del agua	82
Figura 5.4	Desairado de la lechada por el método de ebullición	85
Figura 5.5	Colocación de los frascos volumétricos con la lechada, beaker, termómetro, piseta dentro del recipiente baño María	86
Figura 5.6	Determinación de la masa del frasco volumétrico más lechada	87
Figura 6.1	Hidrómetro 152 H	97
Figura 6.2	Equipo utilizado en el análisis del tamaño de las partículas	99
Figura 6.3	Separación de la muestra de suelo por la malla No 10 en el análisis granulométrico	101
Figura 6.4	Preparación de la solución dispersante para el análisis hidrométrico del suelo	102
Figura 6.5	Proceso de agitado de la mezcla suelo-agua	105
Figura 6.6	Agitado de la lechada	105
Figura 6.7	Ensamble y tamizado de la muestra utilizando un agitador mecánico	107
Figura 6.8	Dimensiones y términos del hidrómetro	112
Figura 6.9	Curva granulométrica del suelo ensayado.	123
Figura 7.1	Ranurador plástico utilizado para la abertura de la ranura del suelo	132
Figura 7.2	Equipo utilizado durante el ensayo del límite líquido	133
Figura 7.3	Marcado del sitio de contacto de la copa	135
Figura 7.4	Verificación de la altura de caída	135
Figura 7.5	Mezclado del material utilizando una espátula	139
Figura 7.6	Muestra de la ranura del suelo en la copa del aparato para límite líquido	140
Figura 7.7	Detalle del cierre de la ranura de la pasta de suelo en el fondo de la copa durante el ensayo del límite líquido	141
Figura 7.8	Determinación de la masa de suelo + recipiente.	142

Figura 7.9	Rolado de la barra de suelo.	144
Figura 7.10	Porciones de suelos resquebrajado obtenidas durante el ensayo del límite plástico	145
Figura 7.11	Curva de fluidez	148
Figura 8.1a	Diagrama de flujo para identificar suelos inorgánicos de grano fino (50% ó más de finos)	157
Figura 8.1b	Diagrama de flujo para identificar suelos orgánicos de grano fino (50% o más de finos)	157
Figura 8.2	Diagrama de flujo para identificar suelos de grano grueso (menos de 50% de finos)	158
Figura 8.3	Angulosidad típica de los granos de mayor volumen	161
Figura 8.4	Criterios para describir la forma de la partícula	161
Figura 8.5	Especímenes de ensayo con diámetro aproximado de 12 mm	167
Figura 8.6	Proceso de agitado del suelo en dirección horizontal	169
Figura 9.1	Horno mufla utilizado en la determinación del contenido de ceniza	180
Figura 9.2	Determinación de la masa de suelo + recipiente de evaporación utilizando una balanza de 0.01 g de legibilidad.	181
Figura 9.3	Colocación en el horno mufla del recipiente Conteniendo la muestra.	182
Figura 10.1	Moldes para ensayos de compactación Proctor de 4" y 6" de diámetro	190
Figura 10.2	Equipo utilizado durante el ensayo de compactación.	191
Figura 10.3	Humedecimiento de la muestra para obtener la humedad requerida para el ensayo Proctor.	193
Figura 10.4	Compactación de la primera capa de suelo en un molde Proctor.	194
Figura 10.5	Determinación de la masa del molde más el suelo húmedo compactado	195
Figura 10.6	Extracción de la muestra utilizando gato hidráulico	196
Figura 10.7	Corte de la muestra compactada para obtener la humedad del suelo.	196
Figura 10.8	Curva de compactación y de saturación del suelo ensayado.	210
Figura 11.1	Moldes de compactación de 4" y 6" de diámetro.	217
Figura 11.2	Equipo utilizado durante el ensayo de compactación.	218
Figura 11.3	Humedecimiento de la muestra para obtener la humedad requerida para el ensayo Proctor.	220

Figura 11.4	Compactación de la primera capa de suelo molde Proctor.	221
Figura 11.5	Determinación de la masa del molde más el suelo húmedo compactado.	222
Figura 11.6	Extracción de la muestra utilizando gato hidráulico	223
Figura 11.7	Corte de la muestra para obtener la humedad del suelo	223
Figura 11.8	Curva de compactación y de saturación del suelo ensayado	239
Figura 12.1	Equipo utilizando en la determinación de la densidad in situ	245
Figura 12.2	Excavación del agujero de ensayo	248
Figura 12.3	Llenado con arena del agujero de ensayo	249
Figura 13.1	Densímetro nuclear, utilizado para la determinación de la densidad del suelo en el lugar	258
Figura 13.2	Equipo empleado para la determinación de la densidad del suelo por el método nuclear	259
Figura 13.3	Aplanado o raspado de la superficie del suelo a ensayar para la determinación de la densidad del suelo y suelo agregado en el lugar, por métodos nucleares	263
Figura 13.4	Perforación del agujero utilizando la placa de raspado, el extractor de la varilla de perforación y la varilla de perforación por el Método de Transmisión Directa	264
Figura 13.5	Remoción de la varilla de perforación utilizando el extractor	265
Figura 13.6	Colocación del densímetro nuclear sobre la superficie preparada en el Método de Transmisión Directa	266

### **CAPÍTULO III: "ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO"**

Figura 14.1	Cámara de compresión triaxial.	273
Figura 14.2	Aparato de control de presión para el ensayo triaxial.	274
Figura 14.3	Cabezal del espécimen para ensayo triaxial	275
Figura 14.4	Expansor de membrana	276
Figura 14.5	Labrado del espécimen para ensayo triaxial.	277
Figura 14.6	Especímenes de ensayo colocados en un desecador	278
Figura 14.7	a) Especimen colocado en la base del pedestal de la cámara,	

	b) Colocación de la membrana al espécimen, utilizando el expansor	. 280
Figura 14.8	Colocación de anillos de hule en ambos extremos del espécimen	. 281
Figura 14.9	Instalación de la cámara triaxial sobre el espécimen	. 281
Figura 14.10	Aplicación de la carga axial durante el ensayo triaxial	. 282
Figura 14.11	Superficie de falla ocurrida en el espécimen durante el proceso de carga en el ensayo triaxial	. 284
Figura 14.12	Círculos de Mohr.	. 290
Figura 15.1	Aparato para la realización del ensayo de corte directo.	. 299
Figura 15.2	Caja de corte de forma circular y placas ranuradas para el ensayo de corte directo	. 300
Figura 15.3	Placas porosas para permitir el drenaje del espécimen en el ensayo de corte	. 301
Figura 15.4	Anillo cortante para el labrado del espécimen en el ensayo de corte.	. 302
Figura 15.5	Corte del material que rebasa en uno de los extremos del anillo cortante	304
Figura 15.6	Colocación del espécimen a ensayar en la caja de corte	. 305
Figura 15.7	Colocación de la caja de corte en el carro deslizante.	. 308
Figura 15.8	Lectura del deformímetro vertical durante la realización del ensayo	. 311
Figura 15.9	Superficie de falla del espécimen sometido al ensayo de corte	. 312
Figura 16.1	Equipo utilizado en la determinación de la consolidación de un suelo	. 327
Figura 16.2	Consolidómetro de anillo fijo para la ejecución del ensayo de consolidación.	328
Figura 16.3	Indicador de lecturas de deformación para el ensayo de consolidación.	. 329
Figura 16.4	Corte de los bordes del espécimen para el ensayo de consolidación.	. 333
Figura 16.5	Determinación de la masa húmeda del espécimen + anillo de consolidación.	334
Figura 16.6	Colocación del espécimen en el consolidómetro	. 334
Figura 16.7	Colocación del marco de carga sobre el consolidómetro	. 335
Figura 16.8	Lectura del indicador de deformación durante el ensayo de consolidación.	337
Figura 16.9	Curva Logaritmo de tiempo vrs deformación	. 345
Figura 16.10	Curva $\sqrt{t}$ vrs deformación	. 346
Figura 17.1	Permeámetro de carga constante	. 374
Figura 17.2	Sistema para evacuación y saturación del espécimen	. 375
Figura 17.3	Equipo utilizado en el ensayo para la determinación de la permeabilidad	376
Figura 17.4	Colocación de la capa de suelo en el permeámetro utilizando un	



	embudo, en la realización del ensayo de permeabilidad . . . . .	379
Figura 17.5	Compactación de la capa de suelo colocada en el permeámetro utilizando un apisonador, en el ensayo de permeabilidad. . . . .	380
Figura 17.6	Colocación de la placa porosa sobre el suelo compactado en la realización del ensayo de permeabilidad . . . . .	381
Figura 17.7	Montaje del permeámetro para la realización del ensayo de la permeabilidad . . . . .	383
Figura 17.8	Medición del volumen de agua utilizando una probeta graduada en el ensayo de permeabilidad. . . . .	384
Figura 18.1	Muestreador de cuchara partida para extracción de la muestra de suelo durante el ensayo SPT . . . . .	394
Figura 18.2	Equipo utilizado para la realización del ensayo SPT . . . . .	395
Figura 18.3	Marcación de las barras muestreadoras para realizar el ensayo de penetración estándar . . . . .	398
Figura 18.4	a)Hincado del muestreador durante el ensayo de penetración estándar; b) Penetración del muestreador en los primeros 15 cm de profundidad del suelo . . . . .	399
Figura 18.5	Medida de la longitud de recuperación de la muestra de suelo obtenida durante el ensayo de penetración estándar . . . . .	400
Figura 18.6	Muestras colocadas en bolsas plásticas con su correspondiente Identificación . . . . .	401

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II: "MARCO TEÓRICO"

Tabla A	Descripción de las secciones contenidas en el Libro Anual ASTM 2003	29
---------	---	----

### CAPÍTULO II: "ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO"

Tabla 1.1	Masa mínima de muestra para la determinación del contenido de humedad	36
Tabla 1.2	Precisión de balanzas, de acuerdo al tamaño de muestra a ensayar	37
Tabla 2.1	Masas de especímenes de ensayo para la determinación del contenido de humedad	46
Tabla 3.1	Masas de especímenes de ensayo para la determinación del contenido de humedad	56
Tabla 4.1	Datos para construcción de la curva de calibración	71
Tabla 4.2	Datos obtenidos del ensayo Speedy.	72
Tabla 5.1	Masa recomendada para los especímenes de ensayo.	78
Tabla 5.2	Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para diferentes temperaturas	89
Tabla 6.1	Juego de tamices estándar	98
Tabla 6.2	Juego de tamices estándar para obtener un espaciamiento uniforme en la gráfica	98
Tabla 6.3	Masa mínima de la porción de suelo retenida en el tamiz No 10 a utilizar en el tamizado, según el tamaño máximo de las partículas	100
Tabla 6.4	Masa mínima de la porción de suelo que pasa el tamiz No 10, según el tipo de suelo	100
Tabla 6.5	Factores de corrección por temperatura	104
Tabla 6.6	Cálculo del análisis granulométrico del material que se retiene en el tamiz No.10	109
Tabla 6.7	Valores de factor de corrección, a, para diferentes gravedades específicas del suelo	110

Tabla 6.8	Valores de profundidad efectiva basados en el hidrómetro y la probeta de sedimentación de tamaños especificados . . . . .	114
Tabla 6.9	Valores de $K$ para el cálculo del diámetro de la partícula del análisis hidrométrico . . . . .	115
Tabla 6.10	Cálculo del análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No.10.	117
Tabla 7.1	Factores para determinar el límite líquido de un contenido de agua y de un número de golpes que causan el cierre de la ranura.	147
Tabla 8.1	Cantidad mínima del espécimen de ensayo según el tamaño máximo de la partícula .. . . . .	160
Tabla 8.2	Criterios para la descripción de la angulosidad de las partículas de grano grueso. . . . .	160
Tabla 8.3	Criterio para describir la forma de la partícula . . . . .	161
Tabla 8.4	Criterio para la descripción de la condición de humedad . . . . .	162
Tabla 8.5	Criterio para la descripción de la reacción con $HCl$ . . . . .	163
Tabla 8.6	Criterio para la descripción de la consistencia . . . . .	163
Tabla 8.7	Criterio para la descripción de la cementación . . . . .	164
Tabla 8.8	Criterio para la descripción de la estructura. . . . .	164
Tabla 8.9	Criterios para la determinación del tamaño máximo de la partícula. . . . .	165
Tabla 8.10	Criterio para describir la Resistencia en seco de un suelo . . . . .	168
Tabla 8.11	Criterio para describir la dilatancia de un suelo . . . . .	169
Tabla 8.12	Criterio para describir la tenacidad de un suelo . . . . .	170
Tabla 8.13	Criterio para describir la plasticidad de un suelo. . . . .	171
Tabla 8.14	Identificación de suelos de grano fino inorgánicos por medio de ensayos manuales . . . . .	171
Tabla 8.15	Identificación del nombre y símbolo de grupo de un suelo de grano grueso	173
Tabla 10.1	Tiempo requerido para el reposo de especímenes húmedos.	
Tabla 11.1	Tiempo requerido para el reposo de especímenes húmedos . . . . .	221
Tabla 12.1	Volúmenes mínimos de agujeros de ensayo y muestras mínimas para contenidos de humedad basados en el tamaño máximo de las partículas . . . . .	248
Tabla 12.2	Peso unitario del agua.	

CAPÍTULO III: "ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO"

Tabla 14.1	Velocidad de aplicación de carga axial dependiendo del tipo de suelo	. 283
Tabla 15.1	Precisión de balanzas, de acuerdo al tamaño de muestra a ensayar	. 302
Tabla 15.2	Tiempo mínimo requerido para el reposo la muestra a compactar	. 306
Tabla 17.1	Diámetro mínimo del cilindro (Permeámetro), según el tipo de suelo a ensayar	. . . . . 373
Tabla 17.2	Propiedades del agua destilada ( $\eta =$ absoluta)	. . . . . 386

## INTRODUCCION

Para la construcción de toda obra civil, es indispensable conocer las condiciones y propiedades del suelo, por ello se hace necesario el conocimiento de las prácticas de laboratorio que se le realizarán.

El trabajo de investigación desarrollado abarca los ensayos que cubre la asignatura de Mecánica de Suelos, los cuales están basados en las Normas ASTM 2003 y las Normas AASHTO (para los ensayos de compactación y cono de arena), este documento ha sido elaborado con el propósito de que sea utilizado como una guía de estudio a docentes, estudiantes o personas relacionadas a esta rama.

Era necesario realizar este trabajo debido a que en la actualidad las guías utilizadas en la materia de Mecánica de Suelos están bajo Normas antiguas o en base a manuales de otros países. Estas guías pudieron ser actualizadas debido a que la Universidad de El Salvador posee las Normas ASTM 2003.

El presente Trabajo de Graduación consta de cinco capítulos; el primero de ellos es generalidades que incluyen los antecedentes del trabajo, planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, alcances globales y justificación.

El capítulo II consta de las generalidades de la asignatura de Mecánica de Suelos, donde se describen en base a libros de la materia algunas de las propiedades del suelo, así como una breve descripción de cada uno de los ensayos desarrollados.

El capítulo III incluye los ensayos correspondientes a las propiedades físicas de un suelo, como son: la determinación del contenido de humedad del suelo por el método de laboratorio, calentamiento directo, utilizando microonda y por el método Speedy; además contiene la determinación de la gravedad específica de un suelo, el análisis granulométrico de las partículas, la determinación de los límites líquido, plástico e índice de plasticidad, así como la práctica visual manual y la determinación de la materia orgánica presente en un suelo, todos estos en base a la norma ASTM del año 2003. El décimo ensayo desarrollado es la determinación de la compactación en un suelo (T-99), el siguiente es la determinación de la compactación en un suelo (T-180) y la determinación de la densidad de un suelo por el método del cono de arena,

todos ellos realizados bajo las normas AASHTO, pero con ciertas sugerencias retomadas de las normas ASTM, otro de los ensayos realizados es la determinación de la densidad de un suelo utilizando el densímetro nuclear.

El capítulo IV contiene los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas de los suelos y éstos son: el ensayo triaxial no drenado, no consolidado; el ensayo de corte directo, la consolidación de los suelos, el ensayo de permeabilidad y la penetración estándar (SPT).

También se presenta un capítulo IV donde se plasman las conclusiones obtenidas del desarrollo de este trabajo de graduación y algunas recomendaciones.

Además, se incluye la bibliografía utilizada a lo largo del trabajo y como anexos los formatos correspondientes a cada uno de los ensayos.

Cada uno de los ensayos comprende los siguientes ítems: título del ensayo, objetivos, documentos de referencias, definiciones, alcances, aplicación e importancia del método, material y equipo, procedimiento del ensayo, cálculos, ejemplo de cálculo, cuestionario y contenido del reporte.

---

# **CAPITULO I**

---

## **“GENERALIDADES”**

## 1.1 ANTECEDENTES

El estudio de la Mecánica de Suelos es una rama de suma importancia para cualquier tipo de obra de Ingeniería Civil que se pretenda ejecutar, por medio de ésta se pueden determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, lo cual hace posible la estimación de la capacidad de carga, los asentamientos, la presión de tierra, presión de poros, etc. Uno de los objetivos más importantes de esta disciplina es prever los problemas que se puedan presentar en el futuro, a través del conocimiento del comportamiento del suelo. Dicha rama puede ser aplicada antes, durante y después de la construcción. En una primera fase se emplea en obras como excavaciones, taludes, entre otros. Durante la construcción de una obra se aplica cuando ocurren problemas de asentamientos y agrietamientos de edificios, pudiendo ser provocados por una baja capacidad de carga del suelo y la presencia de suelos compresibles o sueltos bajo las cimentaciones de la estructura, además el agrietamiento puede ser ocasionado por la presencia de suelos con alto grado de contracción y expansión. En algunas de las construcciones donde ocurren estos problemas, no se elabora un estudio adecuado de Mecánica de Suelos, que proporcione la información necesaria para observar la calidad de los materiales existentes en el lugar, localizando de esta manera puntos críticos en los que se pueden originar problemas durante y después de la construcción, además de carecer de datos acerca de los suelos subyacentes del lugar y por ende dudas sobre el comportamiento de los mismos.

Antes de la aplicación de esta disciplina, el ingeniero buscaba la ubicación de sus obras y generalmente las cimentaba en roca o en suelos más o menos compactos; sin embargo hoy en día, con el incremento de la población, estos lugares se vuelven escasos y se debe construir en zonas donde el suelo en su mayoría muestra condiciones adversas para el apoyo de fundaciones, como también condiciones de riesgo tales como la inestabilidad de laderas, lo que vuelve aun más complejo el problema de cimentaciones para los proyectos, por lo que cada vez se hace más necesaria la puesta en práctica de criterios geotécnicos que encuentran su mayor apoyo en la Mecánica de Suelos y por ende en aquellos datos obtenidos mediante ensayos de campo y laboratorio que conllevan al mejor conocimiento y caracterización de los suelos y con ello su comportamiento.

De acuerdo con lo anterior, tales conocimientos son adquiridos mediante el estudio de Mecánica de Suelos, la cual fue introducida en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad



de El Salvador, en el plan de estudio del año de 1954, donde solamente se impartían clases teóricas, ya que se carecía de un laboratorio que permitiera poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos. Fue hasta el año de 1966 en que fue fundado el laboratorio, con la adquisición de equipo consistente en tamices, copas de Casagrande y otros pequeños elementos como tubos de ensayo, mecheros, pinzas, etc. En dichos años las prácticas de los ensayos se realizaban en galeras, las cuales estaban ubicadas en el mismo lugar donde en este momento se encuentra el edificio de Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil. En el año de 1967, se adquiere el compromiso de llevar el control de materiales utilizados en la construcción del edificio de la Facultad de Medicina, a cambio de ello se adquiere la máquina manual para la compresión de cilindros de concreto, la cual aún todavía se encuentra en las instalaciones del laboratorio.

En 1969 se concluye la construcción de la infraestructura de laboratorio, debido a las gestiones realizadas por un grupo de ingenieros, entre los que se destacan el Ingeniero Mario Angel Guzmán Urbina y el Jefe del Departamento de Estructuras de ese periodo, el Ingeniero Ricardo Martínez. Fue hasta el año de 1970 que el Laboratorio inicio prestando servicios, aunque su primer estudio de Mecánica de Suelos lo realizó con equipo prestado del Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG). Con el afán de continuar equipando las instalaciones, los cobros por los servicios prestados se hacían en especie; lo que significaba que por un estudio de materiales realizado el interesado pagaba por medio de donaciones de maquinaria y equipo, lográndose adquirir aparatos necesarios que aún no se poseían. Como un reconocimiento al valioso aporte del Ingeniero Guzmán Urbina en la fundación y equipamiento del laboratorio, en el año de 1987 se nombra a éste con el nombre de "Laboratorio de Suelos y Materiales Ing. Mario Angel Guzmán Urbina".

Actualmente se ofrecen ensayos de laboratorio a empresas particulares y principalmente a todas las carreras de ingeniería que requieran el uso del laboratorio. Específicamente algunos de los ensayos que se practican en el laboratorio de la asignatura de Mecánica de Suelos, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, se basan en procedimientos conforme a normas ASTM de los años 90's y manuales mexicanos de ensayos de laboratorio. Además, es necesario considerar que las guías existentes requieren ser complementadas con ilustraciones, descripciones del uso correcto del equipo, modificación de procedimientos, (los cuales carecen

de ciertos criterios que son necesarios tomar en cuenta de acuerdo a los requerimientos propuestos en las Normas ASTM edición 2003), entre otros.

Una Norma ASTM<sup>1</sup> es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM. Las normas se llevan a cabo con la participación de todas las partes que tienen intereses en su desarrollo o uso. ASTM Internacional fue creada en 1898, siendo una organización no lucrativa, que brinda publicación de normas voluntarias por consenso, aplicables a los materiales, productos, sistemas y servicios; entre ellas abarca metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, ambiente, productos de consumo, servicios y recursos médicos, sistemas de pasteurización, electrónica y otras áreas. El libro Anual de Normas ASTM 2003, consta de 77 volúmenes, dividido en 16 secciones, en la sección 4 correspondiente a Construcción se encuentran 13 volúmenes, entre los cuales se ubica el volumen 04.08 y 04.09 que determinan los estándares para Suelos y Rocas.

Las normas ASTM las usan compañías, agencias en todo el mundo, científicos e ingenieros (en sus laboratorios y oficinas); arquitectos y diseñadores (en sus planos); las agencias gubernamentales de todo el mundo hacen referencia a ellas en códigos, regulaciones y leyes; y muchos otros las consultan para obtener orientación sobre muchos temas.

Cabe mencionar que con el avance de la tecnología, el equipo y procedimiento utilizado en muchas prácticas ha tenido algunas modificaciones, por lo que se hace necesario conocer las nuevas disposiciones a tomar en cuenta para la realización de éstas, con el fin de que los ensayos se realicen dentro de los estándares propuestos de acuerdo a las Normas ASTM actuales y así obtener resultados más confiables que nos permitan dar soluciones ante algún problema inherente a la Mecánica de Suelos, que surja antes y durante la ejecución de un proyecto.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la Mecánica de Suelos existe una diversidad de ensayos de laboratorio que son necesarios para la obtención de algunas propiedades físicas y mecánicas de los suelos, para ello es necesario registrarse bajo procedimientos normados que nos permitan obtener datos que sean lo

---

<sup>1</sup> American Society for Testing and Materials; Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

más cercano a la realidad y así proporcionar soluciones ingenieriles inherentes a la Mecánica de Suelos. El procedimiento que se realiza en las prácticas de laboratorio debe ser de acuerdo a lo especificado en las normas correspondientes; pero además, debe ser actualizado para que dichos procesos no se vuelvan obsoletos. Las nuevas disposiciones de las Normas ASTM 2003 establecen la forma más actualizada de realizar las pruebas y ciertas variaciones que éstas presentan respecto al procedimiento, equipo a utilizar, etc. En base a lo anterior, se hace necesaria la implementación de un documento que permita conocer las modificaciones recientes de las normas ASTM (2003) establecidas en su última y más reciente actualización, que contribuya a entender en una forma más clara el proceso de los ensayos, descripción del equipo a utilizar, definición de conceptos, etc., todo ello basado en consultas de las Normas ASTM 2003 correspondientes y en recopilación bibliográfica de textos referentes al tema, con la finalidad de que las personas que deseen llevar a cabo algún ensayo puedan realizarlo en base a un procedimiento sistemático actualizado y que sirva como guía.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Elaborar un Manual de laboratorio para la asignatura de Mecánica de Suelos conforme a las Normas ASTM 2003, para que sea utilizado como guía de consulta por docentes, estudiantes y toda persona interesada en el área de ejecución de ensayos de laboratorio de suelos.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Realizar una propuesta de las prácticas de laboratorio actualizadas que se deben desarrollar en la asignatura de Mecánica de Suelos, conforme al programa de estudios.
- ❖ Llevar a cabo la revisión y actualización de los procedimientos realizados en los ensayos, así como el equipo correspondiente a cada práctica.
- ❖ Realizar el análisis e interpretación de las Normas ASTM 2003 correspondientes a los ensayos de laboratorio que se llevan a cabo en la asignatura de Mecánica de Suelos, en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador.
- ❖ Ilustrar por medio de fotografías el equipo y los procedimientos para la realización de los ensayos, describiendo en forma clara y precisa su funcionamiento y desarrollo respectivamente.
- ❖ Efectuar los ensayos de las prácticas de laboratorio de suelos documentadas, utilizando los criterios de la Norma ASTM 2003 establecidos en el manual.
- ❖ Documentar un ejemplo de los cálculos que se deben realizar en cada uno de los ensayos propuestos.
- ❖ Revisar y/o crear formatos u hojas de registro para los datos obtenidos en los ensayos, así como elaborar hojas electrónicas haciendo uso del programa Microsoft Excel; para su posterior utilización en la asignatura de Mecánica de Suelos.

## 1.4 ALCANCES GLOBALES

- ❖ Se realizará un análisis e interpretación de las Normas ASTM 2003 referentes a los ensayos que se desarrollan en la materia de Mecánica de Suelos.
- ❖ Se elaborará una propuesta de los ensayos que conformarán el Manual de consulta para que sea implementado como guía para las prácticas de laboratorio de la asignatura de Mecánica de Suelos, conforme a las Normas ASTM 2003 correspondientes.
- ❖ Cada práctica de laboratorio propuesta contendrá objetivos, documentos de referencia, definiciones, alcances, resumen del método de ensayo, aplicación e importancia del método, material y equipo necesarios, procedimientos a realizar, cálculos, contenido del reporte, así como un cuestionario referente a la práctica realizada.
- ❖ Se elaborarán formatos para el registro ordenado de datos de laboratorio, así como hojas electrónicas para el cálculo de los resultados obtenidos en los ensayos, de manera que sean utilizados como herramienta oficial en la materia de Mecánica de Suelos.

## **1.5 JUSTIFICACION**

Debido a los procesos de globalización implementados en algunos países del mundo, surge la necesidad de crear sistemas de gestión de calidad, los cuales permitan a los laboratorios de suelos proporcionar a sus clientes una mayor garantía en el servicio que se les presta, además de dar a conocer a los estudiantes sobre dicho sistema.

Algunos métodos de ensayo utilizados actualmente en la materia de Mecánica de Suelos no contienen los últimos cambios de las revisiones y modificaciones de las normas ASTM, es decir; están basados en normas ASTM de años anteriores, así como en manuales mexicanos de ensayos de laboratorio, como el Manual de Laboratorio de suelos de Joseph Bowles. Por otra parte, existen otros métodos de ensayo que se considera pueden realizarse de forma ágil y complementar el desarrollo educativo del estudiante, para hacerlo más competitivo en su rol profesional. Por ello, surge la necesidad de actualizar y mejorar los procedimientos de realización de los ensayos que se llevan a cabo en dicho laboratorio, a través de la elaboración de un manual que contemple las modificaciones que presentan las Normas ASTM del año 2003 y al mismo tiempo, se conozcan los cambios con respecto a las normas de años anteriores.

---

## **CAPITULO II**

---

**“MARCO TEORICO”**

## **2.1 GENERALIDADES DE MECANICA DE SUELOS**

La Mecánica de Suelos es la rama de la ciencia que trata el estudio de las propiedades físicas y del comportamiento de las masas de suelos sometidos a varios tipos de fuerzas, y que se apoya en otras ciencias como la Geología, Topografía e Hidrología.

Karl Terzaghi, define a la Mecánica de Suelos como la “aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica”.

La palabra suelo se deriva del latín “solum” que significa “base, tierra en que se vive”, posee diferentes significados dependiendo del contexto en que se use y de los intereses que se tengan, por ejemplo, para los agricultores, el suelo es la sustancia que da vida a las plantas, para los geólogos es todo material de la corteza terrestre con una antigüedad superior a un millón de años, para el ingeniero, el término suelo se define de una forma más completa, siendo cualquier material no consolidado o muy poco cementado, situado sobre un lecho rocoso, duro y consolidado, compuesto de diferentes partículas sólidas, con gases y líquidos

El suelo se forma por la desintegración de la roca provocada por procesos mecánicos, en donde los pedazos de roca debido a la gravedad son reducidos y se parten en tamaños más pequeños, chocando entre sí al ser transportados por el agua o el viento y procesos químicos, los cuales actúan en menor proporción como la oxidación, hidratación, carbonatación.

### **2.1.1 Principales tipos de suelos.**

Todos los suelos pueden agruparse en cinco tipos base: grava, arena, limo, arcilla y materia orgánica; aunque raramente existen por separado como tipos base, sino que se encuentran combinadas.

Las definiciones de cada tipo base se hacen en referencia al tamaño de las partículas que los constituyen, siendo éstas:



***Grava:***

Es un suelo compuesto en su mayor parte por partículas de diámetros desde 4.75 mm a 76.2 mm, siendo muy permeable.<sup>2</sup>

***Arena:***

Es un suelo compuesto en su mayor parte por partículas de 0.075 mm a 4.75 mm de diámetro, moderadamente permeable.<sup>2</sup>

***Limo:***

Es un suelo de grano fino con partículas menores de 0.075 mm, de baja plasticidad y es muy poco permeable.<sup>2</sup>

***Arcillas:***

Es cualquier suelo capaz de mantenerse plástico con variaciones relativas de humedad, constituido por partículas menores a 0.002 mm.<sup>3</sup>

***Turba:***

Esta constituido totalmente de materia orgánica fibrosa, es material altamente compresible y esponjoso, de color castaño oscuro a negro. Este tipo de suelo representa problemas por su alta compresibilidad, relación de vacíos, contenido de humedad.

De acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas que poseen los suelos, éstos pueden clasificarse también en: suelos cohesivos y suelos no cohesivos (friccionantes).

***Suelos cohesivos:***

Contienen partículas de arcilla y/o limo que transmiten cohesión y plasticidad. Generalmente las partículas de estos suelos poseen forma laminar o de placas.

***Suelos no cohesivos o friccionantes:***

Son suelos constituidos por partículas redondas, no laminares y sin plasticidad como gravas y arena, tomándose las partículas individualmente.

---

<sup>2</sup> Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

<sup>3</sup> Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)

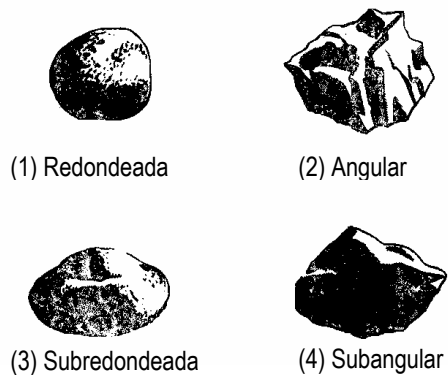
## 2.1.2 Tamaño y forma de las partículas

### *Tamaño de la partícula:*

Las partículas de un suelo se describen en función de su tamaño, identificando los grupos principales según la escala adoptada por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), en la cual la escala de las gravas corresponde a las partículas más gruesas, incluyendo todos los granos mayores que el tamiz No. 4 (4.75 mm). La arena incluye todas las partículas menores que el tamiz No. 4 (4.75 mm) y mayores que el No. 200 (0.075 mm). Los granos menores que el tamiz No. 200 (0.075 mm) son los finos, los que se subdividen en limos que son partículas mayores que 0.002 mm, de baja plasticidad y arcillas que son menores que 0.002 mm, aunque es muy difícil de clasificarlos, ya que existen suelos más finos que 0.002 mm que no necesariamente son arcillas, este sistema es usado usualmente por los ingenieros geotécnicos. Otro sistema de clasificación es el sistema AASHTO que es usado principalmente por los departamentos de caminos estatales y clasifica los suelos en siete grupos mayores: del A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. Además clasifica los suelos altamente orgánicos (turba) dentro del grupo A-8, estos materiales se clasifican en base a una inspección visual y no depende del porcentaje que pasa la malla No. 200, límite líquido o índice de plasticidad.

### *Forma de la partícula:*

En ocasiones no es muy considerada debido a la dificultad de medirla y describirla. La forma de los granos puede ser de cuatro tipos: partículas redondeadas cuando el largo, ancho y espesor de la partícula son de la misma magnitud (figura A1); angulares cuando tienen bordes afilados y sus lados relativamente planos, con superficies ásperas (figura A2); subredondeadas cuando poseen lados casi planos, pero tienen ángulos y bordes redondos (figura A3) y subangulares que son similares a las partículas angulares, pero con bordes redondeados (figura A4).



**Figura A** Forma típica de las partículas.

### 2.1.3 Muestreo del Suelo.

La realización de la toma de muestras de un suelo, es de suma importancia cuando se desee realizar un estudio del suelo, ya que el muestreo permite su identificación, clasificación y además se pueden determinar en laboratorio las distintas propiedades físicas y mecánicas que posee.

Existen dos tipos de muestras que pueden ser extraídas por medio de un muestreo de suelos, éstas son alteradas o inalteradas.

#### *Muestras Alteradas:*

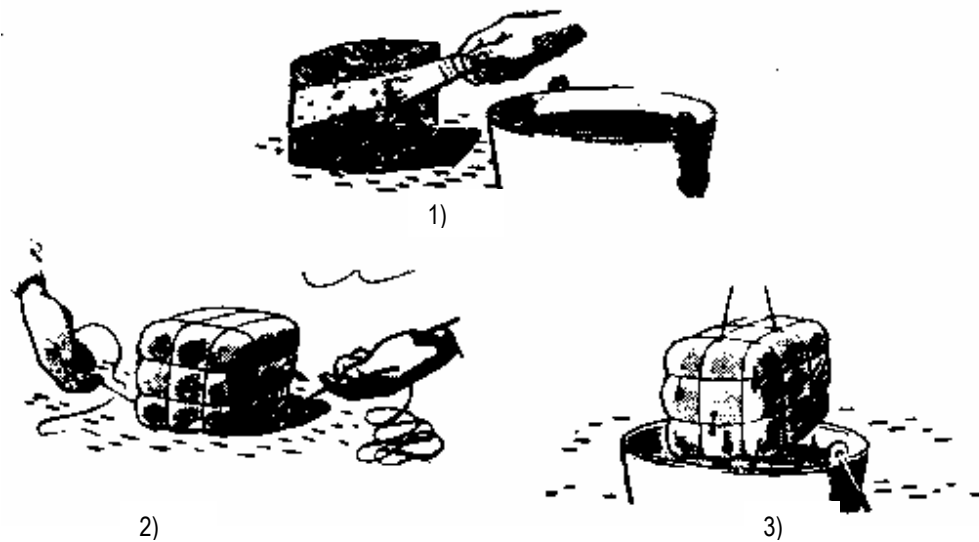
Este tipo de muestras se obtienen por medio del uso de técnicas que modifican la estructura natural del suelo. El suelo es recolectado tan rápido como es perforado, procurando que no pierda su contenido de humedad, introduciéndolas en frascos o bolsas parafinadas (ver figura B).



**Figura B** Obtención de muestras alteradas.

### ***Muestras Inalteradas:***

Estas muestras son obtenidas con técnicas que intentan preservar en la medida de lo posible la estructura natural, el contenido de humedad y la relación de vacíos, envolviéndolas con tela de manta debidamente impermeabilizada con parafina. Pueden ser cortadas a mano de excavaciones a cielo abierto u obtenidas por medio de tubos de pared delgada del fondo de las perforaciones (ver figura C).



**Figura C** Obtención de muestras inalterada: 1) Parafinado de la superficie de la muestra; 2) Protección de la muestra con tela de manta y cordel; 3) Inmersión de la muestra en parafina.

#### **2.1.3.1 Tipos de muestreo**

Algunos de los tipos principales de muestreo que se utilizan para el conocimiento del subsuelo son los siguientes:

##### *a) Pozos a cielo abierto con muestreo alterado o inalterado*

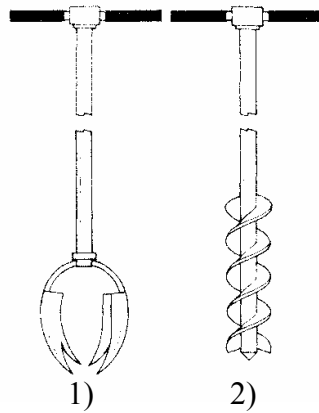
Este método consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural y darse cuenta de las condiciones que posee. Una desventaja de este método es que no puede llevarse a grandes profundidades, debido a la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático, la excavación se encarece mucho debido a la utilización de ademes a causa de la profundidad.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos encontrados.

*b) Perforaciones con posteadora o barrenos helicoidales*

La muestra de suelo obtenida por este método es completamente alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente al contenido de humedad en suelos muy plásticos.

La perforación con barrena es el método más simple para efectuar muestreos, la figura D muestra dos tipos de barrenas manuales: *posteadora* y *helicoidal*. Las barrenas manuales no se usan para excavaciones mayores de 3 a 5 m; sin embargo se utilizan para trabajos de exploración de suelos en carreteras y estructuras pequeñas.



**Figura D** Barrenas manuales: 1) posteadora; 2) barrena helicoidal

*c) Método de penetración estándar*

Es el método más simple para obtener el grado de compactación del suelo en situ, consiste en contar el número de golpes que se requieren para hincar la cuchara sacamuestra 30 cm en el terreno, con la caída de un peso determinado desde una altura fija.

#### **2.1.4 Fases del suelo**

En los suelos se distinguen tres fases, entre las que se encuentran: fase sólida, que está formada por partículas minerales; fase líquida, que está constituida por el agua que contiene y la fase gaseosa que está formada principalmente por aire, aunque pueden presentarse otros gases.

Las fases líquida y gaseosa suelen comprenderse en el volumen de vacíos, mientras que la fase sólida constituye el volumen de los sólidos.

***Suelo saturado:***

Se denomina al suelo de esta manera cuando sus vacíos están ocupados por agua, por tal razón la muestra sólo tendrá dos fases: fase líquida y fase sólida.

***Suelo seco:***

Se define como aquel suelo constituido por el volumen de sólidos, se determina sometiendo la muestra de suelo a un proceso de evaporación en un horno a temperaturas de 105 °C a 110 °C, hasta obtener una masa constante.

**2.1.5 Características físicas y mecánicas de una muestra de suelo.**

Para realizar la descripción e identificación de una muestra de suelo es necesario determinar las características físicas y mecánicas siguientes:

***Porosidad:***

Se define como la relación entre el volumen ocupado por gases y líquidos y el volumen total del suelo.

***Textura:***

Se conoce a través del tacto de un suelo referente a suavidad, cohesión, aspereza, compactación cuando se moldea entre los dedos una porción de suelo con suficiente humedad.

***Olor:***

Se explora para determinar la presencia de materia orgánica, ya que ésta posee un olor particularmente intenso si el suelo está húmedo y disminuye con la exposición al aire.

***Plasticidad:***

Propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, sin romperse hasta cierto límite, para ello se recurre a los Límites de Atterberg.

***Granulometría:***

Es la determinación de la cantidad de los diferentes tamaños de partículas que constituyen el suelo, expresado en porcentaje.

***Resistencia al esfuerzo cortante:***

Es el valor máximo de la resistencia al corte que se puede inducir dentro de la masa del suelo antes de que ceda.

***Permeabilidad:***

Es la facilidad con que se mueve un fluido a través de cualquier medio poroso, siendo el fluido el agua y el medio la masa del suelo.

***Compresibilidad:***

Propiedad de un suelo que le permite disminuir en volumen cuando está sujeto a esfuerzos de compresión.

***Compactación:***

Es la densificación del suelo por remoción de aire, por medio de energía mecánica.

## **2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS**

El estudio adecuado de las condiciones de un tipo de suelo, constituyen una fuente de conocimientos muy importante, ya que de otro modo puede conducir a dar conclusiones erróneas. Los esfuerzos para reducir los riesgos inherentes en todo trabajo con suelos, consiste en determinar las propiedades que nos permitan diferenciar los distintos comportamientos y tipos de suelos. Las propiedades en que se basa dicha diferenciación se conocen con el nombre de propiedades físicas de los suelos.

Las propiedades físicas de los suelos, son aquellas que nos proporcionan criterios para distinguir entre sí diferentes tipos de suelos y nos dan instrucciones útiles para describir los suelos en forma adecuada.

Algunas de las propiedades físicas de los suelos, son las que se mencionan a continuación:

1. Contenido de humedad
2. Gravedad específica del suelo
3. Análisis del tamaño de las partículas de los suelos
4. Límites de Atterberg
5. Descripción e identificación de los suelos

6. Contenido de materia orgánica
7. Densidad de un suelo

### **2.2.1 Contenido de humedad de un suelo**

El contenido de humedad ( $\omega$ ) de un suelo, se define como la relación entre la masa del agua contenida en el suelo y la masa del suelo seco y comúnmente se expresa como porcentaje.

La determinación del contenido de agua (humedad) de una muestra de suelo puede ser realizada por diferentes métodos entre los cuales se tienen:

- Método de laboratorio
- Método de calentamiento directo
- Método de presión a gas de carburo de calcio (Speedy)
- Método de calentamiento con horno microonda

Cada uno de éstos métodos esta estandarizado por las Normas ASTM correspondientes, para que los resultados tengan mayor garantía.

*2.2.1.1 Método para determinar la humedad de un suelo por laboratorio (ASTM D 2216)*, éste consiste en introducir un espécimen de prueba colocado en un recipiente en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta obtener una masa constante. La pérdida de masa debido al secado se considera que es agua, luego se determina la masa seca del espécimen con el recipiente.

Es importante resaltar que cuando se somete un suelo a un horno, se supone que todo el suelo, en su parte sólida se mantendrá así, y que no se evaporará, como suele suceder con algunos asfaltos, que al calor se convierten en gas, mermando el peso de la parte sólida. También se supone que no hay materia orgánica que se afecte con el calor del horno.

*2.2.1.2 Método de calentamiento directo (ASTM D 4959)*, éste consiste en secar una muestra de suelo húmeda colocándola en un recipiente apropiado, determinada su masa, se somete al secado por la aplicación de calor directo hasta que posea una apariencia seca, luego es removida de la fuente de calor, su nueva masa es determinada. Este procedimiento se repite hasta que la masa es constante dentro de los límites especificados.



2.2.1.3 *El Método de presión a gas de carburo de calcio (Speedy) (ASTM D 4944)*, consiste en colocar una cantidad moderada de carburo de calcio de manera que reaccione con el agua, luego ésta se coloca en el aparato de ensayo junto con dos bolas de acero y un espécimen representativo de suelo (con las partículas que pasan el tamiz No.4 y con una masa igual a la especificada por el fabricante del instrumento o equipo). El aparato se agita vigorosamente con un movimiento rotativo para que el reactivo de carburo de calcio pueda reaccionar con el agua disponible en el suelo. El contenido de agua se lee desde un indicador de presión en el aparato calibrado, el cual se expresa en porcentaje.

2.2.1.4 *Método de calentamiento directo con horno microonda (ASTM D 4643)*. Este método se usa como un sustituto para el Método de Prueba ASTM D 2216, cuando se desean resultados en un menor tiempo, aunque éstos sean menos exactos son aceptables. Esta prueba se realiza colocando un espécimen de suelo húmedo en un recipiente determinando dicha masa, luego se coloca en un horno microondas sujeto a un intervalo de tiempo de secado, inmediatamente se retira del horno y se determina su nueva masa. Este procedimiento se repite hasta que la masa llegue a ser constante. La diferencia entre la masa del espécimen húmedo y el espécimen seco se usa originalmente como la masa del agua contenida en el espécimen. Para un suelo y tamaño de muestra dado, el tiempo para alcanzar una masa seca constante puede conocerse y usarse como un tiempo de secado mínimo para pruebas subsiguientes; siempre que se use el mismo tamaño del espécimen del mismo suelo.

## **2.2.2 Determinación de la gravedad específica del suelo.**

El peso específico relativo de la mayoría de partículas minerales constituyentes de un suelo, varía entre límites estrechos de 2.6 a 2.9.

La gravedad específica es también llamada “densidad de los sólidos o peso específico relativo” y se define como el peso unitario del material, dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados. Se representa por  $G_s$ , pudiéndose calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua, siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua. Este ensayo se realiza en base a las especificaciones de la norma ASTM D 854 y permite hallar la cantidad de vacíos que hay en un determinado suelo y clasificarlo.

### 2.2.3 Análisis del tamaño de las partículas de los suelos (ASTM D 422).

El análisis del tamaño de las partículas conocido también como análisis mecánico del suelo, consiste en determinar el rango del tamaño de las partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje de la masa seca total. Con el advenimiento de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes.

Debido a la gran variedad de tamaños de las partículas de un suelo, los científicos han tratado de dividir en secciones toda la escala de tamaños. Se han propuesto muchas divisiones, todas son arbitrarias y ninguna es mejor que la otra. La escala adoptada por ASTM (American Society for Testing and Materials) se muestra en la figura E.

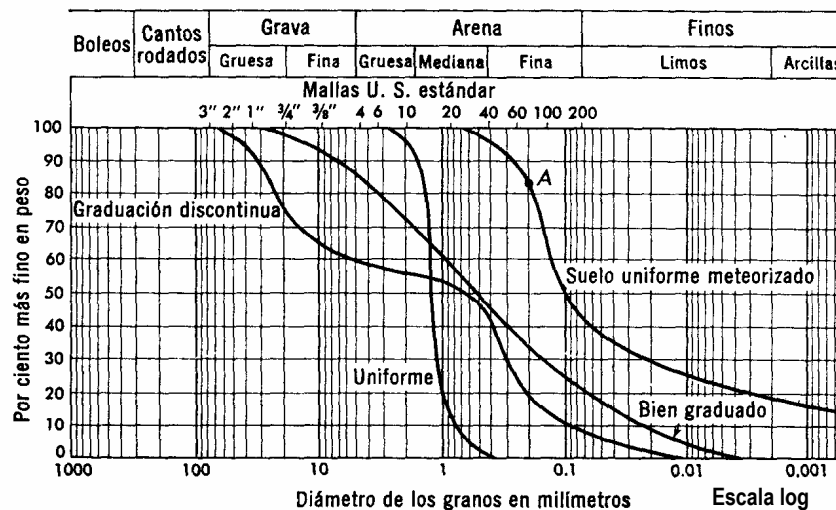


Figura E Representación gráfica del tamaño de las partículas de un suelo.

Fuente: Introducción a la Mecánica de suelos y cimentaciones ( Sowers and Sowers)

Generalmente se usan dos métodos para determinar la distribución del tamaño de las partículas del suelo: análisis por tamizado y análisis hidrométrico; el tamizado se realiza en partículas que tienen tamaños mayores a 0.075 mm de diámetro (malla N° 200) y el análisis hidrométrico, se realiza en tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro. El método más directo para separar un suelo en fracciones de distinto tamaño consiste en el uso de tamices.

### 2.2.4 Límites de Atterberg.

Los suelos cohesivos según su naturaleza y cantidad de agua que contienen, pueden presentar propiedades que los incluyan en estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

El método utilizado para medir estos límites de consistencia, se conoce como **Método de Atterberg** y los contenidos de agua con los cuales se producen los cambios de estado se denominan **límites de Atterberg**.

Los límites de Atterberg se determinan en laboratorio mediante los procedimientos indicados en la Norma ASTM D 4318, estos son el límite líquido y límite plástico.

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo así como para la identificación del mismo, utilizando la **Carta de plasticidad** (Ver figura F).

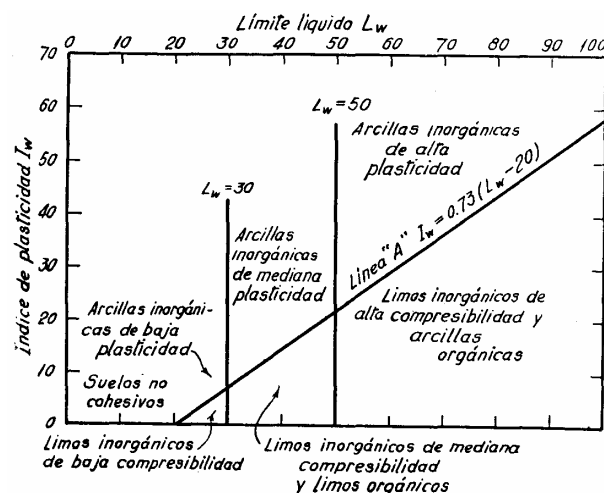


Figura F Carta de plasticidad.

Fuente: Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica (Terzaghi and Peck).

En la carta de plasticidad, las abscisas representan el límite líquido y las ordenadas el índice de plasticidad. Dicho grafico está dividido en seis regiones, tres de ellas situadas por encima de la línea A y las otras tres por debajo. Todos los puntos que representan las arcillas inorgánicas están situados por encima de la línea A, mientras que los puntos que representan los limos inorgánicos están situados por debajo.

### **2.2.5 Descripción e identificación de los suelos (Procedimiento Visual-Manual).**

La identificación de un suelo es de suma importancia en la ingeniería, permite conocer en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, pero para ello, es necesario poseer experiencia; para poder brindar una clasificación correcta.

Las características principales para identificar suelos finos en una investigación de campo son: dilatancia, tenacidad, resistencia en estado seco, plasticidad, ensayo de brillo, sedimentación y sonido. Para determinar la presencia de materia orgánica, óxidos de hierro, metales, etc., las características a determinar son el color y el olor.

Para suelos de grano de grueso se determina la angulosidad de las partículas y tamaño.

### **2.2.6 Contenido de materia orgánica.**

La materia orgánica se encuentra en los suelos en forma dispersa, representa un pequeño porcentaje del peso total, pero su influencia en el comportamiento del suelo puede ser mayor de lo que se podría suponer, dadas sus proporciones relativas.

Estos materiales se encuentran en algunos suelos superficiales, donde el medio ambiente no es propicio para una rápida descomposición, tal como ocurre con las capas fibrosas de raíces y la vegetación parcialmente descompuesta.

La descomposición parcial ocasiona peligro para los obreros en trabajos de excavación, y además; acelera la corrosión de los materiales de construcción, debido a que se produce ácido sulfhídrico gaseoso. Los suelos que contienen grandes cantidades de raíces, son tan compresibles que si es posible, no se deben de usar, sin embargo; es importante conocerlos y saber usarlos, porque podría no haber otra alternativa.

La norma ASTM D 2974, describe un método sencillo que permite conocer el contenido de ceniza y materia orgánica de un suelo.

### **2.2.7 Ensayo de compactación en laboratorio.**

La compactación de un suelo es la densificación del suelo por remoción de aire, lo cual requiere la aplicación de energía mecánica. Para estimar el grado de compactación de un suelo es necesario determinar el peso específico seco del mismo.

Los ensayos utilizados para la obtención del peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo de un suelo, son las pruebas Proctor Estándar y Proctor Modificada (estandarizadas por las normas T-99 y T-180 respectivamente).

Algunos de los factores que afectan el grado de compactación de un suelo son: contenido de agua, granulometría del suelo, tipo de suelo y energía de compactación.

Con la aplicación de la compactación, son mejoradas las propiedades mecánicas del suelo, se aumenta la resistencia al corte, la permeabilidad y los asentamientos del suelo disminuyen.

La finalidad de la prueba de compactación en laboratorio, es disponer de muestras de suelo compactadas teóricamente con las condiciones de campo, a fin de estudiar sus propiedades mecánicas para conocer datos firmes del proyecto; además de servir para controlar el trabajo de campo y tener una mayor seguridad de que el equipo utilizado trabaje efectivamente.

#### **2.2.8 Densidad de un suelo.**

El ensayo permite obtener la densidad del terreno, controlando la calidad del suelo y así verificar los resultados obtenidos en trabajos de compactación de suelos, en los que existen especificaciones en cuanto a la humedad y densidad de manera que se cumplan los requisitos para su uso.

Entre los métodos utilizados se encuentran: el Método del cono de arena, balón de hule e instrumentos nucleares.

La norma ASTM D 1556 (T-191), describe el procedimiento para realizar la determinación de la densidad del suelo por medio del Método del cono de arena y el Método Nuclear se encuentra estandarizado por la norma ASTM D 2922. En la actualidad la práctica más utilizada es la del cono de arena, debido a la fácil adquisición que se tiene del equipo.

### **2.3 PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO**

Las propiedades mecánicas son de gran interés en el estudio del comportamiento de los suelos, cuando estos se encuentran sometidos a diferentes tipos de carga. Para determinar dichas propiedades es necesario realizar diferentes ensayos entre los que se tienen:

1. Prueba de compresión triaxial
2. Ensayo de corte directo

3. Ensayo de consolidación unidimensional,
4. Ensayo de permeabilidad
5. Prueba de Penetración Estándar (SPT).

### **2.3.1 Prueba de Compresión Triaxial No drenada - No consolidada.**

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo, pero la información que proporciona es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada.

Existen tres alternativas para realizar el ensayo de compresión triaxial, las cuales son: Prueba consolidada drenada (CD), Prueba consolidada no drenada (CU) y la Prueba no consolidada no drenada (UU) que se encuentra regida por la norma ASTM D 2850.

El ensayo consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión hidráulica igual en todo sentido y dirección, pudiendo permitir o no el drenaje de la muestra, este procedimiento pertenece a la primera etapa de la prueba. Alcanzado ese estado de equilibrio inicia la segunda etapa del ensayo, en la cual es aumentada la presión normal, sin modificar la presión lateral aplicada, hasta que se produzca la falla en la muestra, permitiendo o no el drenaje.

### **2.3.2 Ensayo de Corte Directo.**

Es uno de los métodos más simples, más antiguos y más usados, se conoce como ensayo de corte directo o en forma más breve como ensayo de corte.

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatiga y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en el terreno producto de la aplicación de una carga. Este ensayo se realiza utilizando un aparato de corte directo que consiste de un marco inferior que es fijo y uno superior que puede deslizarse horizontalmente, los cuales contienen a la muestra de suelo.

Además dos piedras porosas proporcionan drenaje libre a las muestras saturadas, las que pueden ser sustituidas por placas de confinamiento, cuando se ensayen muestras secas. Este método de prueba es basado en la norma ASTM D 3080.

### **2.3.3 Ensayo de consolidación unidimensional.**

El fenómeno de la consolidación es un proceso de disminución de volumen por expulsión de agua, que tiene lugar en un lapso de tiempo, provocado por un aumento de las cargas sobre el suelo.

El ensayo de la consolidación unidimensional de una masa de suelo está regido por la Norma ASTM D 2435. Se realiza colocando una muestra de suelo dentro de un anillo metálico generalmente de bronce con dos piedras porosas, una en cada cara de la muestra. Las cargas son aplicadas sobre el espécimen de prueba por medio de un brazo de palanca y se mide la compresión por medio de un micrómetro calibrado. El espécimen se encuentra saturado durante el ensayo. El incremento de las cargas se realiza aproximadamente cada 24 horas y se continúa midiendo la compresión, posteriormente se lleva a cabo el proceso de descarga. La deformación vertical que experimenta el suelo define sus asentamientos. En este ensayo el volumen de la masa de suelo disminuye, pero los desplazamientos horizontales de las partículas sólidas son nulos.

Esta prueba se realiza únicamente a suelos de grano fino, ya que al aplicar cargas a un suelo de grano grueso seco, parcial o completamente saturado, el proceso de deformación con disminución de vacíos, se produce en un tiempo tan corto que es posible considerarlo instantáneo.

Los datos obtenidos de la prueba de consolidación son utilizados para estimar la magnitud y proporción diferencial de los asentamientos del suelo. Las estimaciones de este tipo son de importancia en la evaluación de su comportamiento y en el diseño de estructuras.

### **2.3.4 Ensayo de permeabilidad (Método de carga constante).**

Un material es permeable cuando posee la propiedad de permitir el paso del agua a través de sus poros.

La permeabilidad de los suelos depende de varios factores, como la viscosidad de los fluidos, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica y grado de saturación.

Existen varios métodos para la determinación de la permeabilidad de los suelos:

*Métodos Directos*, llamados así porque se basan en pruebas cuyo objetivo es la medición de tal coeficiente, siendo éstos: Método de carga variable indicado para suelos impermeables (grano fino) y Método de carga constante donde son utilizados suelos muy permeables (grano

grueso). La norma que cubre la determinación de la permeabilidad de un suelo por el método de carga constante es la Norma ASTM D 2434.

*Métodos indirectos*, que son proporcionados en forma secundaria, por pruebas cuya finalidad principal es determinar otras propiedades del suelo, obteniéndose a partir de la curva granulométrica y de la prueba de consolidación.

La importancia del coeficiente de permeabilidad es vital para poder determinar por ejemplo: la capacidad de retención de aguas de presas o embalses de tierra, la capacidad de las bombas para rebajar el nivel freático en una excavación y para poder determinar la velocidad de asentamiento de una estructura al escurrir el agua, entre otros.

### **2.3.5 Prueba de Penetración Estándar (SPT)**

Este método de ensayo (ASTM D 1586), es el más utilizado para las exploraciones del suelo, con éste es posible conocer datos respecto a la profundidad, espesor y composición de los estratos del suelo.

Inicialmente se perfora un agujero en el suelo usando un muestreador que es un tubo de acero de paredes gruesas partido longitudinalmente y luego, se toman muestras en seco que quedan dentro del tubo; obteniendo algunas veces de esta forma, una muestra intacta apropiada para la inspección visual, ensayos de humedad, clasificación y compresión simple.

La mayor importancia de este ensayo radica en las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, permite relacionar aproximadamente la compacidad y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) en arenas; el valor de la resistencia a la compresión simple ( $qu$ ) y el número de golpes (N) deseados en el suelo, en arcillas.

## **2.4 CALIDAD Y USO DE LAS NORMAS ASTM EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.**

La calidad es un factor clave en toda actividad empresarial y organizacional, ya que permite llevar un control de los recursos y técnicas utilizadas con el propósito de mejorar la confiabilidad de los resultados.

En la construcción de una obra civil, los materiales que se ven involucrados deben satisfacer algunos requisitos establecidos, dada su importancia en el buen comportamiento de una estructura.



En el país las normas para el control de calidad de los materiales de construcción que se emplean actualmente con mayor aceptación son las normas AASHTO y ASTM, debido a que no se cuenta con una normativa que considere las condiciones propias de nuestro medio.

Los laboratorios de Ingeniería Civil de El Salvador que se dedican a realizar pruebas de suelos se rigen por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales) las cuales son utilizadas en muchos lugares del mundo.

La ASTM se ha convertido en uno de los más grandes sistemas voluntarios de desarrollo de normas en el mundo, ya que el proceso empleado para su formulación garantiza que los individuos y organizaciones interesadas que representan el medio académico, la industria, los usuarios de productos y gobiernos tengan voto igualitario para determinar el contenido de la norma. En la actualidad cuenta con más de 30,000 miembros en todo el mundo.

El Libro Anual ASTM 2003 comprende 77 volúmenes, dividido en 16 secciones, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla A Descripción de las secciones contenidas en el Libro Anual ASTM 2003.**

<b>Sección</b>	<b>Contenido</b>	<b>Volúmenes</b>
00	Indice	1
1	Productos de hierro y acero	8
2	Productos metales no ferrosos	5
3	Métodos de prueba para metales y procedimientos analíticos	6
4	Construcción	13
5	Productos petrolíferos, lubricantes y combustible fósil	6
6	Relacionado a pinturas, capas y aromáticos	4
7	Textiles	2
8	Plásticos	4
9	Goma	2
10	Aislamiento eléctrico y electrónico	5
11	Tecnología del agua y medio ambiente	5
12	Energía nuclear, solar y geotérmica	2
13	Servicios y aparatos médicos	1
14	Instrumentación y métodos generales	4
15	Productos generales, especialidades químicas y de uso final	9

Fuente: Annual Book ASTM 2003.

La Sección 4 correspondiente a Construcción, contiene entre otros los volúmenes 04.08 y 04.09 que proporcionan los estándares de ensayo para Suelos y Rocas, entre otros.

La ASTM desarrolla seis tipos principales de estándares de común acuerdo, éstos son:

***Clasificación:***

Es un arreglo sistemático o división en grupos de materiales, productos o servicios, basados en características similares como origen, composición, propiedades o usos.

Corresponde a este tipo la norma ASTM D 4427 que se titula “Clasificación estándar de muestras de turba para pruebas de laboratorio.”<sup>4</sup>

***Guía:***

Serie de opciones o instrucciones que no recomiendan una acción o curso específico. El propósito de una guía es ofrecer lineamientos, basados en un consenso de puntos de vista y no el establecimiento de un procedimiento fijo.

A este tipo de norma pertenece la designación ASTM D 420, titulada “Guía estándar para características en el sitio con propósitos de diseño y construcción en ingeniería.”<sup>5</sup>

***Práctica:***

Proceso definitivo para llevar a cabo una o más operaciones o funciones específicas que no producen un resultado de ensayo, en ella se incluyen procedimientos para conducir programas de ensayos interlaboratorio u otros procedimientos estadísticos; procedimientos para escribir enunciados en muestreos y en la selección, preparación, aplicación, inspección y precauciones necesarias para el uso, instalación, mantenimiento y operación del equipo de ensayo.

Un ejemplo correspondiente a este tipo de norma es la ASTM D 2488, la cual se titula “Practica estándar para la Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual-Manual)”<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing, Volumen 04.08, sección 4.

<sup>5</sup> Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes, Volumen 04.08, sección 4.

<sup>6</sup> Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), Volumen 04.08, sección 4.

### ***Especificación:***

Declaración específica de un conjunto de requerimientos a ser satisfechos por un material, producto, sistema o servicio que indica los procedimientos para determinar si cada uno de los requisitos está satisfecho.

Dentro de este grupo se encuentra la norma ASTM D 1241 titulada “Especificación estándar para materiales de suelo-agregado, sub-base, base y superficies gruesas<sup>7</sup>.”

### ***Terminología:***

Documento compuesto de definiciones de términos, explicación de símbolos y abreviaturas.

A este grupo pertenece la norma ASTM D 653, titulada “Terminología estándar relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos<sup>8</sup>.”

### ***Método de prueba:***

Es un procedimiento definitivo para elaborar un resultado de prueba, es decir; se incluyen procedimientos para la identificación, medición y evaluación de una o más cualidades, características o propiedades de un material, producto, sistema o servicio.

A este tipo de norma pertenece la designación ASTM D 2216 titulada “Método de prueba estándar para la determinación del contenido de agua (humedad) del suelo y roca en laboratorio, por masa.<sup>9</sup>”

#### **2.4.1 Identificación de la designación de las normas ASTM.**

Cada norma ASTM tiene una designación, la cual esta comprendida de una letra mayúscula que indica la clasificación general (A, metales ferrosos; B, metales no ferrosos; C, cementantes, cerámicos, concreto y materiales de albañilería; D, materiales misceláneos; E, temas misceláneos; F, materiales para aplicaciones específicas; G, corrosión, deterioración y degradación de materiales; ES normas de emergencia; P, propuestas; PS, normas provisionales), un número consecutivo (uno a cuatro dígitos), un guión y el año de publicación.

---

<sup>7</sup> Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate, Subbase, Base and Surface Courses, Volumen 04.08, sección 4.

<sup>8</sup> Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids, Volumen 04.08, sección 4.

<sup>9</sup> Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, Volumen 04.08, sección 4.

En cada designación, el número siguiente al guión indica el año de adopción original como norma o en el caso de revisión, el año de última revisión. Así, las normas adoptadas o revisadas durante el año 2003 tiene como su número final, 03. Una letra siguiente a este número indica más de una revisión durante ese año, 03a indicaría la segunda revisión en 2003, 03b la tercera revisión, etc, (ver figura G1)

La Norma que ha sido reprobada sin cambio alguno, es indicada por el último año que fue reprobada en paréntesis, como parte del número de designación, por ejemplo, (2003). Un épsilon del exponente indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación; e1 para el primer cambio, e2 durante el segundo, etc, (Figura G2).

1)



Designation: D 698 – 00a

**Standard Test Methods for  
Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using  
Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup>(600 kN-m/m<sup>3</sup>))**

2)



Designation: D 6026 – 01<sup>e1</sup>

**Standard Practice for  
Using Significant Digits in Geotechnical Data**

**Figura G** Títulos correspondientes a una Norma de método de ensayo y a una Práctica.

Fuente: Annual Book ASTM 2003.

---

## **CAPITULO III**

---

### **“ENSAYOS PARA LA DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO”**

## ENSAYO N° 1

### DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO EN EL LABORATORIO, POR MASA (BASADA EN ASTM D 2216-98)

#### 1.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación del contenido de humedad de un suelo, conforme a la norma ASTM D 2216-98.
- ❖ Determinar el valor del contenido de agua del suelo mediante los datos obtenidos durante el ensayo.
- ❖ Definir el concepto de contenido de agua (humedad) de un suelo, según la norma ASTM D 653-02.

#### 1.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 4753 Especificación para evaluación, selección de balanzas y escalas para el uso en ensayos de suelo y roca.
- D 6026 Guía para el uso de dígitos significativos en cálculos y reportes geotécnicos para datos de ensayos.
- C 125 Terminología relacionada al concreto y agregados para concreto.

#### 1.3 Definiciones:

##### ***Contenido de agua:***

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

##### ***Suelo:***

Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales podrían o no contener materia orgánica.

***Tamaño máximo de la partícula:***

Es la abertura de la malla más pequeña a través de la cual debe pasar el 100% del agregado.

***Tamaño máximo nominal de la partícula:***

Se define como la abertura de malla más pequeña por la cual debe pasar la mayor parte del agregado.

Nota: Las especificaciones sobre agregados normalmente estipulan una abertura de malla a través del cual todo el agregado podría pasar, pero no necesariamente, una porción del tamaño máximo puede retenerse en la malla.

**1.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por masa, llevado a cabo en el laboratorio. Algunas disciplinas, como la ciencia de los suelos, necesitan determinar el contenido de agua en base al volumen; tales determinaciones están más allá del alcance de este método de ensayo.
- Este método requiere que el material sea secado en horno a altas temperaturas, por consiguiente; no debe usarse en la determinación de contenidos de agua de suelos contaminados con productos químicos (insecticidas), a menos que se tomen precauciones de seguridad y una adecuada salubridad.
- Suelos con un alto contenido de materia orgánica<sup>10</sup> o yeso, será recomendable secarlos en un horno a una temperatura de 60 °C o en un desecador a temperatura ambiente; ya que pueden descomponerse o deshidratarse respectivamente cuando son secados a la temperatura normada de 110°C.

**1.5 Resumen del método:**

Un espécimen de ensayo es colocado en un recipiente y secado en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta obtener una masa constante. La pérdida de masa debido al secado se considera que es el agua. El contenido de agua (humedad) es calculado, dividiendo la masa de agua entre la masa del espécimen seco y multiplicando esta relación por 100.

---

<sup>10</sup> Un método de ensayo alternativo para suelos "turbosos", se describe en la norma ASTM D 2974.

### 1.6 Aplicación e importancia del método:

- El contenido de agua es una de las propiedades físicas más significativa, debido a que con éste se establece una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades índices.
- Esta propiedad es usada para expresar las relaciones de fase de los sólidos, agua y aire en un volumen de material.
- También es empleado para expresar la consistencia relativa o índice de liquidez en suelos de grano fino (cohesivo).

### 1.7 Material y equipo:

- *Muestra de suelo:*

El material a utilizar puede ser una muestra de suelo alterado o inalterado y se debe mantener en recipientes herméticos no oxidables a temperaturas que oscilen entre 3 y 30°C aproximadamente; en un área que evite el contacto directo con la luz solar.

La determinación del contenido de agua deberá hacerse al poco tiempo después de muestrear, sobre todo si los recipientes son potencialmente corrosivos (como tubos de acero de pared delgada, envase de pintura, etc.) o en su caso, si son muestras en bolsas plásticas.

La masa mínima del material húmedo seleccionado para ser representativo de la muestra total, estará de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 1.1 Masa mínima de muestra para la determinación del contenido de humedad.**

Tamaño máximo de la partícula (100% pasa)	Tamaño nominal de la malla	Masas mínimas recomendadas del espécimen húmedo de ensayo, para el contenido de humedad a ser reportado al $\pm 0.1\%$	Masas mínimas recomendadas del espécimen húmedo de ensayo, para el contenido de humedad a ser reportado al $\pm 1\%$
2 mm o menor	No. 10	20 g	20 g*
4.75 mm	No. 4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8 pulgadas	500 g	50 g
19.0 mm	3/4 pulgadas	2.5 Kg	250 g
37.5 mm	1 1/2 pulgadas	10 Kg	1 Kg
75.0 mm	3 pulgadas	50 Kg	5 Kg

Fuente: Norma ASTM D 2216-98, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

\*Para que la muestra sea representativa, ésta no debe ser menor que 20 g.



Notas:

- Si la muestra es pequeña (menor de 200 g) y contiene partículas de grava relativamente grandes, no es apropiado incluirlas en el espécimen de ensayo. Sin embargo, éstas deben ser descritas y anotadas en las hojas de registro.
  - Si la muestra consta de roca intacta, la masa mínima del espécimen será de 500 g.
  - Los tamaños del espécimen tan pequeño como 200 g pueden ensayarse si los contenidos de agua de solamente dos dígitos significativos son aceptables.
- *Horno de Secado:*  
Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado (Ver figura 1.1).



**Figura 1.1** Horno para el secado de muestras.

- *Balanza:*  
Su precisión variará dependiendo de la cantidad de la muestra a ensayar, según lo indicado en la tabla 1.2:

**Tabla 1.2** Precisión de balanzas, de acuerdo al tamaño de muestra a ensayar.

Cantidad de muestra a ensayar (g)	Precisión de balanza (g)
< 200	0.01
200 - 2000	0.1
>2000	1

Fuente: Norma ASTM D 4753-98, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota: En todo caso la balanza a utilizarse deberá regirse por el número de cifras significativas requeridas.

- *Recipientes para espécimen:*

Se deben utilizar recipientes de material resistente a la corrosión y a los cambios de masa; debidos a variaciones en la temperatura, limpieza y utilización de suelos de pH variable.

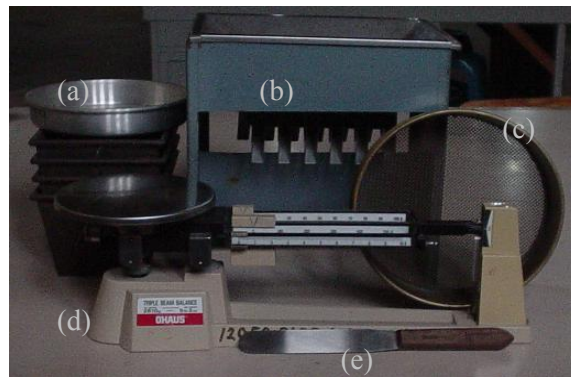
Nota: Para cada determinación del contenido de humedad será necesario utilizar un recipiente.

- *Desecador:*

De tamaño apropiado que contenga gel de sílice o sulfato de calcio anhidrido (drierita).

- *Misceláneos:*

Guantes, franelas, cuchillos, espátula, cucharones grandes, separador mecánico, etc. (Ver figura 1.2)



**Figura 1.2** Equipo para el ensayo de la determinación del contenido de humedad:  
(a) recipiente para espécimen; (b) separador mecánico; (c) tamiz  
(d) balanza de 0.1g; (e) espátula.

**1.8 Procedimiento:**

1. Determine y anote (en la hoja de registro correspondiente a este ensayo), la masa de cada recipiente limpio y seco a utilizar, identificándolo respectivamente.

Nota: Para evitar confundir los especímenes de ensayo y proporcionar resultados incorrectos; todos los recipientes deben numerarse distintamente y registrarse en la hoja de datos.

2. Identifique si la muestra de suelo a ensayar es alterada o inalterada, dependiendo del tipo de muestra considere lo siguiente:

2.1 *Para muestras alteradas (muestras de cortes, en bolsas o semejantes), obtenga el espécimen de ensayo mediante una de las 3 formas siguientes:*

- Si el material puede manipularse sin que haya pérdida significativa de humedad y segregación, mézclelo completamente y seleccione varias porciones representativas con un cucharón grande; hasta formar el tamaño del espécimen de ensayo requerido en la tabla 1.1.
- Si no se puede mezclar completamente el material, forme un apilamiento con él y mezcle tanto como sea posible. Tome por lo menos cinco porciones de materiales en sitios al azar, utilizando una pala o cucharón y combine todas las porciones de material hasta formar la masa mínima del espécimen de ensayo, según la tabla 1.1.

Nota: El instrumento a utilizar para la toma de las porciones de material, debe ser de tamaño apropiado según el tamaño máximo de las partículas presentes en él.

- Si el material no permite formar un apilamiento, tome varias porciones aleatoriamente en puntos que mejor representen la condición de humedad, luego combine todas las porciones y forme el espécimen de ensayo según la tabla 1.1.

2.2 *Para muestras inalteradas (muestras en bloque, tubos, muestreadores partidos y similares) obtenga el espécimen de ensayo, por una de las 2 formas siguientes:*

- a) Corte la muestra por la mitad y cuando el material sea estratificado, seleccione una muestra que contenga todos los estratos, muestras individuales o ambas; identificando la zona que representa, hasta formar la masa mínima del espécimen de ensayo, según la tabla 1.1.
- b) Si el material no es estratificado, recorte cuidadosamente por lo menos 5 mm (o un espesor igual al tamaño máximo de la partícula presente) de la superficie expuesta de una mitad o de la zona a ensayar y obtenga el espécimen de ensayo cortando una muestra representativa o tomando toda o la mitad de la muestra y formándola según la tabla 1.1.

3. Coloque cada espécimen húmedo de ensayo en el recipiente. Determine la masa del recipiente y del material húmedo (Figura 1.3) usando una balanza seleccionada en base a la tabla 1.2. Registre este valor.



**Figura 1.3** Determinación de la masa de la muestra de suelo, con balanza de 0.01 g de precisión.

4. Coloque el recipiente con el material húmedo en el horno de secado hasta obtener una masa constante, manteniendo el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Notas:

- El tiempo requerido para obtener la masa constante variará y dependerá del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo y capacidad de horno, etc.
- Cuando exista duda acerca del secado adecuado, debe continuarse secando hasta que el cambio en la masa después de dos periodos sucesivos de secado (mayor que 1 h) sea una cantidad insignificante (aproximadamente menor que 0.1%).
- A menudo pueden secarse especímenes de arena a masa constante en un periodo de aproximadamente 4 horas y en la mayoría de los casos, el secado de un espécimen durante la noche entre 12 y 16 horas es suficiente.
- Puesto que algunos materiales ya secos en el horno, pueden absorber humedad de muestras húmedas por colocar, deben retirarse los primeros antes de introducir los especímenes húmedos en el mismo horno. Sin embargo, esto no sería aplicable si los especímenes previamente secados, permanecerán en el horno por un período de tiempo adicional de aproximadamente 16 horas.

5. Retire el recipiente del horno después de secado el material. Déjelo enfriar junto con el material a una temperatura ambiente o hasta que pueda ser manipulado y el funcionamiento de la balanza no sea afectado.

Nota:

Durante el enfriamiento es recomendable colocar las muestras en un desecador, para reducir la absorción de humedad; especialmente para especímenes en recipientes sin tapas.

6. Determine la masa del recipiente y el material secado en el horno, usando el mismo tipo y capacidad de balanza utilizada en el literal 3. Registre este valor.

### 1.9 Cálculos:

Calcule el contenido de humedad del espécimen de ensayo como sigue:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

- $\omega$  = contenido de agua, %
- $M_{h+r}$  = masa del espécimen húmedo + recipiente, g,
- $M_{s+r}$  = masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,
- $M_r$  = masa del recipiente, g,
- $M_w$  = masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,
- $M_s$  = masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

### 1.10 Ejemplo:

Determine el contenido de humedad con los siguientes datos (Ver hoja de registro N° 1):

Masa del recipiente	: 11.09 g
Masa húmeda del espécimen + recipiente	: 61.44 g
Masa seca del espécimen + recipiente	: 55.95 g

Sustituyendo los datos en la ecuación 1.1 se tiene:

$$\omega\% = \frac{61.44 - 55.95}{55.95 - 11.09} \times 100$$

$$\omega\% = \frac{5.49}{44.86} \times 100$$

$$\omega\% = 12\%$$

### 1.11 Cuestionario:

- ❖ ¿Cómo define el contenido de humedad de una muestra de suelo, según la norma ASTM D 653-02?
- ❖ Mencione dos aplicaciones del contenido de humedad, referidos en este ensayo.

- ❖ Explique en forma general el procedimiento para determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo, conforme a la norma ASTM D 2216-98.
- ❖ ¿Cómo debe ser realizada la selección del espécimen de ensayo si la muestra de suelo es inalterada y estratificada?
- ❖ ¿Cuáles son los factores de los que depende el tiempo requerido para alcanzar masa constante de una muestra de suelo, según la norma ASTM D 2216-98?

### **1.12 Contenido del reporte:**

El contenido del reporte de ensayo incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación de la muestra ensayada, como: lugar de procedencia, número de muestra, número de ensayo, número del recipiente, número de sondeo, etc.
- ❖ Fecha de realización del ensayo.
- ❖ Temperatura de secado si es diferente de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ❖ Contenido de humedad de la muestra de suelo ensayada, con una precisión de 0.1% o 1%, según el propósito de la determinación de la humedad.
- ❖ Detallar en observaciones, si el espécimen de prueba es un suelo estratificado o si algún material (tamaño y cantidad) fue excluido del espécimen de ensayo.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 “ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA”



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)  
 DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA  
 (Basada en ASTM D 2216-98).**

Proyecto	: Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo	: 22/07/2005
Lugar de procedencia	: Campus UES	Laboratorista	: SGT, MOR
Nº de sondeo	: 1	Calculó	: SGT, MOR
Descripción y tipo de suelo	: Limo arenoso, color café claro		
Temperatura de secado	: 115 °C		

No. de Muestra	1	2			
No. de Recipiente	0+4	92			
Masa de Recipiente ( $M_r$ ) g	11.09	10.63			
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ ) g	61.44	61.15			
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ ) g	55.95	55.71			
Masa de agua ( $M_w$ ) g	5.49	5.44			
Masa de suelo seco ( $M_s$ ) g	44.86	45.08			
Contenido de agua ( $\omega$ ) %	12	12			

Observaciones : Tiempo de secado 15 horas (2 ciclos de secado)

## ENSAYO N° 2

### DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO POR CALENTAMIENTO DIRECTO (BASADA EN ASTM D 4959-00).

#### 2.1 Objetivos:

- ❖ Explicar de forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de la humedad de un suelo, conforme a la norma ASTM D 4959-00.
- ❖ Determinar el valor del contenido de agua del suelo mediante los datos obtenidos durante este ensayo.
- ❖ Definir el concepto de contenido de agua (humedad) de un suelo, según la norma ASTM D 653-02.

#### 2.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 4959 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento directo.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 4753 Especificación para evaluación, selección de balanzas y escalas para el uso en ensayos de suelo y roca.
- D 6026 Guía para el uso de dígitos significativos en cálculos y reportes geotécnicos para datos de ensayos.
- C 125 Terminología relacionada al concreto y agregados para concreto.

#### 2.3 Definiciones:

##### ***Contenido de agua:***

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

##### ***Calentamiento directo:***

Es un proceso en el cual el suelo es secado por calentamiento, dirigido por la aplicación directa de calor al contenedor del espécimen, utilizando una placa caliente (hotplate), cocina



eléctrica, cocina de gas, secador de pelo, lámpara de calentamiento u otras fuentes de calor, a una temperatura de más de 110°C.

#### **2.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre procedimientos para determinar el contenido de agua (humedad) de suelos secados por calentamiento directo, utilizando una placa calentadora (hotplate), estufa eléctrica, etc.
- Este método de ensayo puede ser usado como un sustituto del método de ensayo D 2216 y cuando se requieran resultados más rápidos para acelerar otras fases de ensayos; en los cuales resultados menos precisos son aceptables.
- Se aplica para la mayoría de los tipos de suelo y en el caso de suelos que contienen cantidades significativas de halloysita, mica, montmorillonita, yeso u otros materiales hidratados y suelos altamente orgánicos; este método de ensayo podría no rendir valores confiables del contenido de humedad.

Nota: La halloysita es un silicato del grupo de los silicatos que forman masas terrosas constituidas por pequeñas escamas de aspecto céreo y color blanco, a veces rojizo o pardo por la presencia de impurezas y su peso específico oscila entre 2 y 2.3 si se calienta por arriba de los 50 °C.

#### **2.5 Resumen del método:**

Un espécimen húmedo de suelo se coloca en un recipiente apropiado y se le determina su masa, luego se somete al secado por la aplicación directa de calor hasta que tenga una apariencia seca. Posteriormente se retira de la fuente de calor y su nueva masa es determinada, este procedimiento es repetido hasta que la masa del espécimen sea constante dentro de límites especificados. La diferencia entre las masas del espécimen húmedo y el espécimen seco es usada como la masa de agua contenida en el espécimen, determinando el contenido de agua (expresado como porcentaje) dividiendo la masa de agua por la masa seca del suelo, multiplicada por 100.

#### **2.6 Aplicación e importancia del método:**

- Este método de ensayo puede ser utilizado para el control de trabajos de campo, tales como en la determinación del contenido de agua y en la del peso unitario seco de suelos en el lugar.

- Este método de ensayo no es apropiado para especímenes con contenidos orgánicos inflamables o contaminantes, por lo que en estas situaciones se deberán utilizar otros métodos de ensayo.
- En circunstancias donde se requieran resultados más precisos o cuando la menor variación en el contenido de humedad afecte los resultados de otros métodos de ensayos; tales como casos de frontera (donde pequeñas variaciones en el contenido de humedad pueden afectar la aceptación o rechazo), el uso de este método de ensayo podría no ser apropiado.

Nota: Debido a la alta temperatura en el suelo durante el ensayo, las características físicas (textura, plasticidad) del suelo podrían ser alteradas ya sea por la degradación de las partículas, por la vaporización, transición química o pérdida de orgánicos; por lo tanto, se debe evitar el uso subsiguiente de los especímenes secados por calentamiento directo en otros métodos de ensayo.

## 2.7 Material y equipo:

- *Muestra de suelo:*

El material a utilizar puede ser una muestra de suelo alterado o inalterado y se debe mantener en recipientes herméticos no oxidables a temperaturas que oscilen entre 3 y 30°C aproximadamente; en un área que evite el contacto directo con la luz solar.

El tamaño de los especímenes de ensayo será determinado de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 2.1 Masas de especímenes de ensayo para la determinación del contenido de humedad.**

Tamaño de malla que retiene más del 10% de la muestra, mm	Masa mínima del espécimen húmedo*, g
2.0 ( No.10)	200 a 300
4.75 ( No.4)	300 a 500
19.0 ( No.3/4)	500 a 1000

Fuente: Norma ASTM D 4959-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

\* Especímenes más grandes pueden ser usados y están promovidos. Las inexactitudes inherentes del ensayo, son generalmente minimizadas usando especímenes con una masa más grande tanto como sea práctico.

Nota: Al ensayar suelos con partículas del tamaño de grava y arena, debe tenerse un cuidado adicional para evitar la posibilidad de fracturación de las partículas.

- *Fuente de calor:*

Que transmita una temperatura mayor de 110°C al espécimen, como por ejemplo: placas calentadoras (hotplate), cocinas eléctricas, lámparas de calor, secadores de pelo, etc.

Nota: Deben evitarse fuentes de calor que apliquen directamente y al descubierto la llama al espécimen, ya que pueden causar una degradación extrema al suelo, a través de la oxidación y la deposición de hollín en él.

- *Balanza:*

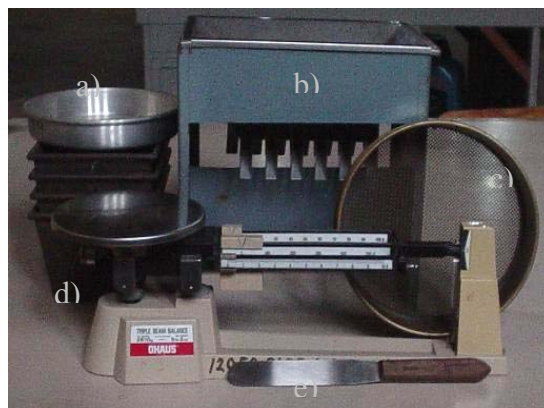
Que posea una capacidad mínima de 2 Kg y una legibilidad de 0.1 g. (Ver figura 2.1d).

- *Recipientes para espécimen:*

Recipientes apropiados elaborados de material resistente a la corrosión y al cambio de masa debido a calentamientos repetidos, enfriamiento y limpieza. Se necesitará un recipiente para cada determinación de contenido de humedad (Ver figura 2.1a).

- *Misceláneos:*

Guantes, franelas, cuchillos, espátula, cucharones grandes, separador mecánico, gafas protectoras, etc. (Ver figura 2.1).



**Figura 2.1** Equipo para el desarrollo del ensayo del contenido de humedad:  
a) recipiente para espécimen; b) separador mecánico; c) tamiz;  
d) balanza de 0.1 g; e) espátula.

## 2.8 Procedimiento:

- 1) Determine y anote (en la hoja de registro correspondiente a este ensayo), la masa de cada recipiente limpio y seco a utilizar, identificándolo respectivamente.

Nota: Para evitar confundir los especímenes de ensayo y proporcionar resultados incorrectos; todos los recipientes deben numerarse distintamente y registrarse en la hoja de datos.

- 2) Seleccione una porción representativa de suelo de la muestra total, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

2.1 Si la muestra de ensayo es estratificada, seleccione una muestra que contenga todos los estratos, muestras individuales o ambas; identificando la zona que representan, hasta formar la masa mínima del espécimen de ensayo según la Tabla 2.1.

2.2 Para muestras de gran volumen, mezcle completamente el material y a continuación seleccione la masa del espécimen de ensayo, según la Tabla 2.1.

2.3 Para muestras pequeñas seleccione una porción representativa de acuerdo con los pasos siguientes:

a) En suelos no cohesivos mezcle completamente el material, luego seleccione un espécimen de ensayo que posea una masa de material húmedo de acuerdo con la Tabla 2.1.

b) En suelos cohesivos, inicialmente retire cerca de 3 mm de material de la superficie expuesta de la muestra y córtela en mitad (para verificar si el material está estratificado). Si el suelo es estratificado obtenga el espécimen de ensayo según el literal 2.1; de lo contrario desmenuce rápidamente el material en fragmentos de aproximadamente 6 mm y tome el espécimen de ensayo conforme a la Tabla 2.1.

Nota: Si los especímenes no van a ser ensayados inmediatamente, colóquelos en recipientes que puedan cerrarse y en un área en que no estén expuestos a la luz directa del sol; para prevenir pérdida de humedad.

- 3) Coloque el espécimen húmedo de ensayo con el recipiente en la balanza y determine su masa, luego registre este valor.
- 4) Traslade el recipiente con la muestra de suelo húmedo a la fuente de calor.

- 5) Aplique el calor removiendo la muestra continuamente, para obtener una distribución uniforme del mismo y teniendo el cuidado de evitar un recalentamiento focalizado (Figura 2.2).



**Figura 2.2** Aplicación de calor al recipiente y muestra de suelo húmedo en la cocina eléctrica.

Notas:

- El calentamiento de la muestra se hará hasta que se observe una apariencia seca; esto es cuando se observe en ella un color comparativamente uniforme.
  - Una manera de verificar si el suelo contiene una cantidad importante de agua (una vez se a retirado de la fuente de calor), es colocar un trozo de papel de cigarrillo en la superficie del suelo aparentemente seca y notar si se riza o enrolla.
- 6) Retire el recipiente con el suelo de la fuente de calor y enfríe hasta que pueda manipularse y evitar daños a la balanza.
- 7) Determine y registre la masa del suelo seco y el recipiente (ver figura 2.3).



**Figura 2.3** Determinación de la masa seca del espécimen.

- 8) Regrese el recipiente con el suelo a la fuente de calor y repita los pasos del numeral 5 al 7, hasta que el cambio entre dos determinaciones consecutivas de la masa del espécimen tengan una variación insignificante en el contenido de agua calculado.

Nota: Un cambio de 0.1% o menor de la masa seca del suelo para las últimas dos determinaciones es aceptable para la mayoría de los especímenes.

## 2.9 Cálculos:

Calcule el contenido de humedad del espécimen de ensayo como sigue:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

- $\omega$  = contenido de agua, %
- $M_{h+r}$  = masa del espécimen húmedo + recipiente, g,
- $M_{s+r}$  = masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,
- $M_r$  = masa del recipiente, g,
- $M_w$  = masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,
- $M_s$  = masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g

## 2.10 Ejemplo:

Determine el contenido de humedad con los siguientes datos (Ver hoja de registro N° 2):

Masa del recipiente	:	72.4 g
Masa húmeda del espécimen + recipiente	:	272.4 g
Masa seca del espécimen + recipiente	:	252.2 g

Sustituyendo los datos en la ecuación 2.1 se tiene:

$$\omega\% = \frac{272.4 - 252.2}{252.2 - 72.4} \times 100$$

$$\omega\% = \frac{20.2}{179.8} \times 100$$

$$\omega\% = 11\%$$

### **2.11 Cuestionario:**

- ❖ ¿Cómo se define el contenido de humedad de una muestra de suelo, según la norma ASTM D 653-02?
- ❖ Mencione dos aplicaciones del método de ensayo para la determinación del contenido de humedad de un suelo por calentamiento directo.
- ❖ Mencione un alcance del método de ensayo ASTM D4959-00.
- ❖ Cómo se puede comprobar si una muestra de suelo aparentemente seca contiene agua significativa.

### **2.12 Contenido del reporte:**

El contenido del reporte de ensayo incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación de la muestra ensayada, como: lugar de procedencia, número de muestra, número del recipiente, número de sondeo, etc.
- ❖ Fecha de realización del ensayo.
- ❖ Indicación de la masa del espécimen de ensayo, incluyendo una nota si es menos del mínimo indicado en Tabla 2.1.
- ❖ Identificación del tipo de fuente de calor, tiempos de secado y número de ciclos realizados.
- ❖ Contenido de humedad de la muestra de suelo ensayada, con una precisión del 1%.
- ❖ Detallar en observaciones, si el espécimen de prueba es un suelo estratificado o si algún material (tamaño y cantidad) fue excluido del espécimen de ensayo.

### **2.13 Comentarios:**

En nuestro país la manera de verificar si el suelo contiene agua es sujetando con la mano un vidrio sobre éste, si el vidrio se empaña significa que el suelo aún contiene agua.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 “ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA”



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA ( HUMEDAD)  
 DE UN SUELO POR CALENTAMIENTO DIRECTO  
 (Basada en ASTM D 4959-00).**

Proyecto	: Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo	: 22/07/2005
Lugar de procedencia	: Campus UES	Laboratorista	: SGT, MOR
Nº de sondeo	: 1	Calculó	: SGT, MOR
Descripción y tipo de suelo	: Limo arenoso, color café claro		
Fuente de calor	: Cocina Eléctrica		

		1	2		
No. de Muestra		1	2		
Tiempo de secado	min	23	25		
No. de ciclos de secado		2	1		
No. de Recipiente		9	7		
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g	70.2	72.4		
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g	270.2	272.4		
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g	249.6	252.2		
Masa de agua ( $M_w$ )	g	20.6	20.2		
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g	179.40	179.8		
Contenido de agua ( $\omega$ )	%	11	11		

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



### ENSAYO N° 3

#### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO POR CALENTAMIENTO CON HORNO MICROONDA (BASADA EN ASTM D 4643-00).

##### 3.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de la humedad de un suelo, conforme a la norma ASTM D 4643-00.
- ❖ Determinar el valor del contenido de agua del suelo mediante los datos obtenidos durante el ensayo.
- ❖ Definir el concepto de contenido de agua (humedad) de un suelo, según la norma ASTM D-653-02.

##### 3.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 4959 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento con horno microonda.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 4753 Especificación para evaluación, selección de balanzas y escalas para el uso en ensayos de suelo y roca.

##### 3.3 Definiciones:

###### ***Contenido de agua (humedad):***

Es la proporción de la masa de agua contenida en los poros o agua libre, en una masa dada de material, respecto a la masa de los sólidos de las partículas de ese material, expresada como porcentaje.

###### ***Calentamiento por microonda:***

Es un proceso por el cual el calor es inducido dentro de un material, debido a la interacción entre las moléculas bipolares de éste y una alternancia de alta frecuencia en el campo eléctrico.

Nota: Las microondas son ondas similares a las de radio y televisión, penetran en el interior de los materiales y provocan una fricción entre las moléculas produciendo calor.

### **3.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo, por secado en un horno microonda.
- Este método de ensayo puede ser usado como un sustituto del método de ensayo D 2216 (Método de laboratorio) y cuando se requieran resultados más rápidos para acelerar otras fases de ensayos; en los cuales resultados menos precisos son aceptables.
- Se aplica para la mayoría de los tipos de suelo y en el caso de suelos que contienen cantidades significativas de halloysita, mica, montmorillonita, yeso u otros materiales hidratados y suelos altamente orgánicos; este método de ensayo podría no rendir valores confiables del contenido de humedad.

Nota: La halloysita es un silicato del grupo de los silicatos que forman masas terrosas constituidas por pequeñas escamas de aspecto céreo y color blanco, a veces rojizo o pardo por la presencia de impurezas y su peso específico oscila entre 2 y 2.3 si se calienta por arriba de los 50 °C.

### **3.5 Resumen del método:**

Un espécimen de suelo húmedo es colocado en un recipiente adecuado y se determina su masa, luego se introduce el conjunto en un horno microonda sujeto a un intervalo de tiempo de secado, posteriormente es retirado determinando su nueva masa. Este procedimiento se repite hasta que la masa llegue a ser constante.

El contenido de agua es determinado dividiendo la masa de agua, que es la diferencia entre la masa del espécimen húmedo y la del espécimen seco, dividido entre la masa del suelo seco, multiplicado por 100.

Nota: El tiempo determinado para alcanzar una masa constante de un tamaño de muestra y tipo de suelo, puede ser registrado y empleado como un tiempo mínimo de secado, para subsecuentes ensayos; usando en cada uno de ellos, el mismo tamaño de muestra y tipo de suelo.

### **3.6 Aplicación e importancia del método:**

- El método ASTM D 4643-00 necesita poco tiempo para la determinación del contenido de agua, su principal inconveniente es la posibilidad de recalentar el suelo y en consecuencia, obtener un contenido de agua más alto de lo que sería al determinarlo por el Método de ensayo ASTM D-2216 (Método de laboratorio).

Nota: Para reducir el recalentamiento, algunos hornos microondas pueden ser ajustados a una menor potencia.

- Debido a que el espécimen de suelo es expuesto a altas temperaturas en el horno microonda, podrían alterarse las características físicas del suelo y ocurrir degradación de partículas a lo largo de la vaporización o transición química; por consiguiente, se recomienda que las muestras usadas en este método no se utilicen para otros ensayos.
- Este método de ensayo es más apropiado para materiales que pasen la malla No. 4 (4.75 mm), aunque pueden ensayarse suelos con partículas de tamaño más grandes; sin embargo, debe tenerse cuidado debido al aumento del fracturamiento de las partículas.

Nota: La calidad de los resultados producidos por este método de ensayo dependen de la aptitud del personal que lo realiza, del equipo y medios utilizados. El uso de este método no es apropiado cuando se requieren resultados muy precisos.

### **3.7 Precauciones generales del ensayo:**

- Suelos altamente orgánicos, suelos que contienen aceites u otros contaminantes pueden provocar llamas durante el secado en un horno microonda, por lo tanto es necesario que durante el ensayo se cuente con medios para extinguir las llamas, previniendo con ello lesiones en el operador o daños en el horno.
- El funcionamiento continuo del horno después que el suelo ha alcanzado masa constante, también puede causar daño o fallas prematuras en el horno microonda.
- Platos de porcelana y platos de vidrio de borosilicato, funcionan satisfactoriamente así como también los platos o tazas de papel; sin embargo, antes de usarlos pueden requerir pre-secado.
- No se deben usar recipientes metálicos en un horno microonda porque pueden dañarlo.
- Debido a la posibilidad de explosiones de vapor, esfuerzos termales de rompimiento en los poros o agregados quebradizos, es apropiado colocar una cubierta de papel toalla sobre el recipiente de la muestra, para prevenir lesiones al operador o daño al horno y evitar que la muestra de ensayo se esparza dentro del horno durante el ciclo de secado mientras se le provee un calentamiento uniforme.

### 3.8 Material y equipo:

- *Muestras de suelo:*

Las muestras de material a utilizar se deben mantener guardadas en recipientes herméticos, no corrosibles a una temperatura entre 3 y 30°C aproximadamente, en un área en que se evite el contacto directo con la luz solar.

El tamaño de los especímenes de ensayo será determinado de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 3.1 Masas de especímenes de ensayo para la determinación del contenido de humedad.**

Tamaño de malla que retiene no más del 10% de la muestra, mm	Masa recomendada del espécimen húmedo, g
2.0 ( No.10)	100 a 200
4.75 ( No.4)	300 a 500
19.0 (No 3/4)	500 a 1000

Fuente: Norma ASTM D 4959-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

- *Horno microonda:*

Son adecuados los hornos con potencias de alimentación de aproximadamente 700 W y con controles de energía variable, debido a que éstos últimos reducen el potencial para sobrecalentar el espécimen de ensayo.

- *Balanzas:*

Con una capacidad mínima de 2000 g o mayor y una legibilidad de 0.1 g.

- *Recipientes para espécimen:*

Elaborados de material no metálico, no absorbente, resistentes a choques térmicos y a cambios de masa o forma; debido a calentamientos repetidos, enfriamientos o limpieza.

- *Desecador:*

De tamaño apropiado que contenga gel de sílice ó fosfato de calcio anhidrido.

- *Disipador de calor:*

Puede ser un material o líquido que se debe colocar en el horno microonda para absorber la energía después de que se ha expulsado la humedad del espécimen de ensayo,

reduciendo la posibilidad de recalentar el espécimen y dañar el horno. Entre los materiales a utilizar se encuentran: beakers de vidrio llenos con agua, aceites no inflamables y ladrillos humedecidos.

- *Misceláneas:*

Espátulas, cuchillos, varillas de vidrio para revolver el espécimen de ensayo; guantes o mangos para movilizar recipientes calientes del horno.

Nota: Si se utilizan varillas de vidrio de corta longitud para revolver el espécimen, éstas pueden ser dejadas en el recipiente durante el ensayo, reduciendo con ello la posibilidad de pérdida del espécimen debido a la adherencia de éste a las herramientas de mezclado.

### **3.9 Procedimiento:**

1. Determine y anote (en la hoja de registro correspondiente a este ensayo), la masa de cada recipiente limpio y seco a utilizar, identificándolo respectivamente.
2. Seleccione una porción representativa de suelo de la muestra total, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:
  - 2.1 Si la muestra de ensayo es estratificada, seleccione una muestra que contenga todos los estratos, muestras individuales o ambas; identificando la zona que representan, según la Tabla 3.1.
  - 2.2 Para muestras de gran volumen, mezcle completamente el material y a continuación seleccione la masa del espécimen de ensayo, según la Tabla 3.1.
  - 2.3 Para muestras pequeñas, seleccione una porción representativa de acuerdo con los pasos siguientes:
    - a) En suelos no cohesivos, mezcle completamente el material, luego seleccione un espécimen de ensayo que posea una masa de material húmedo de acuerdo con la Tabla 3.1.
    - b) En suelos cohesivos, inicialmente retire cerca de 3 mm de material de la superficie expuesta de la muestra y córtela en mitad (para verificar si el material está estratificado). Si la muestra es estratificada, obtenga el espécimen de ensayo según el literal 2.1 de lo contrario; desmenuce rápidamente el material en fragmentos de aproximadamente 6 mm (¼ pulgadas) y tome el espécimen de ensayo conforme a la Tabla 3.1.

Nota: Si la muestra es pequeña y contiene partículas de grano grueso relativamente grandes, no es apropiado incluirlas en el espécimen de ensayo. Sin embargo, éstas deben ser descritas y anotadas en las hojas de registro.

3. Coloque el espécimen húmedo de ensayo con el recipiente en la balanza y determine su masa (ver figura 3.1), luego registre este valor.



**Figura 3.1** Pesado del recipiente y muestra de suelo húmeda en una balanza de 0.1 g de legibilidad.

4. Traslade el recipiente con la muestra de suelo húmedo al horno microonda con el dissipador de calor (como se muestra en la figura 3.2) y enciéndalo por 3 minutos.



**Figura 3.2** Recipiente de porcelana con muestra de suelo húmedo, junto con un Beakers de vidrio lleno con agua, colocados dentro de un horno microonda.

Notas:

- Los 3 minutos de la puesta inicial son para una masa mínima de 100 g. No se recomiendan colocar muestras más pequeñas al usar un horno microonda, porque el secado puede ser demasiado rápido para su control.

- Cuando se necesitan muestras de suelo muy grandes que contienen partículas de grava, la muestra debe ser dividida en porciones y secarse separadamente para obtener la masa seca de la muestra total.
5. Retire el recipiente con el suelo del horno después de transcurrido el tiempo de secado e inmediatamente colóquelos en un desecador (figura 3.3). Deje que enfríen hasta que pueda manipularse el conjunto para evitar daños a la balanza.



**Figura 3.3** Muestra de suelo seco en un recipiente de porcelana colocado dentro de un desecador.

6. Determine y registre la masa del suelo seco y el recipiente en la hoja de trabajo.
7. Mezcle el suelo usando una espátula pequeña o cuchillo (figura 3.4), teniendo precaución de no perder ninguna partícula de suelo.



**Figura 3.4** Mezclado de la muestra de suelo seco con espátula.

8. Regrese el recipiente con el suelo al horno para una aplicación adicional de calor durante 1 minuto.

Nota: Los incrementos de tiempo recomendados han sido convenientes para la mayoría de los especímenes que tienen partículas que pasan el tamiz No. 4 y con una masa de aproximadamente 200 g; sin embargo, ellos no pueden ser apropiados para todos los suelos y hornos, siendo necesario ajustarlos.

9. Repita los pasos del numeral 5 al 8, hasta que el cambio entre dos determinaciones consecutivas de la masa del espécimen tengan una variación insignificante en el contenido de agua calculado.

Notas:

- Un cambio de 0.1% o menor de la masa seca del suelo para las últimas dos determinaciones es aceptable para la mayoría de los especímenes.
- Use la determinación final del valor de la masa en el cálculo del contenido de humedad.

### 3.10 Cálculos:

Calcule el contenido de humedad del espécimen de ensayo como sigue:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

$\omega$  = contenido de agua, %

$M_{h+r}$  = masa del espécimen húmedo + recipiente, g,

$M_{s+r}$  = masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,

$M_r$  = masa del recipiente, g,

$M_w$  = masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,

$M_s$  = masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

### 3.11 Ejemplo:

Determine el contenido de humedad con los siguientes datos (Ver hoja de registro N° 3):

Datos:

Masa del recipiente = 138.6 g

Masa del espécimen húmedo + recipiente = 263.6 g

Masa del espécimen seco + recipiente = 252.0 g



Sustituyendo los datos en la ecuación 3.1 se tiene:

$$\omega\% = \frac{263.6 - 252.0}{252.0 - 138.6} \times 100$$

$$\omega\% = \frac{11.6}{113.4} \times 100$$

$$\omega\% = 10.2\%$$

### 3.12 Cuestionario:

- ❖ ¿Cuál es el principal inconveniente de la aplicación del método de ensayo D 4643-00 en la determinación del contenido de humedad?
- ❖ ¿Qué características deben poseer los recipientes para muestras de suelo a utilizar en el método de ensayo ASTM D 4643-00?
- ❖ ¿Cómo deben mantenerse las muestras de suelo antes de la determinación de su contenido de humedad, por el método de ensayo ASTM D 4643-00?
- ❖ Mencione un alcance del método de ensayo ASTM D 4643-00.
- ❖ Mencione dos aplicaciones del método de ensayo ASTM D 4643-00 para la determinación del contenido de humedad de un suelo.

### 3.13 Contenido del reporte:

El contenido del reporte de ensayo incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación de la muestra ensayada, como: lugar de procedencia, número de muestra, número de ensayo, número del recipiente, número de sondeo, etc.
- ❖ Fecha de realización del ensayo.
- ❖ Contenido de humedad de la muestra de suelo ensayada, con una precisión de 0.1% o 1%, según el propósito de la determinación de la humedad.
- ❖ Indicación de la masa del espécimen de ensayo, incluyendo una nota si es menos del mínimo indicado en Tabla 3.1.
- ❖ Detallar en observaciones si el espécimen de prueba es un suelo estratificado o si algún material (tamaño y cantidad) fue excluido del espécimen de ensayo.
- ❖ Identificación del horno microonda, incrementos de tiempos de secado y número de ciclos realizados.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA ( HUMEDAD)  
 DE UN SUELO POR CALENTAMIENTO CON UN HORNO MICROONDA  
 (Basada en ASTM D 4643-00)**

Proyecto : Trabajo de Graduación Fecha de ensayo: 21/07/2005  
 Lugar de procedencia : Campus UES No de sondeo : 1  
 Descripcion y tipo de suelo: Limo Laboratorista : SGT, MOR  
 Calculó : SGT, MOR

No. de Muestra		1	2		
Tiempo de secado	min	7	7		
No de ciclos de secado		5	5		
No. de Recipiente		1	2		
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g	138.6	147.3		
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g	263.6	272.3		
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g	252	260.8		
Masa de agua ( $M_w$ )	g	11.6	11.5		
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g	113.4	113.5		
Contenido de Agua ( $\omega\%$ )	%	10.2	10.1		

Observaciones: Horno con 1400 Watt de potencia máxima.  
4 incrementos de secado de 1 minuto  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO N° 4

### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE UN SUELO EN CAMPO, POR EL MÉTODO DE ENSAYO DE PRESION A GAS DE CARBURO DE CALCIO, SPEEDY. (BASADA EN ASTM D 4944-98)

#### 4.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación del contenido de humedad de un suelo, conforme a la norma ASTM D 4944-98.
- ❖ Determinar el valor del contenido de agua del suelo mediante los datos obtenidos durante el ensayo.
- ❖ Definir el concepto de contenido de agua (Humedad) de un suelo, según la norma ASTM D-653.

#### 4.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

D 4944 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en campo, por el método de presión a gas de carburo de calcio, Speedy.

D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.

D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.

#### 4.3 Definiciones:

##### ***Contenido de agua (humedad):***

Es la proporción de la masa de agua contenida en los poros o agua libre, en una masa dada de material, respecto a la masa de los sólidos de las partículas de ese material, expresada como porcentaje.

#### 4.4 Alcances:

- Este método de ensayo cubre lineamientos para la determinación del contenido de humedad de un suelo, por medio de la reacción química entre el reactivo carburo de calcio y el agua disponible en el suelo, que al interactuar producen un gas.

- Este método de ensayo puede ser utilizado en trabajos de campo, cuando se requieran resultados en un corto tiempo o donde no es práctico usar un horno y en complemento con el método de ensayo ASTM D 2216 para comparar y corregir resultados.
- Este método de ensayo D 4944-98, se limita a emplear carburo de calcio con equipos de ensayo de humedad para especímenes de suelo de 20 g o más, así como también en ensayos de especímenes de suelos con partículas que pasan el tamiz No. 4.
- La aplicación de este método de ensayo en algunos suelos arcillosos altamente plásticos y suelos no desmenuzables, podría no producir resultados representativos; debido a que el agua puede quedar atrapada dentro de los grumos del suelo lo cual evitaría que entre en contacto con el reactivo.
- Algunos suelos que contienen compuestos o minerales que se deshidratan con el calor (como yeso), necesitan un control especial de la temperatura con el método de ensayo D 2216, mientras que en este método estos materiales podrían no resultar afectados (deshidratados).
- Algunos suelos que contienen compuestos o químicos que reaccionan imprevisiblemente con el reactivo, pueden proporcionar resultados erróneos; por lo que se deberán verificar o calibrar tales resultados con los del método ASTM D 2216 (Método de laboratorio).

#### **4.5 Resumen del método**

- Se coloca en el aparato de ensayo una cantidad de carburo de calcio, en exceso de la necesaria para reaccionar con el agua, junto con dos bolas de acero y un espécimen representativo de suelo con partículas que pasen la malla No.4 y con una masa según lo especificado por el fabricante del instrumento o equipo. El aparato es agitado vigorosamente con un movimiento rotativo de manera que al entrar en contacto toda el agua disponible en el suelo con el reactivo, se produce gas acetileno de forma proporcional a la cantidad de agua presente.

El contenido de agua aparente se lee desde un indicador de presión en el aparato calibrado, leyendo el contenido de agua en porcentaje para la masa de suelo especificado.

Se desarrolla para cada instrumento y tipo de suelo una curva de calibración con especímenes representativos de éste, trazando en el eje de las abscisas la presión leída en el manómetro y en el eje de las ordenadas la cantidad de agua determinada por el

método de ensayo D 2216. Finalmente, la curva de calibración es empleada para determinar el valor corregido del contenido de agua para los ensayos subsiguientes en el mismo tipo de suelo.

#### **4.6 Aplicación e importancia del método:**

- El contenido de agua del suelo es usado en prácticas de ingeniería geotécnica, tanto en el laboratorio como en campo, debido a ello; este método es usado cuando se necesitan resultados dentro de un periodo de tiempo corto, en lugares donde no es práctica la instalación de un horno o no es posible transportar las muestras a éste.
- Los resultados de este ensayo pueden ser utilizados en el control de campo para la compactación de terraplenes u otras estructuras de suelo, tales como en la determinación del contenido de agua para el control de la humedad y la densidad seca del suelo dentro de un rango específico.
- Al utilizar este método de ensayo los resultados obtenidos no son muy precisos, como en el caso del método ASTM D 2216, puesto que pueden existir inexactitudes debido a que los especímenes son demasiado pequeños como para ser representativos de la muestra total de suelo. Por consiguiente, cuando se deseen resultados más exactos o cuando los resultados del ensayo sean sensibles a la menor variación en los valores obtenidos, convendrá utilizar el método de ensayo antes mencionado.
- Este método de ensayo requiere especímenes de suelo que contengan todas las partículas más pequeñas que el tamiz No. 4.

#### **4.7 Precauciones generales del ensayo:**

- Los ensayos no deben realizarse en espacios confinados o en las proximidades a flamas u otras fuentes de calor que puedan causar combustión, debido a que al combinar el reactivo con el agua se produce gas acetileno altamente inflamable y explosivo.
- Se deberá tener cuidado cuando se libere el gas del aparato de no dirigirlo directo al cuerpo del operador.
- Cigarrillos encendidos, objetos calientes o flamas son extremadamente peligrosos en el área de ensayo.

- Como una precaución adicional, el operador debe usar una máscara para polvo y vestir con mangas largas, guantes y protector de ojos, para impedir que el reactivo irrite los ojos, el sistema respiratorio, manos y brazos.
- Ensayar suelos excesivamente húmedos o el uso inapropiado del equipo, tal como agregar agua a la cámara de ensayo, podría causar presiones excesivas del nivel seguro del aparato.

#### **4.8 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*

El material a utilizar puede ser una muestra de suelo alterado o inalterado de partículas que pasan el tamiz No. 4, se debe mantener en recipientes herméticos no oxidables a temperaturas que oscilen entre 3 y 30°C aproximadamente; en un área en que se evite el contacto directo con la luz solar.

- *Ensayador de Presión a Gas de Carburo de Calcio (Speedy):*

Incluye una cámara de ensayo con indicador de presión, balanza, brocha, cepillo y tara con capacidad para una muestra mínima de suelo de 20 g (o de 10 g, en el caso de muestras muy húmedas), ver figura 4.1.

Notas:

- La cámara de ensayo con el aparato de presión y la balanza son calibrados como un conjunto.
- Ensayadores o aparatos que utilizan masas más pequeñas de suelo, están disponibles pero también son considerados inexactos para este ensayo.

- *Dos bolas de acero:*

Proporcionadas por el fabricante del equipo “Speedy”.

- *Cucharón pequeño:*

Para medir el reactivo, generalmente se incorpora con el equipo “Speedy”.

- *Reactivo de Carburo de calcio:*

Finamente pulverizado, capaz de producir gas acetileno en una cantidad mínima de 0.14 m<sup>3</sup> /kg. Debe mantenerse tapado y guardado en un lugar seco.



**Figura 4.1** Equipo “Speedy”: a) cámara de ensayo con indicador de presión; b) tara; c) balanza; d) bolas de acero; e) reactivo; e) cepillo.

- *Misceláneos:*

Cucharón, brocha, cepillo, franelas, tamiz No 4, equipo de seguridad: gabachas con mangas largas, gafas, guantes, mascarillas, etc.

**4.9 Calibración del equipo (Speedy):**

1. Divide cada muestra de suelo en dos especímenes de ensayo por medio de un procedimiento de cuarteo o utilizando un partidor mecánico (ver figura 3.2).



**Figura 4.2** Realización del cuarteo de la muestra de suelo.

2. Determine el contenido de humedad de uno de los especímenes de ensayo de acuerdo con el procedimiento del apartado 4.10 de este método.
3. Determine el contenido de humedad del espécimen del ensayo restante utilizando el procedimiento del método D 2216 (ver ensayo N° 1).
4. Trace en el eje "y" los resultados del contenido de agua de las muestras secadas en horno (Método D 2216), de todos los especímenes seleccionados, contra las lecturas del indicador de presión del Método Speedy (Método D 4944) del espécimen equivalente de ensayo correspondiente, en el eje "x".
5. Ajuste la curva a través de los puntos, formando una curva de calibración para cada tipo de suelo.

Notas:

- Las curvas de calibración deben ser desarrolladas para tipos generales de suelos en un rango de contenido de agua esperado.
- Una dispersión completa de los datos indica que este método de ensayo (ASTM D 4944) o el D 2216 no son aplicables al tipo de suelo.
- Cuando sean introducidos nuevos tipos de suelo en el ensayo, es necesario extender los datos de la curva de calibración para el instrumento específico.
- Si se realizan ensayos en periodos largos de tiempo en el mismo suelo, debe construirse una nueva curva de calibración periódicamente sin excederse de 12 meses.
- Cuando en el ensayo se vaya a utilizar un nuevo lote de reactivo, se tendrán que comparar dos puntos en la curva de calibración existente y si existe una variación en el contenido de humedad del suelo que exceda el 1.0%, se deberá construir una nueva curva de calibración.
- Las curvas de calibración son generadas seleccionando varias muestras de suelo que representan el rango de los materiales a ensayar y que tienen un rango relativamente amplio de contenido de agua.

#### **4.10 Procedimiento:**

1. Seleccione los especímenes de ensayo representativos de acuerdo con el procedimiento descrito en el ensayo N° 1.
2. Remueva la tapa de la cámara de ensayo "Speedy" y coloque con el cucharón pequeño dos medidas llenas de reactivo de carburo de calcio junto con dos bolas de acero en dicha cámara.

Nota: La mayoría de los equipos son construidos para ensayar muestras de suelo de 20 g, para lo cual se requiere aproximadamente 22 g de reactivo.



- Determine la masa del espécimen de suelo húmedo a ensayar (20 g o más), según lo recomendado por el fabricante del equipo utilizando una balanza (figura 3.3).



**Figura 4.3** Determinación de la masa de la muestra de suelo húmedo (20 g).

Nota: Se debe de evitar ensayar suelos excesivamente húmedos o utilizar inapropiadamente el equipo agregando agua a la cámara, ya que esto podría causar presiones excesivas y originar condiciones inseguras para el operador y daños al equipo.

- Coloque el espécimen de suelo en la tapa de la cámara de ensayo, teniendo el aparato en una posición horizontal, introduzca la tapa en la cámara apretando la abrazadera para sellarla al aparato.

Nota: Durante esta operación, tenga cuidado que el carburo de calcio no entre en contacto con el suelo hasta que se logre un sello completo del aparato.

- Levante el aparato a una posición vertical para que el contenido de la tapa caiga en la cámara de ensayo. Golpee con la mano extendida a un lado del aparato para asegurar que todo el material se desprenda de la tapa.
- Agite vigorosamente el aparato en posición horizontal con un movimiento rotativo para que las bolas de acero giren, produzcan un impacto y un efecto de molido en el suelo y el reactivo durante el tiempo requerido.

Notas:

- El tiempo mínimo de agitado para un suelo arenoso es de 1 min, incrementándose para limos y para las arcillas 3 min, aunque, para las arcillas altamente plásticas se podrían requerir más de 3 min.
- Verifique periódicamente el movimiento de la aguja en el manómetro de presión durante el proceso de agitado.

7. Deje un tiempo para que la aguja se estabilice y cuando se detenga lea el manómetro sosteniendo el aparato en posición horizontal, si la aguja llega al límite de la escala; repita el ensayo usando un nuevo espécimen que tenga la mitad de la masa del espécimen recomendado.

Nota: Cuando se use la mitad del espécimen de suelo, la lectura final del manómetro obtenida se debe multiplicar por 2 para poder emplear la curva de calibración.

8. Registre la presión final que indica la lectura del manómetro y utilice la curva de calibración apropiada para determinar el contenido de agua corregido como un porcentaje de la masa seca del suelo, anote dicho valor.
9. Quite la tapa de la cámara de ensayo y libere lentamente la presión del gas, luego, vacíe la cámara y examine el espécimen. Si el material no está completamente pulverizado, el ensayo deberá repetirse usando un nuevo espécimen.

Nota: Esta operación debe llevarse a cabo con mucho cuidado, alejando el equipo "Speedy" del operador.

10. Limpie la cámara de ensayo y la tapa con un cepillo o tela y deje enfriar el aparato antes de realizar otro ensayo.

Notas:

- Ensayos repetidos pueden causar el calentamiento del aparato, lo cual afectará los resultados.
- Es importante tomar en cuenta que el aparato deberá tener la misma temperatura a la cual se hizo su calibración.

11. Deseche el espécimen donde no entre en contacto con el agua y produzca un gas explosivo.

Nota: Se recomienda que el espécimen de suelo no sea utilizado en ensayos adicionales.

#### **4.11 Ejemplo:**

- *Construcción de la curva de calibración:*

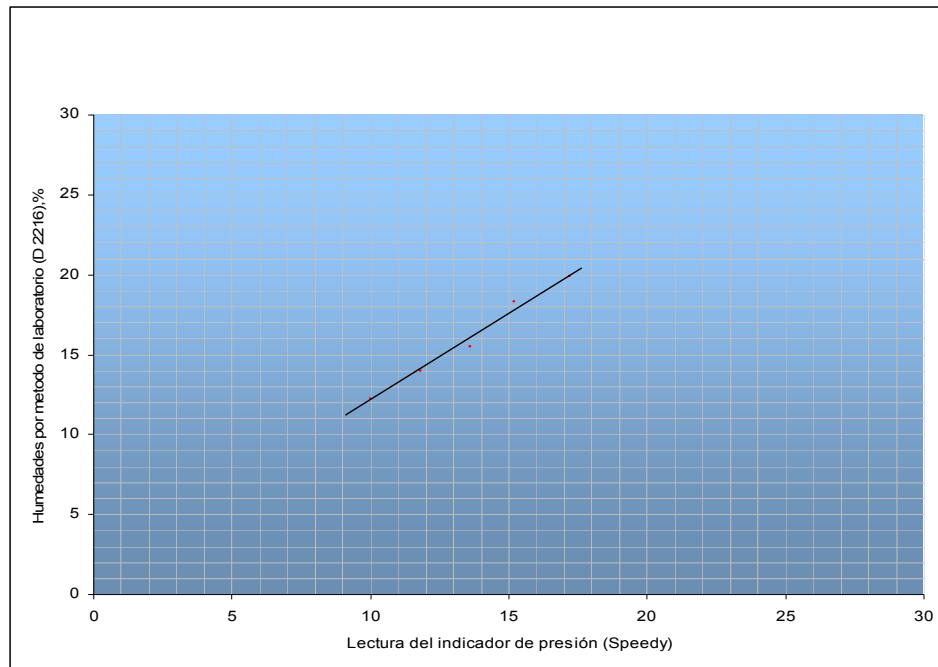
Ensayando una muestra con una humedad inicial de 12%, se procedió a determinar el contenido de agua, dividiéndola en dos especímenes de ensayo. Uno de los especímenes se ensayó utilizando el método D 4944 (Método Speedy) y el otro por el método D 2216 (Método de laboratorio); incrementando en un 2% la humedad de la muestra para obtener la curva de calibración correspondiente a este suelo.

Con el procedimiento descrito anteriormente, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Datos para construcción de la curva de calibración.**

<b>Humedad del espécimen, %</b>	<b>Lecturas de Presión (Método D 4944),%</b>	<b>Contenido de Humedad (Método D 2216), %.</b>
12	10,0	12,23
14	11,2	13,97
16	13,6	15,50
18	15,2	18,27
20	17,2	19,93

Con los datos mostrados en la Tabla 4.1 se construye la curva de calibración mostrada en la Figura 4.4.



**Figura 4.4** Curva de calibración.

- *Obtención del contenido de humedad de un espécimen:*

Utilizando una muestra de suelo de 20 g y realizando el procedimiento descrito en el apartado 4.10, se obtuvieron las siguientes lecturas de presión (manómetro):

**Tabla 4.2 Datos obtenidos del ensayo Speedy.**

Muestra N°	Lectura de presión (%)
1	9.8
2	10.2

Con las lecturas de presión obtenidas entramos a la curva de calibración para determinar los correspondientes contenidos de humedad (Ver figura 4.4), que se muestran a continuación:

$$\omega\%_1 = 11.9\% \approx 12\% \qquad \omega\%_2 = 12.4\% \approx 12\%$$

#### **4.12 Cuestionario:**

- ❖ ¿A qué tamaño de partículas y tamaño de espécimen de ensayo de una muestra de suelo se limita la aplicación del método de ensayo ASTM D 4944-98?
- ❖ ¿Cuál es el nombre del reactivo utilizado en este método de ensayo?
- ❖ Mencione 2 aplicaciones del ensayo de la determinación del contenido de humedad por el método de presión a gas (Speedy).
- ❖ ¿Cuál es el tiempo de agitado requerido en este ensayo para los suelos arcillosos y arenosos en la determinación del contenido de humedad?
- ❖ ¿Qué disposición debe tomarse en el ensayo, cuando la aguja del medidor de presión llegue a la capacidad máxima de éste al ensayar una muestra muy húmeda?
- ❖ ¿En qué condiciones debe llevarse a cabo un “Reensayo” del espécimen en el método ASTM D 4944-98?

#### **4.13 Contenido del reporte:**

El contenido del reporte de ensayo incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación de la muestra ensayada, como: lugar de procedencia, número de muestra, número de ensayo, número de sondeo, clasificación y descripción.
- ❖ Fecha de realización del ensayo.
- ❖ Identificación del número de aparato.
- ❖ Masa del espécimen y la lectura final de la presión en el manómetro.
- ❖ Contenido de agua de la muestra (de la curva de calibración) cercano al 1%.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA ( HUMEDAD) DE UN SUELO  
 EN CAMPO, POR EL MÉTODO DE ENSAYO DE PRESION A GAS DE  
 CARBURO DE CALCIO, SPEEDY  
 (Basada en ASTM D 4944)**

Proyecto	: Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo	: 22/07/2005
Lugar de procedencia	: Campus UES	Laboratorista	: SGT, MOR
Nº de sondeo	: 1	Calculó	: SGT, MOR
Descripción y tipo de suelo	: Limo arenoso, color café claro		

**Determinacion de la humedad en laboratorio ( ASTM D 2216) para calibración  
 del aparato**

No. de Muestra	1	2	3	4	5
No. de Recipiente	0+4	X3	97	34	36
Masa de Recipiente ( $M_r$ ) g	11.09	10.02	10.04	10.01	8.6
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ ) g	61.44	61.33	62.73	62.82	62.27
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ ) g	55.95	55.04	55.66	54.66	53.35
Masa de agua ( $M_w$ ) g	5.49	6.29	7.07	8.16	8.92
Masa de suelo seco ( $M_s$ ) g	44.86	45.02	45.62	44.65	44.75
Contenido de agua (%)	12.24	13.97	15.50	18.28	19.933

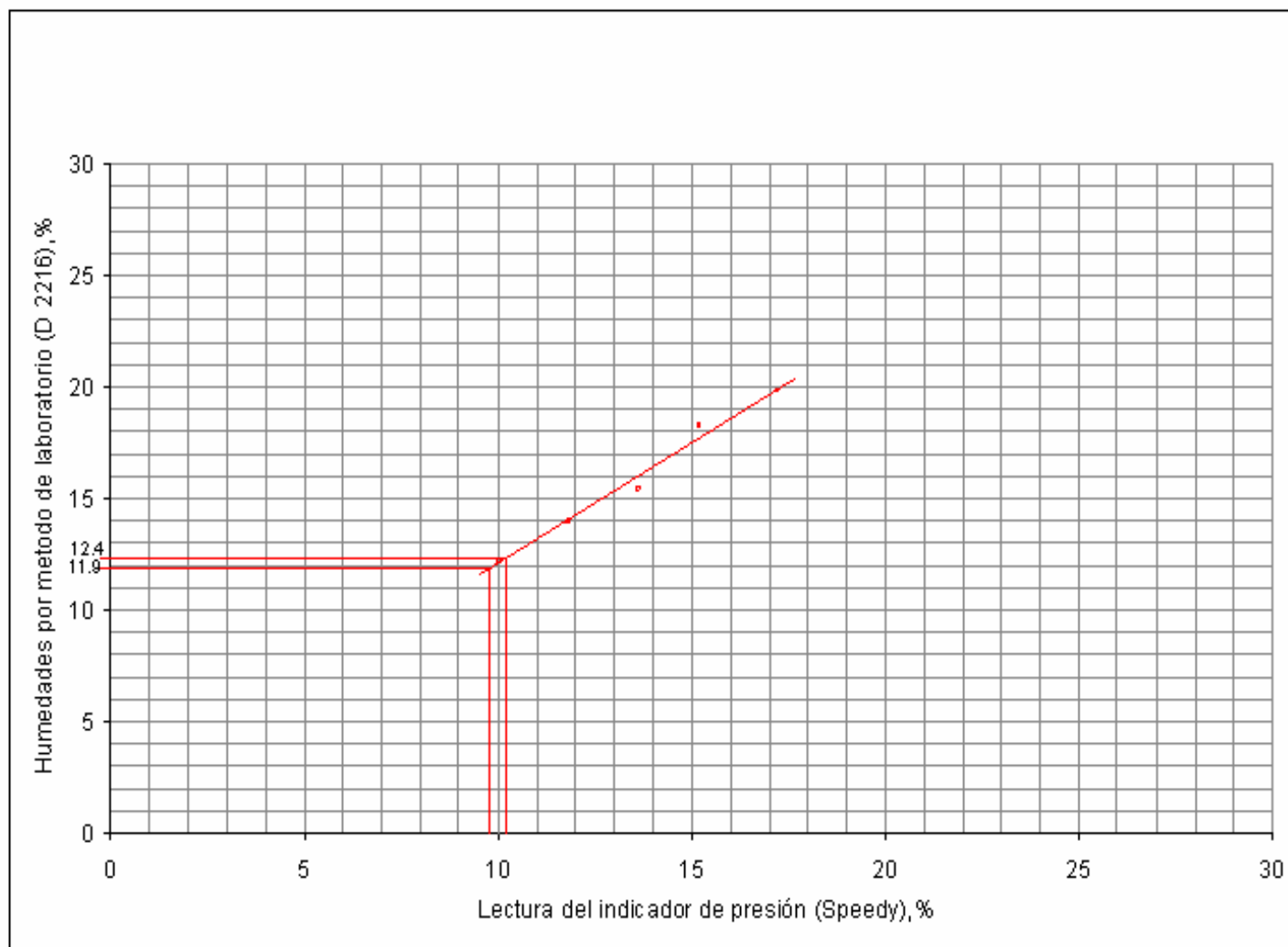
**Lecturas obtenidas del "Speedy" para calibracion del aparato**

No. de Muestra	1	2	3	4	5
No. de identificación de aparato	9782	9782	9782	9782	9782
Masa de suelo húmedo (Mh) g	20	20	20	20	20
Lectura de presión final	10	11.8	13.6	15.2	17.2

**Lecturas obtenidas del "Speedy" para determinacion de la humedad**

Masa de suelo húmedo (Mh) g	20	20			
Lectura de presión final	9.8	10.2			
Contenido de agua (obtenido de la carta de calibración), ( $\omega\%$ )	12	12			

Figura 4.5 Determinación del contenido de humedad utilizando la carta de calibración.



## ENSAYO N° 5

### DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL MÉTODO DEL PICNOMETRO CON AGUA (BASADA EN ASTM D 854-02)

#### 5.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de la gravedad específica de un suelo, conforme a la norma ASTM D 854-02.
- ❖ Determinar el valor de la gravedad específica de un suelo mediante los datos obtenidos durante el ensayo.
- ❖ Definir el concepto de gravedad específica de un suelo, según la norma ASTM D 653-02.

#### 5.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 854 Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo a través del picnómetro con agua.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.

#### 5.3 Definiciones<sup>11</sup>:

##### ***Suelo:***

Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales podrían o no contener materia orgánica.

##### ***Gravedad específica de los sólidos de un suelo (Gs):***

Es la relación de la masa de una unidad de volumen de los sólidos de un suelo y la masa del mismo volumen de agua destilada a 20°C.

---

<sup>11</sup> Todas las definiciones han sido tomadas de la Norma ASTM D 653 – 02.

***Partículas Sólidas:***

Partículas minerales o partículas de suelo semejantes, originadas de forma natural y que no son fácilmente solubles en agua.

**5.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan la malla de 4.75 mm (No. 4), por medio de un picnómetro con agua.

Nota: Cuando los suelos contengan partículas que se retienen en la malla de 4.75 mm( N° 4), se aplicará para el análisis de dicho material el método descrito en la norma ASTM C 127 y el método ASTM D 854 para el material que pasa.

- Las partículas sólidas del suelo en este método de ensayo, no incluyen sólidos que pueden ser alterados por este método o contaminados con una sustancia que prohíba su uso; o que sean sólidos altamente orgánicos, tales como la materia fibrosa que flota en el agua.
- Suelos con partículas sólidas fácilmente solubles en agua, que floten o que contengan materiales extraños como cemento, cal y aquellos que incluyan materiales con una gravedad específica menor que 1 ó que sea impráctico emplear agua, se deberá utilizar el método de ensayo ASTM D 5550<sup>12</sup> para la determinación de su gravedad específica.
- Este método de ensayo cubre dos procedimientos ( Método A y B) para determinar la gravedad específica; siendo éstos los siguientes:

*Método A:*

Este método debe ser utilizado para especímenes húmedos de suelos orgánicos, suelos altamente plásticos, suelos de grano fino, suelos tropicales y suelos con contenidos de halloysita.

*Método B:*

Este procedimiento debe ser utilizado para especímenes de suelos secados en horno.

---

<sup>12</sup> ASTM D 5550 Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer ( Método de ensayo para la gravedad específica de los sólidos del suelo por un picnómetro con gas)



Nota: El método a emplear deberá ser establecido por el solicitante o interesado, excepto cuando se ensayen suelos orgánicos, suelos altamente plásticos, suelos de grano fino y con contenido de halloysita; ya que se deberá usar el método A.

### **5.5 Resumen del método:**

Un picnómetro limpio y seco previamente calibrado, se determina su masa, luego se introduce en él una muestra de suelo húmedo (Método A) o seco (Método B). Posteriormente se agrega agua hasta formar una lechada, se extrae el aire atrapado, ya sea hirviendo (baño maría), succionando o combinando los dos procesos. Se completa el llenado del picnómetro con agua desaireada y se coloca en el recipiente de baño María durante la noche para alcanzar un equilibrio térmico. Se determina y registra la masa del picnómetro, suelo y agua, se mide la temperatura de la mezcla suelo-agua, dicha mezcla es colocada en un horno hasta obtener una masa constante; es decir, la masa seca de los sólidos del suelo. La gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 °C es la relación de la densidad de los sólidos del suelo entre la densidad del agua a la temperatura de ensayo, multiplicada por un coeficiente de temperatura.

### **5.6 Aplicación e importancia del método:**

- La gravedad específica de los sólidos de un suelo es usada para el cálculo de las relaciones de las fases del suelo, tales como la relación de vacíos y el grado de saturación. Asimismo, esta propiedad es utilizada para calcular la densidad de los sólidos del suelo, multiplicando la gravedad específica por la densidad del agua (a una temperatura adecuada).

### **5.7 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*

El espécimen de ensayo puede ser suelo húmedo o secado al horno y deberá ser representativo de los sólidos del suelo que pasen el tamiz No. 4 (4.75 mm) de la muestra total. La Tabla 5.1 proporciona los lineamientos de la masa del suelo seco recomendada, en función del tipo de suelo y tamaño del picnómetro.

**Tabla 5.1 Masa recomendada para los especímenes de ensayo.**

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se utilice un picnómetro de 250 ml	Masa de espécimen seco (g) cuando se utilice 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: Norma ASTM D 854-02, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota : Deben considerarse dos factores importantes sobre la cantidad de sólidos del suelo a ensayar siendo éstos: 1) la masa de los sólidos del suelo dividida por su gravedad específica, deberá proporcionar cuatro dígitos significativos, y 2) la mezcla de los sólidos del suelo y agua será una lechada y no un fluido muy viscoso (como la pintura espesa) durante el proceso de desaireado.

- *Agua destilada:*

Nota: El agua destilada será conocida como agua durante el ensayo.

- *Picnómetro o frasco volumétrico:*

Puede ser cualquier frasco con tapón o frasco volumétrico con una capacidad mínima de 250 ml.

Notas:

- Para evitar confundir los especímenes de ensayo y proporcionar resultados incorrectos; todos los frascos con sus correspondientes tapones deben identificarse distintamente y registrarse en la hoja de datos.
- El picnómetro a utilizar debe tener un volumen de 2 a 3 veces mayor que el volumen de la mezcla de suelo-agua usada durante la operación de desaireado.

- *Balanza:*

Con una capacidad mínima de 500 g cuando se utilicen picnómetros de 250 ml y cuando se usen picnómetros de 500 ml, la capacidad de la balanza debe ser por lo menos de 1000 g, ambas con una legibilidad de 0.01 g.

- *Horno de Secado:*

Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de 110 ± 5 °C en toda la cámara de secado (Ver figura 1.1 de ensayo No.1).

- *Termómetro:*

Capaz de medir temperaturas con una legibilidad cercana al 0.1 °C y con una profundidad de inmersión de 25 a 80 mm. Termómetros de mercurio con precisión para propósitos generales o digitales con un rango de -1 a 57 °C, podrán ser empleados siempre y cuando cumplan con los requerimientos anteriores.

Nota: No se deberán utilizar termómetros de inmersión completa.

- *Desecador:*

De tamaño apropiado que contenga gel de sílice o sulfato de calcio anhidrico (drierita).

- *Aparato de extracción de aire, (en el proceso de desairado):*

Puede emplearse uno de los dos sistemas siguientes:

- *Una placa calentadora (hot plate) o mechero Bunsen:*

Capaz de mantener una temperatura adecuada para hervir agua.

- *Sistema de vacío, bomba de vacío o aspirador de agua:*

Capaz de producir un vacío parcial de 100 mm de mercurio (Hg) o una presión absoluta menor.

Nota: Un vacío parcial de 100 mm de mercurio, es una presión absoluta aproximadamente equivalente a una lectura de 660 mm (26 pulgadas) de mercurio en un dial indicador de vacío al nivel del mar.

- *Recipiente para baño María:*

Con cubierta o recipiente equivalente que pueda mantener entre tres y seis picnómetros dentro de él, un beaker, una botella con agua y un termómetro.

Nota : El uso de un recipiente para baño María, es requerido para mantener una temperatura ambiente controlada; donde los cambios sean uniformes y graduales.

- *Embudo:*

De superficie lisa, con un vástago que se extienda más allá de la marca de calibración en el picnómetro o frasco volumétrico.

- *Misceláneos:*

Tamiz No. 4 (4.75 mm), agitador mecánico, guantes forrados, franelas, piseta, recipientes para muestra de ensayo, espátula, papel toalla, pipeta.

## 5.8 Procedimiento

### 5.8.1 Calibración del picnómetro

1. Determine y registre la masa del frasco volumétrico seco y limpio con una precisión de 0.01 g, repitiendo esta determinación cinco veces.



**Figura 5.1** Determinación de la masa del frasco volumétrico.

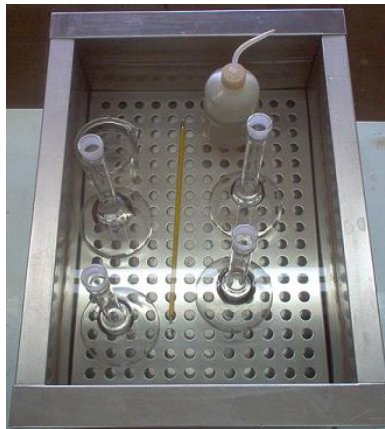
Nota : Utilice la misma balanza para todas las medidas de masa.

2. Calcule y registre (en la hoja de datos correspondiente a este ensayo) la masa promedio y la desviación normal, ésta última deberá ser menor o igual a 0.02 g, si es mayor, realice medidas adicionales o use una balanza más precisa.
3. Llene el frasco volumétrico con agua desaireada sobre o debajo de la marca de calibración (marca de aforo), dependiendo del tipo de frasco volumétrico y de la preferencia de quitar o agregar agua.

Notas:

- Desaire el agua para asegurar que no existan burbujas de aire, utilizando un dispositivo de desaireado, vacío (succión), hirviéndola o combinando estos dos últimos procesos.

- Se recomienda la técnica de remover agua para llevar el nivel del agua a la marca de calibración, ya que se reducen las posibilidades de alterar el equilibrio térmico y se disminuye el número de veces en que el recipiente para baño María es abierto.
4. Coloque el frasco (s) volumétrico dentro del recipiente para baño María junto con el termómetro, un beaker con agua, tapón (si un frasco volumétrico con tapón está siendo utilizado), agua desaireada en una botella (piseta) y un gotero o pipeta. Tape el recipiente y déjelos permanecer por lo menos 3 horas hasta que lleguen a su equilibrio térmico.



**Figura 5.2** Colocación de los frascos volumétricos con agua, termómetro, beaker, piseta dentro del recipiente baño María.

Notas:

- Se recomienda calibrar hasta un máximo de seis frascos volumétricos al mismo tiempo en el recipiente de baño María.
  - Inicialmente deberá llenarse el recipiente de baño María con agua, hasta el mismo nivel de agua en los frascos volumétricos.
  - La temperatura de equilibrio del recipiente de baño María, podrá estar a menos de 4°C de la temperatura ambiente y entre 15 y 30°C.
5. Traslade el recipiente de baño María cerca de la balanza o viceversa. Abra el recipiente y retire el frasco volumétrico; sujetándolo por el borde para prevenir la transferencia de calor al manejarlo y así evitar un cambio en el equilibrio térmico. Luego colóquelo sobre una pieza de poliestireno mientras realiza ajustes al nivel del agua.

Notas:

- Si se utiliza como picnómetro un frasco volumétrico, ajuste el agua a la marca de calibración, situando el fondo del nivel del menisco en la marca.
  - Si se tiene que agregar agua al frasco volumétrico, use agua equilibrada térmicamente del recipiente de baño María y en caso que tenga que ser removida, utilice un gotero pequeño o papel toalla.
6. Seque el exterior del frasco volumétrico así como cualquier remanente de agua. Posteriormente, determine y registre (en la hoja de datos correspondiente a este ensayo) la masa del frasco volumétrico más agua con una aproximación al 0.01 g.
  7. Introduzca el termómetro en el frasco volumétrico a una profundidad apropiada (entre 25 a 80 mm), determine y registre (en la hoja de datos correspondiente a este ensayo) la temperatura del agua ( $T_c$ ), con una aproximación al 0.1°C.



**Figura 5.3** Determinación de la temperatura del agua.

8. Regrese el frasco volumétrico al recipiente de baño María y repita las operaciones de ajustes del nivel de agua, secado, determinación de masa y temperatura para todos los frascos volumétricos restantes en el recipiente; si los hubiere.
9. Reajuste nuevamente el nivel del agua en el frasco volumétrico para realizar la próxima calibración y repita el procedimiento para obtener cinco medidas independientes en cada frasco, (dejándolos permanecer por lo menos 3 horas).

Nota: La temperatura entre una calibración y otra no precisa mantenerse necesariamente, dentro de un rango de temperaturas establecido.

### **5.8.2 Determinación de la gravedad específica:**

1. Determine la masa del frasco volumétrico limpio y seco a utilizar, empleando la misma balanza de la calibración del frasco y verifique que dicha masa esté a menos de 0.06 g del promedio de la masa calibrada; de lo contrario recalibre la masa seca del frasco volumétrico.
2. Tamice la muestra total de suelo a través del tamiz No. 4 y separe ambas fracciones (la que se retiene de la que pasa).
3. Identifique si la condición de la muestra de suelo a ensayar es “húmeda” o “secada al horno” y dependiendo de esa condición elija uno de los métodos siguientes (A o B):

#### ***3.1 Procedimiento para muestras húmedas (Método A):***

- 3.1.1 Determine el contenido de humedad de una porción de la muestra de suelo que pasó el tamiz No. 4 de acuerdo con el método de ensayo D 2216 (Vea ensayo N° 1).
- 3.1.2 Calcule con el valor determinado de humedad del paso anterior, el rango de las masas húmedas para el espécimen de ensayo de la gravedad específica conforme con la tabla 5.1 y seleccione dicho espécimen de ensayo dentro de ese rango.  

Nota: Para obtener el espécimen de ensayo, no se deberá tomar su masa predeterminada de forma exacta.
- 3.1.3 Coloque aproximadamente 100 ml de agua en un recipiente de mezclado (agitador mecánico), luego agregue el espécimen de ensayo y mezcle hasta dispersar el suelo en forma de lechada.  

Nota: El volumen mínimo de lechada (suelo- agua) que puede ser preparado en este equipo, requerirá el uso de un frasco volumétrico con una capacidad de 500 ml.
- 3.1.4 Vacíe la lechada en el frasco volumétrico usando un embudo y enjuague con una piseta cualquier partícula de suelo que permanezca adherida en el embudo dentro del frasco.
- 3.1.5 Proceda como se describe en el literal 4 de este procedimiento (determinación de la gravedad específica).

### **3.2 Procedimiento para muestras secadas al horno (Método B):**

3.2.1 Seleccione la masa del espécimen de ensayo de acuerdo con la tabla 5.1 y tómla de la muestra de suelo previamente tamizada que pasó la malla No 4.

3.2.2 Seque el espécimen de suelo en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener una masa constante.

3.2.3 Desmenuce cualquier grumo de suelo en el espécimen usando un mortero y pistilo. Si el suelo no se desmenuza fácilmente o cambia de composición, realice el método de ensayo "A" (vea literal 3.1 de este procedimiento).

3.2.4 Coloque un embudo en el frasco volumétrico (asegúrese que el cuello de éste se extienda más allá de la marca de calibración o del sello del tapón), posteriormente vierta el espécimen de suelo directamente en el embudo y enjuague con una piseta cualquier partícula de suelo que permanezca adherida en el embudo dentro del frasco.

Nota: Verifique que el embudo a utilizar cumpla con las características descritas en el apartado 5.7 "Material y equipo" de este ensayo.

4. Agregue agua al frasco volumétrico hasta un nivel de entre  $1/3$  y un  $1/2$  de la altura del cuerpo principal de éste.

Nota: Para especímenes de suelo secados en horno que contienen una cantidad significativa de materia orgánica, puede usarse el querosén en lugar del agua destilada, el cual es un agente de mejor humedecimiento que el agua. Si se utiliza el querosén, el aire atrapado sólo deberá ser extraído con un aspirador y usarse con extrema precaución, ya que es un líquido inflamable.

5. Agite el agua y suelo en el frasco volumétrico hasta formar una lechada y enjuague dentro de éste, cualquier partícula de suelo adherida en el interior del mismo.

Nota: Si no se forma la lechada, pero se produce una pasta viscosa, use un frasco volumétrico que tenga un volumen mayor.

6. Desaire la lechada de suelo extrayendo el aire atrapado, por uno de los métodos siguientes:

#### **6.1 Método de aplicación de calor (ebullición):**

Este proceso debe tener una duración mínima de 2 h, luego de que la lechada burbujea completamente. Aplique únicamente suficiente calor para mantener la



ebullición de la lechada y agite ésta tanto como sea necesario, para prevenir que cualquier partícula de suelo se adhiera o se seque en el vidrio sobre la superficie de la lechada.

#### 6.2 Método de vacío (succión):

El frasco volumétrico debe ser agitado continuamente de manera que los sólidos del suelo, tales como limos y arcillas permanezcan en suspensión y la lechada esté en constante movimiento; mientras es sometido a un vacío por un tiempo mínimo de 2 h. La succión debe ser relativamente constante y suficiente como para causar burbujas al inicio del proceso de desaireado.

#### 6.3 Método de aplicación de calor y vacío:

Los picnómetros pueden colocarse en baño maría (a no más de 40°C) mientras es aplicada una succión. La duración del baño maría y el succionado debe ser por lo menos 1h después de iniciada la ebullición de la lechada. Durante el proceso la lechada debe agitarse tanto como sea necesario para mantener la ebullición y prevenir que el suelo se seque dentro del picnómetro.



**Figura 5.4** Desaireado de la lechada por el método de ebullición.

Nota: El nivel de agua en el baño María deberá estar ligeramente debajo del nivel del agua en el frasco volumétrico, ya que si el vidrio de éste se calienta el suelo se pegará o se secará en él.

7. Llene el frasco volumétrico con agua desaireada, utilizando un embudo o un tubo flexible de diámetro pequeño colocado sobre la superficie de la lechada en el frasco.

Notas:

- El agua a emplear puede ser desaireada previamente, ya sea por ebullición, vacío o una combinación de ambos y deberá utilizarse hasta que se encuentre a una temperatura ambiente.
- Mientras realiza el llenado del frasco volumétrico con agua, al mismo tiempo vaya levantando el embudo y aumentando la velocidad del flujo.
- Si mientras deposita agua, nota que ésta se vuelve turbia; concluya el llenado del picnómetro agregando agua al día siguiente.

8. Coloque el frasco volumétrico en el recipiente de “baño María”, junto con el termómetro, un beaker con agua o una pequeña cantidad de agua desaireada en una piseta, cúbralos y manténgalos durante toda la noche para alcanzar un equilibrio térmico.



**Figura 5.5** Colocación de los frascos volumétricos con la lecheada, beaker termómetro, piseta dentro del recipiente baño María.

9. Retire el frasco volumétrico del baño María; manipulándolo por el borde para evitar cambios en el equilibrio térmico y colóquelo sobre una pieza de poliestireno, mientras se realizan ajustes al nivel del agua.

Nota: Si el recipiente de baño María no se encuentra cerca de una balanza, aproxímelo a la balanza o viceversa.

- Ajuste el nivel de agua en el picnómetro hasta la marca de calibración; ya sea agregando agua térmicamente equilibrada del baño María con una piseta o extrayendo agua al picnómetro con un gotero o papel absorbente.

Notas: El ajuste del nivel de agua en el picnómetro será el adecuado cuando el nivel inferior del menisco coincida con el de la marca de calibración.

- Seque el borde y todo el exterior del picnómetro con papel absorbente.
- Determine y registre (en la hoja de datos correspondiente a este ensayo) la masa del picnómetro, suelo y agua con una aproximación de 0.01 g, utilizando la misma balanza de la calibración del picnómetro.



**Figura 5.6** Determinación de la masa del frasco volumétrico más lechada.

- Mida y registre (en la hoja de datos correspondiente a este ensayo) la temperatura de la mezcla suelo-agua con una precisión de 0.1 °C, usando el termómetro térmicamente equilibrado en el baño María. Anote esta temperatura como la temperatura de ensayo ( $T_e$ ).

Notas:

- Para tomar correctamente la temperatura, el termómetro deberá introducirse en el frasco volumétrico a la profundidad adecuada de inmersión de entre 25 a 80 mm.
- Después de tomar la temperatura al frasco volumétrico, regrese nuevamente el termómetro al baño María, para medir la temperatura de los otros frascos, si los hubiere.

14. Determine la masa de una tara o recipiente con una precisión de 0.01 g y traslade la lechada en ella, agregando agua si es necesario para que todo el suelo sea depositado.
15. Seque el espécimen a masa constante en un horno mantenido a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , luego retire la tara con el suelo del horno y déjelo que enfríe en un desecador.  
Nota: Si la tara puede sellarse para que el suelo no absorba humedad durante el enfriamiento, no será necesario emplear un desecador.
16. Determine la masa seca de los sólidos del suelo más la tara a 0.01 g de precisión, usando la balanza indicada.

## 5.9 Cálculos

### 5.9.1 Calibración del picnómetro:

1. Calcule el volumen calibrado de cada frasco volumétrico,  $V_p$  (en cada valor de temperatura calibrado), utilizando los cinco datos registrados usando la ecuación siguiente:

$$V_p = \frac{(M_{pw,c} - M_p)}{\rho_{w,c}} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

$V_p$  = Volumen calibrado del frasco volumétrico, ml

$M_{pw,c}$  = Masa del frasco volumétrico más agua a la temperatura de calibración, g

$M_p$  = Masa del frasco volumétrico seco y limpio, g

$\rho_{w,c}$  = Densidad del agua a la temperatura de calibración, g/ml (tomado de la tabla 5.2)

**Tabla 5.2 Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para diferentes temperaturas.**

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	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
0.1	0.99909	1.00088	0.1	0.99893	1.00072	0.1	0.99876	1.00055	0.1	0.99858	1.00037
0.2	0.99907	1.00087	0.2	0.99891	1.00071	0.2	0.99874	1.00054	0.2	0.99856	1.00035
0.3	0.99906	1.00085	0.3	0.99890	1.00069	0.3	0.99872	1.00052	0.3	0.99854	1.00034
0.4	0.99904	1.00084	0.4	0.99888	1.00067	0.4	0.99871	1.00050	0.4	0.99852	1.00032
0.5	0.99902	1.00082	0.5	0.99886	1.00066	0.5	0.99869	1.00048	0.5	0.99850	1.00030
0.6	0.99901	1.00080	0.6	0.99885	1.00064	0.6	0.99867	1.00047	0.6	0.99848	1.00028
0.7	0.99899	1.00079	0.7	0.99883	1.00062	0.7	0.99865	1.00045	0.7	0.99847	1.00026
0.8	0.99898	1.00077	0.8	0.99881	1.00061	0.8	0.99863	1.00043	0.8	0.99845	1.00024
0.9	0.99896	1.00076	0.9	0.99879	1.00059	0.9	0.99862	1.00041	0.9	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
0.1	0.99839	1.00018	0.1	0.99819	0.99998	0.1	0.99797	0.99977	0.1	0.99775	0.99954
0.2	0.99837	1.00016	0.2	0.99816	0.99996	0.2	0.99795	0.99974	0.2	0.99773	0.99952
0.3	0.99835	1.00014	0.3	0.99814	0.99994	0.3	0.99793	0.99972	0.3	0.99770	0.99950
0.4	0.99833	1.00012	0.4	0.99812	0.99992	0.4	0.99791	0.99970	0.4	0.99768	0.99947
0.5	0.99831	1.00010	0.5	0.99810	0.99990	0.5	0.99789	0.99968	0.5	0.99766	0.99945
0.6	0.99829	1.00008	0.6	0.99808	0.99987	0.6	0.99786	0.99966	0.6	0.99764	0.99943
0.7	0.99827	1.00006	0.7	0.99806	0.99985	0.7	0.99784	0.99963	0.7	0.99761	0.99940
0.8	0.99825	1.00004	0.8	0.99804	0.99983	0.8	0.99782	0.99961	0.8	0.99759	0.99938
0.9	0.99823	1.00002	0.9	0.99802	0.99981	0.9	0.99780	0.99959	0.9	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
0.1	0.99752	0.99931	0.1	0.99727	0.99907	0.1	0.99702	0.99881	0.1	0.99676	0.99855
0.2	0.99749	0.99929	0.2	0.99725	0.99904	0.2	0.99700	0.99879	0.2	0.99673	0.99852
0.3	0.99747	0.99926	0.3	0.99723	0.99902	0.3	0.99697	0.99876	0.3	0.99671	0.99850
0.4	0.99745	0.99924	0.4	0.99720	0.99899	0.4	0.99694	0.99874	0.4	0.99668	0.99847
0.5	0.99742	0.99921	0.5	0.99717	0.99897	0.5	0.99692	0.99871	0.5	0.99665	0.99844
0.6	0.99740	0.99919	0.6	0.99715	0.99894	0.6	0.99689	0.99868	0.6	0.99663	0.99842
0.7	0.99737	0.99917	0.7	0.99712	0.99892	0.7	0.99687	0.99866	0.7	0.99660	0.99839
0.8	0.99735	0.99914	0.8	0.99710	0.99889	0.8	0.99684	0.99863	0.8	0.99657	0.99836
0.9	0.99732	0.99912	0.9	0.99707	0.99887	0.9	0.99681	0.99860	0.9	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
0.1	0.99649	0.99828	0.1	0.99621	0.99800	0.1	0.99592	0.99771	0.1	0.99562	0.99741
0.2	0.99646	0.99825	0.2	0.99618	0.99797	0.2	0.99589	0.99768	0.2	0.99559	0.99738
0.3	0.99643	0.99822	0.3	0.99615	0.99794	0.3	0.99586	0.99765	0.3	0.99556	0.99735
0.4	0.99641	0.99820	0.4	0.99612	0.99791	0.4	0.99583	0.99762	0.4	0.99553	0.99732
0.5	0.99638	0.99817	0.5	0.99609	0.99788	0.5	0.99580	0.99759	0.5	0.99550	0.99729
0.6	0.99635	0.99814	0.6	0.99607	0.99785	0.6	0.99577	0.99756	0.6	0.99547	0.99726
0.7	0.99632	0.99811	0.7	0.99604	0.99783	0.7	0.99574	0.99753	0.7	0.99544	0.99723
0.8	0.99629	0.99808	0.8	0.99601	0.99780	0.8	0.99571	0.99750	0.8	0.99541	0.99720
0.9	0.99627	0.99806	0.9	0.99598	0.99777	0.9	0.99568	0.99747	0.9	0.99538	0.99716

Fuente: Norma ASTM D 854-02, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

\* ml = cm<sup>3</sup>

- Calcule el promedio y la desviación normal de las cinco determinaciones del volumen del frasco volumétrico y verifique si la desviación normal es menor o igual a 0.05 ml (redondeado a dos decimales). Si la desviación normal es mayor que 0.05

ml, el procedimiento de la calibración tiene demasiada incertidumbre y no rendirá determinaciones exactas del valor de la gravedad específica.

3. Calcule la masa del frasco volumétrico + agua a la temperatura de ensayo como sigue:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t}) \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

$M_{pw,t}$  = Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo g,

$M_p$  = Masa promedio del frasco volumétrico seco calibrado, g,

$V_p$  = Volumen promedio del frasco volumétrico calibrado, ml, y

$\rho_{w,t}$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo, g/ml (obtenido de la tabla 5.2)

### 5.9.2 Determinación de la gravedad específica:

1. Calcule la gravedad específica de los sólidos del suelo ( $G_s$ ) a la temperatura de ensayo, como sigue:

$$G_{st} = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s))} \quad \text{Ec. 5.3}$$

Donde:

$G_{st}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

$\rho_s$  = Densidad de los sólidos del suelo Mg/m<sup>3</sup> o g/cm<sup>3</sup>,

$\rho_{w,t}$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo, de Tabla 5.2, g/ml o g/cm<sup>3</sup>,

$M_s$  = Masa de los sólidos del suelo secado en horno (g), y

$M_{pw,t}$  = Masa del frasco volumétrico y agua a la temperatura de ensayo, en g, determinada en la calibración del mismo.

$M_{pws,t}$  = Masa del frasco volumétrico, agua y sólidos del suelo a la temperatura de ensayo, g.

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

$$G_{20^{\circ}C} = K.G_{st} \quad \text{Ec.5.4}$$

Donde:

$G_{s20^{\circ}C}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 °C,

$K$  = Coeficiente de temperatura dado en la tabla 5.2.

$G_{st}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo

Nota:

- Para calcular la gravedad específica promedio de los sólidos de suelos que contienen partículas que se retienen y pasan en el tamiz No. 4, utilice la siguiente ecuación:

$$G_{prom\ 20^{\circ}C} = \frac{I}{\frac{R}{100 \times G_{1\ 20^{\circ}C}} + \frac{P}{100 \times G_{2\ 20^{\circ}C}}} \quad \text{Ec.5.5}$$

Donde:

$G_{prom\ 20^{\circ}C}$  = Gravedad específica promedio para los sólidos del suelo que contienen partículas que se retienen y pasan en el tamiz No. 4

$R$  = Porcentaje de suelo retenido en la malla N° 4 (4.75-mm),

$P$  = Porcentaje de suelo que pasa la malla N° 4 (4.75-mm),

$G_{1\ 20^{\circ}C}$  = Gravedad específica aparente del suelo retenido en el tamiz N°4 (4.75mm), determinada por el método C 127, corregido a 20°C,

$G_{2\ 20^{\circ}C}$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan el tamiz N° 4 (4.75mm), a 20°C determinada por este método de ensayo.

- Se deberá emplear el método de ensayo C 127 para determinar la gravedad específica de las partículas que se retienen en la malla N° 4, dicho método se realiza a una temperatura de  $23 \pm 1.7$  °C y no precisa corregir los datos de gravedad específica a 20°C. Sin embargo, si se requieren corregir dichos datos a 20°C se deberá utilizar la ecuación 5.4 y posteriormente evaluar la ecuación 5.5.

### 5.10 Ejemplo:

Datos:

Masa del frasco volumétrico ( $M_p$ ) : 195.31 g

Masa del frasco volumétrico + agua 25 °C ( $M_{pw,c}$ )<sub>1</sub> : 692.73 g

Masa del frasco volumétrico + agua 27 °C ( $M_{pw,c}$ )<sub>2</sub> : 692.57 g

Masa del frasco volumétrico + agua + suelo ( $M_{pws,t}$ )	: 744.51 g
Temperatura de ensayo ( $T_e$ )	: 26.5 °C
Densidad del agua a 25 °C (obtenido de tabla 5.2)	: 0.99705 g/mL
Densidad del agua a 26.5 °C (obtenido de tabla 5.2)	: 0.99665 g/mL
Densidad del agua a 27 °C (obtenido de tabla 5.2)	: 0.99652 g/mL
Masa de recipiente (#15)	: 121.18 g
Masa de suelo seco + recipiente (#15)	: 203.69 g
Coefficiente de temperatura a 26.5 °C ( $K$ )	: 0.99844

5.10.1 Determine el promedio del volumen del frasco volumétrico calibrado utilizando la ecuación 5.1:

Para  $T_c = 25$  °C

$$V_{p_i} = \frac{(692.73 - 195.31)}{0.99705} = 498.89 \text{ g / mL}$$

Para  $T_c = 27$  °C

$$V_{p_i} = \frac{(692.57 - 195.31)}{0.99652} = 499.0 \text{ g / mL}$$

Volumen promedio: 498.94 g/mL

5.10.2 Determine la masa del picnómetro + agua a la temperatura de ensayo utilizando la ecuación 5.2:

$$M_{pw,t} = 195.31 + (498.94 \times 0.99665)$$

$$M_{pw,t} = 692.58 \text{ g}$$

5.10.3 Determine la gravedad específica de los sólidos del suelo empleando la ecuación 5.3:

Masa de los sólidos del suelo:  $203.69 - 121.18 = 82.51$  g

$$G_{st} = \frac{82.51}{(692.58 - (744.51 - 82.51))} = 2.70$$



5.10.4 Calcule la gravedad específica de los sólidos del suelo referida a 20 °C empleando la ecuación 5.4:

$$G_{20^{\circ}\text{C}} = 0.99844 \times 2.70$$

$$G_{20^{\circ}\text{C}} = 2.69$$

### 5.11 Cuestionario:

- ❖ Defina el término “gravedad específica” de las partículas sólidas de un suelo, según la norma ASTM D 653.
- ❖ Escriba la ecuación y defina los términos utilizados para calcular la gravedad específica de los sólidos del suelo a la temperatura de ensayo.
- ❖ ¿Qué tamaño de partículas se utilizan en la determinación de la gravedad específica por este método de ensayo ASTM D 854- 02?
- ❖ Mencione 2 usos del valor de gravedad específica de un suelo, conforme a la norma ASTM D 854.
- ❖ ¿En qué tipo de suelo es utilizado el Método A para la determinación de la gravedad específica de un suelo?

### 5.12 Contenido del reporte:

El contenido del reporte de ensayo incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación de la muestra ensayada, como: lugar de procedencia, número de muestra, número de ensayo, clasificación del suelo ensayado, etc.
- ❖ Porcentaje de las partículas de suelo que pasan la malla N° 4 (4.75 mm).
- ❖ Fecha de realización del ensayo.
- ❖ Método de ensayo utilizado (método A o método B)
- ❖ Clasificación visual del suelo ensayado (nombre de grupo y símbolo de acuerdo con el ensayo D 2487).
- ❖ Descripción del material excluido, si cualquier partícula de suelo ha sido descartada del espécimen de ensayo.
- ❖ Gravedad específica a 20 °C ( $G$ ,  $G_s$ ,  $G_{20^{\circ}\text{C}}$ ) con una precisión de 0.01. Si se desea, pueden registrarse los valores con una precisión de 0.001.
- ❖ Promedio de la gravedad específica a los 20°C ( $G_{prom}$  o  $G_{prom20^{\circ}\text{C}}$ ) con una precisión de 0.01.
- ❖ Mediciones de masa con una precisión de 0.01 g.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
 SUELO POR EL METODO DEL PICNOMETRO CON AGUA  
 (BASADA ASTM D 854-02)**

Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Fecha : 26/10/2005  
 Método de ensayo : **B** Laboratorista : \_\_\_\_\_  
 Descripción y tipo de suelo : \_\_\_\_\_ Calculó : \_\_\_\_\_

**Calibracion del picnómetro**

No. de picnómetro		M-1		M-2	
Masa de picnómetro	g	195.31		195.15	
Temperatura de calibración	°C	25	27	25	27
Masa de picnómetro+ agua a temperatura de calibración	g	692.73	692.57	692.35	691.98
Densidad del agua a temperat. de calibración	g/ml	0.99705	0.99652	0.99705	0.99652
Volumen del picnómetro	ml	498.89	499.00	498.67	498.57
Volumen promedio del picnómetro	ml	498.94		498.62	

**Gravedad Especifica**

Temperatura de ensayo ( $T_e$ ) °C	g	26.5	26.5
Densidad del agua a temperat. de ensayo	g/ml	0.99665	0.99665
Masa de picnómetro + suelo + agua a $T_e$	g	744.51	745.21
Masa de picnómetro + agua a $T_e$	g	692.58	692.10
No. de recipiente		15	3
Masa de recipiente	g	121.18	107.98
Masa de sólidos del suelo+ recipiente	g	203.69	192.68
Masa de los sólidos del suelo	g	82.51	84.70
Gravedad específica a temperatura de ensayo ( $G_t$ )		2.70	2.69
Coeficiente de temperatura		0.9984	0.9984
Gravedad específica a temperatura de 20° C ( $G_s$ )		2.69	2.69

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO N° 6

### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS (BASADA EN ASTM D 422-63, Reaprobada en 1998)

#### 6.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación del tamaño de las partículas de un suelo, conforme a la norma ASTM D 422-63.
- ❖ Graficar los resultados obtenidos de la distribución granulométrica de un suelo.
- ❖ Determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas que constituyen un suelo.

#### 6.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 422 Determinación del tamaño de las partículas de suelos.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- E 11 Especificación para tamices de tela de alambre para propósitos de ensayo.
- D 421 Práctica estándar para la preparación de muestras de suelo seco para el análisis de tamaño de partículas y determinación de constantes del suelo.
- D 854 Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo a través del picnómetro con agua.

Normas AASHTO

- T 88 Análisis del tamaño de las partículas de los suelos.

#### 6.3 Definiciones:

##### ***Suelo:***

Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales pueden o no contener materia orgánica.

##### ***Contenido de agua higroscópica ( $w_h$ ):***

Es el contenido de agua de un suelo o roca secado al aire.

***Análisis del tamaño de la partícula (análisis granulométrico o análisis mecánico):***

Es el proceso para determinar la distribución de los tamaños de grano que constituyen un suelo.

***Graduación:***

Son las proporciones por masa de un suelo o roca fragmentada distribuida en rangos específicos de tamaños de partículas.

***Análisis por tamizado:***

Es la determinación de las proporciones de las partículas que quedan dentro de ciertos rangos de tamaño en un material granular, llevada a cabo por la separación en tamices con aberturas de diferentes tamaños.

**6.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas de un suelo, por medio de un proceso de tamizado para tamaños de partículas retenidas en la malla N° 200 (75  $\mu\text{m}$ ) y para tamaños de partículas que pasen dicha malla, por un proceso de sedimentación; empleando un hidrómetro para obtener los datos necesarios.

**6.5 Aplicación e importancia del método:**

- Este método de ensayo es utilizado para conocer la distribución del tamaño de las partículas que constituyen un suelo y por medio de ésta agruparlo dentro de un sistema específico de clasificación de suelos.
- Calcular el coeficiente de permeabilidad de un suelo en una forma aproximada.
- Los resultados obtenidos por este método de ensayo son utilizados en la verificación del cumplimiento de especificaciones de materiales seleccionados para trabajos en vías terrestres.

**6.6 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*  
Representativa de campo y en condición “secada al aire”.

- *Agente dispersor y/o defloculante:*  
Solución de hexametáfosfato de sodio (conocido como metáfosfato de sodio), en una proporción de 40 g /l de solución.
- *Agua:*  
Destilada o desmineralizada.
- *Balanzas:*  
Una balanza sensible a 0.01 g para la determinación de masas del material que pasa el tamiz N° 10 y una balanza sensible al 0.1% de la masa de la muestra, para el material retenido en él.
- *Aparato Agitador( Batidora):*  
Consistente en un dispositivo de mezclado mecánico; en el cual un motor eléctrico hará girar un eje vertical a una velocidad no menor de 10000 rpm sin carga. El eje podrá contar con una paleta de revolutura de metal, plástico o caucho; además de un depósito que servirá para contener la muestra mientras es mezclada.  
Nota: El eje deberá ser de tal longitud que la paleta de meneado deberá operar a no menos de ¾ pulg(19 mm) y no más de 1 ½ pulg (38.1 mm) arriba del fondo del depósito que contendrá la muestra.
- *Hidrómetro:*  
Un hidrómetro graduado para leer ya sea la gravedad específica o gramos/litro de la suspensión. De tipo 151H ó 152H (ambos hidrómetros poseen iguales dimensiones siendo la única diferencia la escala de valores) conforme con las especificaciones E 100.



**Figura 6.1** Hidrómetro 152 H utilizado en el análisis de las partículas que pasan el tamiz No.10

- *Cilindros de sedimentación (probeta):*

De vidrio, sin graduación con una altura de 18” (457 mm) y 2½” (63.5 mm) de diámetro y con una capacidad de 1000 ml.

Nota: Se emplearán dos probetas, una de las cuales se utilizará para llevar a cabo el ensayo hidrométrico y la otra para el control de la temperatura durante el ensayo.

- *Termómetro:*

Con una precisión de 0.5°C (1 °F).

- *Juego de tamices:*

Un juego completo de tamices, en que se incluyen los siguientes:

**Tabla 6.1 Juego de tamices estándar**

3 “ ( 75-mm)	No. 10 ( 2.00-mm)
2” ( 50-mm)	No. 20 ( 850- μm)
1 ½ “ ( 37.5-mm)	No. 40 ( 425- μm)
1 “ ( 25.0-mm)	No. 60 ( 250- μm)
¾” (19.0-mm)	No. 140 ( 106- μm)
3/8” ( 9.5-mm)	No. 200 ( 75- μm)
No. 4 ( 4.75-mm)	Tapa y fondo

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Sin embargo un juego de tamices que pueden proporcionarnos un espaciamiento uniforme de puntos para construir el gráfico, se encuentra comprendido de los siguientes:

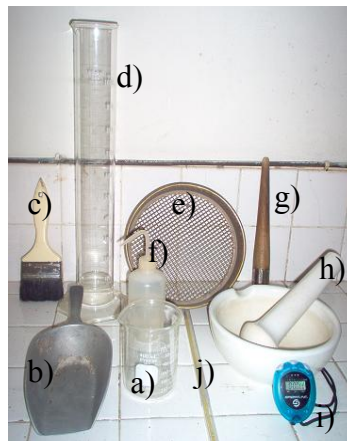
**Tabla 6.2 Juego de tamices estándar para obtener un espaciamiento uniforme en la gráfica**

3” (75-mm),	No. 16 (1.18-mm)
1 ½” (37.5-mm)	No. 30 (600-μm)
¾” (19.0-mm)	No. 50 (300-μm)
3/8” ( 9.5-mm)	No. 100 (150-μm)
No. 4 ( 4.75-mm)	No. 200 (75-μm).
No. 8 ( 2.36-mm)	Tapa y fondo

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

- *Vibrador eléctrico (Rop- Tap)*

- *Recipiente de baño María o cuarto húmedo a temperatura controlada:*  
Capaz de mantener la suspensión de suelo a una temperatura constante durante el análisis hidrométrico. Un recipiente baño María que pueda mantener una temperatura constante cerca de 20 °C (68 °F) se considerará satisfactoria.  
Nota: En casos donde el ensayo es realizado en un cuarto a temperatura constante controlada, el baño María no es necesario.
- *Beaker:*  
Con capacidad de 250 ml.
- *Cronómetro*
- *Mortero y pistilo cubierto de goma:*  
Utilizados para disgregar el suelo.
- *Horno de secado:*  
Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.
- *Reductor de muestras:*  
Separador mecánico o partidor de muestra.
- *Misceláneos:*  
Agitador (varilla de vidrio), piseta, pala, brochas, recipientes para espécimen, cucharones, franelas, papel toalla, compás de punta, bandejas.



**Figura 6.2** Equipo utilizado en el análisis del tamaño de las partículas: a) beaker  
b) cucharón, c) brocha, d) probeta de 1000 ml, e) tamiz, f) piseta,  
g) brochuelo, h) mortero y pistilo, i) cronómetro, j) termómetro.

## 6.7 Procedimiento:

### 6.7.1 Preparación de la muestra a ensayar:

1. Exponga al aire la muestra de suelo recibida de campo a la temperatura ambiente hasta que seque completamente.
2. Reduzca el suelo a una cantidad representativa, ya sea por cuarteo o utilizando un partidador de muestras, de tal manera que la muestra de ensayo sea la suficiente para proporcionar las cantidades requeridas según la tabla 6.3 y 6.4, posteriormente registre esta masa como la masa total de la muestra no corregida por humedad higroscópica.

**Tabla 6.3 Masa mínima de la porción de suelo retenida en el tamiz No 10 a utilizar en el tamizado, según el tamaño máximo de las partículas.**

Tamaño máximo nominal de la partícula, pulg (mm)	Masa mínima aproximada de la porción, g
3/8 ( 9.5 )	500
3/4 (19.0 )	1000
1 ( 25.4)	2000
1½ ( 38.1)	3000
2 ( 50.8)	4000
3 (76.2 )	5000

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**Tabla 6.4 Masa mínima de la porción de suelo que pasa el tamiz No 10, según el tipo de suelo.**

Suelos arcillosos y limosos	65 g
Suelos arenosos	115 g

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

3. Tamice toda la muestra de ensayo por la malla No. 10 y pulverice cualquier grumo existente en la fracción retenida en dicha malla dentro de un mortero con un pistilo, hasta que las partículas de suelo estén completamente desmenuzadas.





**Figura 6.3** Separación de la muestra de suelo por la malla No 10 en el análisis granulométrico.

Nota: La separación también puede ser realizada en la malla N° 4 (4.75 mm), N° 40 (425  $\mu$ m) o en la malla N° 200 (75  $\mu$ m) en lugar de la N° 10, registrando en la hoja de datos el número de la malla utilizada.

4. Tamice nuevamente por la malla No 10 las partículas de la fracción retenida y lave dicho material después de este segundo tamizado, luego seque y registre su masa como la masa del material grueso ( $M_g$ ).
5. Tamice el material grueso del paso anterior en la malla No 4 (4.75 mm) y registre la masa que se retiene.
6. Mezcle completamente las fracciones del material que pasaron el tamiz No 10 (2.00 mm) obtenidas en el paso 3 y 4 de este apartado, luego seleccione de acuerdo a la tabla 6.4 la masa mínima de la muestra a utilizar, dependiendo del tipo de suelo.
7. Determine y registre la masa de un recipiente (tara) limpio y seco para obtener la humedad higroscópica del material que pasa el tamiz No 10.
8. Tome una porción de 10 a 15 g de la muestra previamente seleccionada en el paso 6 de este apartado y colóquela en el recipiente, seque posteriormente la muestra a masa constante en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Determine y registre su masa seca.

#### **6.7.2 Análisis por tamizado de la porción retenida en el tamiz N° 10 (2.00 mm)**

1. Separe la porción del material grueso retenido en el tamiz No. 10 (obtenida en el paso 4), tamizando manualmente toda la muestra en cada una de las mallas siguientes: 3" (75-mm), 2" (50-mm), 1½" (37.5-mm), 1" (25.0-mm), ¾" (19.0 -mm), 3/8" (9.5-mm), No. 4 (4.75-mm) y No. 10 ( 2 mm) ordenadas en forma descendente de mayor a menor abertura.

Notas:

- Un juego de tamices alternativo que da un espaciado uniforme de los puntos para el gráfico y que puede ser empleado si se desea, es el siguiente: 3" (75-mm), 1½" (37.5-mm), ¾" (19.0 -mm), 3/8" (9.5-mm), No. 4 (4.75-mm) y No. 8.
  - La operación de cribado deberá realizarse por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañados por un efecto de vibrado para mantener la muestra en continuo movimiento sobre la superficie de éste.
  - En ningún caso se girarán o manipularán manualmente las partículas de la muestra a través del tamiz.
  - El cribado se deberá realizar hasta que no más del 1 % de la masa retenida en el tamiz pase durante 1 minuto de tamizado.
2. Determine la masa de cada fracción retenida del material en cada una de las mallas, utilizando una balanza sensible al 0.1%.

Nota: Verifique que la suma de las masas retenidas en cada uno de los tamices usados, sea igual a la masa original de la cantidad de muestra tamizada.

### **6.7.3 Hidrometría y análisis por tamizado de la porción que pasa el tamiz N° 10 (2.00 mm)**

#### **A) Preparación de la solución dispersante (defloculante):**

- Determine una masa de 40 gramos de hexametáfosfato de sodio, utilizando una balanza de 0.01 g de legibilidad.
- Deposite agua destilada o desmineralizada en una probeta de 1000 ml (hasta la mitad de la altura) y agregue el agente dispersor (hexametáfosfato de sodio) en ella (ver figura 6.4).



**Figura 6.4** Preparación de la solución dispersante para el análisis hidrométrico del suelo.

- Agite la solución hasta que el hexametáfosfato de sodio se disuelva completamente y agregue agua hasta completar los 1000 ml.

**B) *Determinación de la corrección por menisco (Cm):***

- Limpie con alcohol la superficie del vástago del hidrómetro y sumérjalo en una probeta de 1000 ml llena con agua destilada o desmineralizada.
- Tome dos lecturas en la escala graduada del hidrómetro, una de ellas en la parte superior del menisco y la otra en la parte inferior (siguiendo la superficie horizontal del agua).

Nota: Debido a que los hidrómetros son graduados para ser leídos al nivel libre del líquido y que no es posible obtener la lectura de forma correcta al formarse el menisco alrededor del vástago durante el ensayo, pues la suspensión de suelo no es transparente; se tomará la lectura en la parte superior del menisco y posteriormente se le sumará la correspondiente corrección.

- Registre la corrección por menisco (Cm) como la diferencia de las lecturas tomadas en el paso anterior.

Nota: La corrección por menisco se deberá sumar a las lecturas realizadas por el hidrómetro durante el ensayo, en las operaciones de cálculo.

**C) *Determinación de la corrección por defloculante (Cd):***

- Limpie con alcohol la superficie del vástago del hidrómetro y sumérjalo en una probeta de 1000 ml parcialmente llena con agua destilada, posteriormente tome una lectura en la parte inferior del menisco en la escala graduada del hidrómetro y luego retírelo de la probeta.
- Agregue 125 ml de la solución dispersante (previamente preparada en el literal A del apartado 6.7.3) y complete el llenado de la probeta con agua.
- Agite la solución y sumerja nuevamente el hidrómetro tomando una nueva lectura en la parte inferior del menisco.
- Registre la corrección por defloculante (Cd) como la diferencia de las lecturas tomadas en los pasos anteriores.

Nota: Se debe determinar una corrección por defloculante, debido a que al utilizar el agente dispersor en el ensayo, la densidad de la suspensión (suelo-agua) se ve incrementada.

**D) *Determinación de la corrección por temperatura (Ct):***

- Prepare una probeta de control de 1000 ml completamente llena que contenga agua destilada y 125 ml del defloculante.
- Introduzca el termómetro en la probeta y tome la temperatura correspondiente a cada una de las lecturas del hidrómetro durante el ensayo, registrándolas en la hoja de datos.
- Determine posteriormente la corrección para cada una de las temperaturas registradas, utilizando la tabla 6.5.

**Tabla 6.5 Factores de corrección por temperatura.**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Ct</b>
15	- 1.10
16	- 0.90
17	- 0.70
18	- 0.50
19	- 0.30
20	0.00
21	+ 0.20
22	+ 0.40
23	+ 0.70
24	+ 1.00
25	+ 1.30
26	+ 1.65
27	+ 2.00
28	+ 2.50
29	+ 3.05
30	+ 3.80

Fuente: Manual de laboratorio de Joseph E. Bowles

**E) *Dispersión e hidrometría de la muestra de suelo***

1. Coloque la cantidad remanente del material obtenido en el paso 8 (apartado 6.7.1) en un beaker de 250 ml y agregue 125 ml de la solución dispersante (previamente preparada en el literal A del apartado 6.7.3). Posteriormente agite utilizando una varilla de vidrio hasta formar una lechada, luego déjela reposar por lo menos 16 h.



**Figura 6.5** Proceso de agitado de la mezcla suelo-agua.

2. Transfiera la lechada (suelo – agua) preparada en el paso anterior al agitador mecánico y enjuague cualquier remanente en el beaker con agua destilada o desmineralizada, luego agregue agua si es necesario, llenando hasta un nivel de 2/3 del vaso del agitador. Posteriormente agite por un periodo de 1 min.
3. Inmediatamente transfiera la lechada a una probeta graduada y agregue agua destilada hasta que su volumen total sea de 1000 ml, enjuagando el vaso para prevenir la pérdida de material remanente.
4. Tape con la palma de la mano o utilizando un tapón el extremo de la probeta, posteriormente agite por un periodo de 1 min, haciéndola girar en un plano vertical de 180 °.

Notas:

- El número de giros durante el minuto deberán ser aproximadamente 60, contando hacia arriba y abajo como dos giros.
- Asegúrese que las partículas remanentes de suelo en el fondo de la probeta se desprendan al realizar el proceso de agitado.



**Figura 6.6** Agitado de la lechada.

5. Coloque la probeta con la lechada sobre una mesa fija y eche a andar simultáneamente el cronómetro.
6. Tome las lecturas del hidrómetro en los siguientes intervalos de tiempo: 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min, insertando cuidadosamente el hidrómetro en aproximadamente 20 a 25 segundos antes de cada primera lectura.
7. Introduzca el termómetro en la probeta de control (preparada en el literal D del apartado 6.7.3) y registre simultáneamente la temperatura con una precisión de 0.5 °C para cada una de las mediciones del hidrómetro.

Notas:

- Si se utiliza el baño María, la probeta debe ser colocada en el baño entre las lecturas de 2 y 5 min.
- Es importante retirar el hidrómetro inmediatamente después de cada lectura y mantenerlo sumergido en la probeta de control mientras se realiza la siguiente lectura.
- Durante el ensayo se tomarán lecturas en la parte superior del menisco formado por la suspensión alrededor del vástago, ya que no es posible tomarlas en la parte inferior de éste.
- La temperatura entre la probeta que contiene la lechada y la probeta de control, no debe diferir en más de 1 °C.

***F) Análisis por tamizado***

8. Vierta la suspensión en el tamiz No. 200 (75 µm) después de tomar la última lectura del hidrómetro.
9. Lave con agua del grifo el material retenido en el tamiz, hasta que ésta se observe limpia, luego deposítelo en un recipiente apropiado de masa conocida y seque en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante. Determine y registre la masa seca de las partículas del suelo ( $M_{SL}$ ).
10. Ordene el juego de mallas a utilizar (No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 140, No. 200 ó No.16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200) colocándolas de forma descendente de mayor a menor abertura junto con el fondo. Posteriormente deposite el material seco en la malla superior y luego coloque la tapa.
11. Coloque el juego de tamices conteniendo la muestra en el Rop – Tap y agítelo hasta que no más del 1 % de la masa retenida en cada tamiz pase durante 1 minuto de tamizado.



**Figura 6.7** Ensamble y tamizado de la muestra utilizando un agitador mecánico.

12. Determine y registre en hoja de datos las masas retenidas en cada una de las mallas, utilizando una balanza de 0.01 g de legibilidad.

## 6.8 Cálculos:

### 6.8.1 *Determinación de la humedad higroscópica*

Calcule la humedad higroscópica del espécimen de ensayo tomado del literal 8, apartado 6.7.1 utilizando la siguiente ecuación:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 6.1}$$

Donde:

$\omega$  = Contenido de humedad higroscópica, %

$M_{h+r}$  = masa del espécimen húmedo + recipiente, g,

$M_{s+r}$  = masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,

$M_r$  = masa del recipiente, g,

$M_w$  = masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,

$M_s$  = masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

**6.8.2 Determinación de la masa seca que pasa el tamiz No. 10 corregida por humedad higroscópica.**

$$M_{sh} = \frac{M_h}{1 + \frac{\omega}{100}} \quad \text{Ec. 6.2}$$

Donde:

$M_{sh}$  = Masa del espécimen seco corregida por humedad higroscópica, g

$M_h$  = Masa del espécimen húmedo del material que pasa la malla No.10, (incluyendo pérdidas por lavado)g,

$\omega$  = Contenido de humedad higroscópica, %

**6.8.3 Determinación de la masa seca total del ensayo.**

$$M_t = M_g + M_{sh} \quad \text{Ec. 6.3}$$

Donde:

$M_t$  = Masa seca total empleada en el ensayo, g

$M_g$  = Masa del material grueso (fracción retenida en la malla No 10), g

$M_{sh}$  = Masa del espécimen seco corregida por humedad higroscópica, g

Nota: Se debe sumar a la masa seca que pasa el tamiz No.10, la masa del material que se pierde durante el proceso de lavado de la porción retenida en la malla No.10.

**6.8.4 Análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz No. 10 (2.00-mm).**

- 1) Verifique la masa seca total sumando la masa retenida en cada una de las mallas de mayor abertura que el tamiz No 10 (valor registrado como la masa del material grueso en el literal 6.7.1, numeral 4) y la masa del material que pasa la malla No. 10 (corregida en numeral 6.8.2).

Nota: Asegúrese que la sumatoria de las masas retenidas en cada una de las mallas reproduzca la masa determinada en 6.7.1, numeral 4, de lo contrario compense el material en exceso o defecto, restando o sumando respectivamente la cantidad necesaria, al tamiz que retiene la mayor cantidad de masa.

- 2) Determine el porcentaje de la fracción que se retiene en el tamiz No.10, dividiendo la masa seca retenida en el tamiz No.10 (valor registrado como la masa del material grueso en el literal 6.7.1, numeral 6) entre la masa seca total y multiplique por 100.



- 3) Determine el porcentaje de la fracción que pasa en el tamiz No.10, dividiendo la masa seca que pasa el tamiz No.10 ( $M_{sh}$ ) entre la masa seca total y multiplique por 100.
- 4) Calcule el porcentaje retenido parcial en cada tamiz, dividiendo la masa retenida en ellos entre la masa seca total del suelo (calculada en el apartado 6.8.3) y multiplique cada resultado por 100. (Ver columna 4 de la tabla 6.6).
- 5) Obtenga el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz, sumando al porcentaje retenido parcial en la malla, el porcentaje retenido parcial en cada una de las mallas anteriores. (Ver columna 5 de la tabla 6.6).
- 6) Determine el porcentaje que pasa cada tamiz, sustrayendo a 100 el porcentaje retenido acumulado de cada malla. (Ver columna 6 de tabla 6.6).

**Tabla 6.6 Cálculo del análisis granulométrico del material que se retiene en el tamiz No.10.**

Malla No. (1)	Abertura, mm (2)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)
			Parcial (4)	Acumulado (5)	
$x_1$	$y_1$	$m_1$	$R_1 = (m_1 / m_t) \times 100$	$Ra_1 = R_1$	$P_1 = 100 - Ra_1$
$x_2$	$y_2$	$m_2$	$R_2 = (m_2 / m_t) \times 100$	$Ra_2 = Ra_1 + R_2$	$P_2 = 100 - Ra_2$
$x_3$	$y_3$	$m_3$	$R_3 = (m_3 / m_t) \times 100$	$Ra_3 = Ra_2 + R_3$	$P_3 = 100 - Ra_3$
:	:	:	:	:	:
No. 10	2.00	$m_{10}$	$R_{10} = (m_{10} / m_t) \times 100$	$Ra_{10} = Ra_n + R_{10}$	$P_{10} = 100 - Ra_{10}$
Pasa No. 10		$m_{10}$			

Nota: La masa del material que pasa la malla No. 10 es la corregida por humedad higroscópica más el material perdido por lavado de la fracción gruesa.

### 6.8.5 Análisis por hidrometría

#### a) Determinación de la masa seca empleada en el análisis hidrométrico:

Calcule la masa de suelo secada al horno usada en el análisis hidrométrico utilizando la ecuación 6.2 del apartado 6.8.2.

#### b) Lectura corregida del hidrómetro:

Determine las lecturas corregidas del hidrómetro por defloculante y temperatura, de la siguiente manera:

$$Rc = Rr - Cd \pm Ct^{13} \quad \text{Ec. 6.4}$$

Donde:

$Rc$  = Lectura corregida del hidrómetro por defloculante y temperatura, g/l

$Rr$  = Lectura real del hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

$Cd$  = Corrección por defloculante (determinada en 6.7.3, literal c), g/l

$Ct$  = Corrección por temperatura (a ser tomada de tabla 6.5, con su respectivo “signo”), g/l.

**c) Determinación del factor de corrección (a):**

El factor de corrección “a”, debe ser determinado conforme a los valores de corrección que se muestran en la Tabla 6.7, siempre y cuando  $G_s \neq 2.65$ .

**Tabla 6.7 Valores de factor de corrección, a, para diferentes gravedades específicas del suelo**

Gravedad específica	Factor de corrección*
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

\* Valor a ser empleado en la ecuación para la determinación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión, cuando se está usando el hidrómetro 152 H.

**d) Determinación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión:**

Calcule el porcentaje de suelo que permanece en suspensión del material de la hidrometría, utilizando la siguiente ecuación:

<sup>13</sup> Ecuación tomada del Manual de Laboratorio de Joseph E. Bowles

Para hidrómetro 152H:

$$P = \left[ \frac{R_c \times a}{M_{sh}} \right] \times 100 \quad \text{Ec. 6.5}$$

Donde:

$P$  = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión,

$R_c$  = Lectura corregidas del hidrómetro por defloculante y temperatura, calculada en la ecuación 6.3, g/l

$a$  = Factor de corrección determinado según la tabla 6.7,

$M_{sh}$  = Masa del espécimen seco corregido por humedad higroscópica, utilizado en el proceso hidrométrico, según la ecuación 6.2, g.

Nota: Para el cálculo del porcentaje de suelo que permanece en suspensión al realizar el ensayo utilizando un hidrómetro 151 H, véase el apartado 14, literal 14.3 de la norma ASTM D 422.

**e) Determinación del que permanece en suspensión (% que pasa), referido al material que pasa la malla No. 200:**

Calcule el porcentaje de suelo que permanece en suspensión del material de la hidrometría referido al % de suelo que pasa la malla No. 200, utilizando la siguiente ecuación:

$$P_p = \frac{P}{100} \times \% \text{ que pasa la malla No.200} \quad \text{Ec. 6.6}$$

Donde:

$P_p$  = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión,

$P$  = Porcentaje de suelo que permanece en suspensión al nivel en que el hidrómetro mide la densidad de la suspensión,

**f) Determinación del valor de la lectura “R” del hidrómetro, corregida por menisco:**

Calcule el valor de la lectura “R” del hidrómetro, corregida por menisco empleando la siguiente ecuación:

$$R = Rr + Cm \quad \text{Ec. 6.7}$$

Donde:

$R$  = Lectura del hidrómetro corregida por menisco, g/l

$Rr$  = Lectura real del hidrómetro (tomada durante el ensayo), g/l

$Cm$  = Corrección por menisco, g/l.

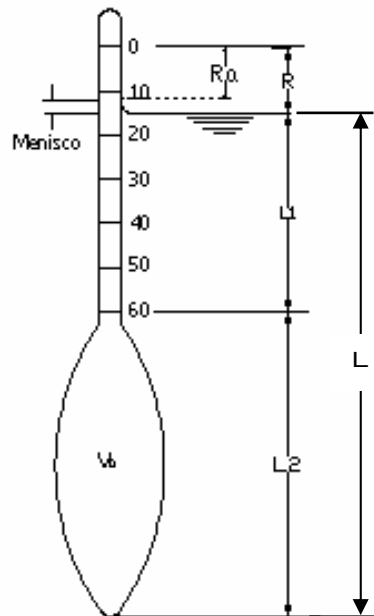
**g) Determinación de la distancia de caída de las partículas o profundidad efectiva ( $L$ ).**

Existen dos formas para determinar dicho valor, siendo éstas las siguientes:

**❖ De forma gráfica:**

1. Seleccione dos pares ordenados de las lecturas del hidrómetro ( $R$ ) en el eje de las abscisas y dos valores de  $L$  correspondientes a dichas lecturas en el eje de las ordenadas.

De acuerdo a la norma ASTM D 422, para el hidrómetro 152H se tiene que:



**Figura 6.8** Dimensiones y términos del hidrómetro.

Donde:

$L$  = Profundidad efectiva, cm,

$L_1$  = Distancia desde la parte superior del bulbo (en la lectura 60) hasta la parte inferior del menisco de una lectura en el hidrómetro, cm,

$L_2$  = Longitud del bulbo del hidrómetro, cm, ( $L_2 = 14.0$  cm)

$V_b$  = Volumen del bulbo del hidrómetro,  $\text{cm}^3$ , ( $V_b = 67.0$   $\text{cm}^3$ )

$A_p$  = Área de la sección transversal de la probeta,  $\text{cm}^2$ , ( $A_p = 27.8$   $\text{cm}^2$ )

$R$  = Lectura del hidrómetro, g/l.

Por ejemplo: para  $R = 0$  g/l;  $L_1 = 10.5$  cm,

para  $R = 50$  g/l;  $L_1 = 2.3$  cm

2. Utilice la siguiente ecuación para el cálculo de los valores de la profundidad efectiva ( $L$ ):

$$L = L_1 + \frac{1}{2} \left[ L_2 - \left( \frac{V_b}{A_p} \right) \right] \quad \text{Ec. 6.8}$$

Nota: Cuando se deseen obtener del gráfico las distancias  $L$  para diferentes valores de  $R$ , éstos se deberán corregir únicamente aplicando la corrección por menisco.

3. Construya el gráfico  $R$  vs  $L$ , planteando los siguientes pares ordenados:

"R", (g / lt)	"L", (cm)
0	$L = L_1 + \frac{1}{2} \left[ L_2 - \left( \frac{V_b}{A_p} \right) \right]$
50	$L = L_1 + \frac{1}{2} \left[ L_2 - \left( \frac{V_b}{A_p} \right) \right]$

❖ **Usando la tabla 6.8:**

Seleccione el valor de  $L$  según la lectura real del hidrómetro expuesta en la siguiente tabla:

**Tabla 6.8 Valores de profundidad efectiva basados en el hidrómetro y la probeta de sedimentación de tamaños especificados.**

Hidrómetro 152H			
Lectura real del hidrómetro	Profundidad efectiva, L, cm	Lectura real del hidrómetro	Profundidad efectiva, L, cm
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16.0	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.6
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15.0	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14.0	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13.0	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12.0	57	7.0
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota: Para los valores de profundidad efectiva del hidrómetro 151 H, véase el complemento de la tabla anterior en la norma ASTM D 422.

***h) Diámetro de las partículas del suelo.***

Determine el diámetro de una partícula correspondiente al porcentaje calculado por una lectura de hidrómetro, utilizando la siguiente ecuación (ley de Stokes`):

$$D = \sqrt{[30n / 980 (G - G_1)] \times L / t} \quad \text{Ec. 6.9}$$

o

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

Ec. 6.10

Donde:

$D$  = Diámetro de la partícula, mm,

$n$  = Coeficiente de viscosidad del medio en suspensión (en este caso agua),  
poises,

$L$  = Distancia desde la superficie de la suspensión hasta el nivel en el que la  
densidad ha sido determinada (profundidad efectiva), cm. (ver tabla 6.8 o  
calculada de gráfico R vs L),

$t$  = Intervalo de tiempo desde el inicio de la sedimentación hasta el registro de  
la lectura, min,

$G$  = Gravedad específica de las partículas del suelo,

$G_1$  = Gravedad específica (densidad relativa) del medio suspendido (el valor  
puede usarse como 1.000 para propósitos prácticos),

$K$  = Constante que depende de la temperatura de la suspensión y gravedad  
específica de las partículas del suelo, (a ser determinada de la tabla 6.9).

**Tabla 6.9 Valores de  $K$  para el cálculo del diámetro de la partícula del análisis hidrométrico.**

Temperatura, °C	Gravedad específica de las partículas del suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01255	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Fuente: Norma ASTM D 422-63, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**6.8.6 Análisis de tamizado de las partículas que pasan el tamiz No. 10 (2.00-mm)**

- a) Determine la masa del material que pasa la malla No. 200 por lavado restando a la masa seca corregida por humedad higroscópica ( $M_{sh}$ ) utilizada en la hidrometría, la masa seca obtenida después de lavada y secada en el horno ( $M_{SL}$ ) luego del análisis hidrométrico.
- b) Calcule la masa total que pasa la malla No. 200 sumando la masa del material que pasa la malla No. 200 por lavado (obtenida en el paso anterior) y la masa que pasa la malla No. 200 obtenida por el proceso de tamizado.
- c) Verifique la masa total del material empleado en el análisis por tamizado de la porción que pase el tamiz No 10 (determinada en el apartado 6.7.3), sumando la masa retenida en cada una de las mallas y la masa total del material que pasa la malla No. 200 (obtenida en el paso anterior).

Nota: En caso que ambas cantidades difieran, compense el material en exceso o defecto, restando o sumando respectivamente al tamiz que retiene la mayor cantidad de masa.

- d) Calcule el porcentaje retenido parcial en cada tamiz, dividiendo la masa retenida en cada uno de ellos entre la masa total del suelo (calculado en el caso anterior) y multiplique el resultado por 100. (Ver columna 4 de tabla 6.10).
- e) Obtenga el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz sumando al porcentaje retenido parcial en cada malla, el porcentaje retenido parcial en cada una de las mallas anteriores. (Ver columna 5 de tabla 6.10).
- f) Determine el porcentaje que pasa cada tamiz, sustrayendo a 100 el porcentaje retenido acumulado de cada malla. (Ver columna 6 de tabla 6.10).
- g) Calcule el porcentaje que pasa cada tamiz referido a la muestra total (calculada en el apartado 6.8.3) multiplicando el porcentaje que pasa cada tamiz por el % que pasa la malla No.10 (determinado en el apartado 6.8.4, literal C) y divida este resultado entre 100.



**Tabla 6.10 Cálculo del análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No.10.**

Malla No. (1)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)	% que pasa (referido a la muestra total) (7)
		Parcial (4)	Acumulado (5)		
No. 10	$m_{10}$	0	0	$P_{10} = 100$	$P_{10}$
$x_{11}$	$m_{11}$	$R_{11} = (m_{11}/m_t) \times 100$	$Ra_{11} = Ra_{10} + R_{11}$	$P_{11} = 100 - Ra_{11}$	$(P_{11} \times P_{10})/100$
$X_{12}$	$m_{12}$	$R_{12} = (m_{12}/m_t) \times 100$	$Ra_{12} = Ra_{11} + R_{12}$	$P_{12} = 100 - Ra_{12}$	$(P_{12} \times P_{10})/100$
:	:	:	:	:	:
No. 200	$m_{200}$	$R_{200} = (m_{200}/m_t) \times 100$	$Ra_{200} = Ra_n + R_{200}$	$P_{200} = 100 - Ra_{200}$	$(P_{200} \times P_{10})/100$
Pasa No. 200	$m_{200}$				
Suma	$m_t$				

Nota: La masa del material que pasa la malla No 200, debe ser obtenida de la sumatoria de la masa que pasa el tamiz No. 200 por la operación de lavado luego de la hidrometría y la masa por tamizado.

### 6.8.7 Determinación del gráfico del análisis granulométrico

Construya un gráfico con los resultados del análisis granulométrico (tamizado e hidrometría), trazando como abscisas las aberturas de las mallas en una escala logarítmica y como ordenadas los porcentajes que pasan cada una de las mallas correspondientes, en una escala aritmética.

### 6.9 Ejemplo:

6.9.1 Determinación de las fracciones de material que pasan y se retienen en la malla No 10 (por tamizado).

Masa total inicial de suelo = 9,686 g

Masa de suelo (material grueso) retenido en la malla No 10 = 5,253 g

Masa de suelo que pasa la malla No 10 ( $M_h$ ) = 4,433 g

Masa material grueso retenido en la malla No 10 (luego de lavado) = 5,018 g

6.9.2 Determinación de la masa total que pasa el tamiz No 10 (en condición húmeda).

Pérdidas del material por lavado del suelo retenido en No 10 = 5,253 – 5,018  
= 235 g

Luego:

$M_h = 4,433 \text{ g} + 235 \text{ g} = 4,668 \text{ g}$

6.9.3 *Determinación de la humedad higroscópica (del material que pasa la No.10) utilizando la ecuación 6.1.*

Masa de tara (#101)= 10.59 g

Masa de tara (#105)= 10.48 g

Masa de suelo húmedo + tara (#101)= 25.01 g

Masa de suelo húmedo + tara (#105)= 25.19 g

Masa de suelo seco + tara (#101)= 24.49 g

Masa de suelo seco + tara (#105)= 24.66 g

$$\omega\%_1 = \frac{25.01 - 24.49}{24.49 - 10.59} \times 100 = 3.74 \%$$

$$\omega\%_2 = \frac{25.19 - 24.66}{24.66 - 10.48} \times 100 = 3.74 \%$$

$$\omega\%_{prom} = 3.74 \%$$

6.9.4 *Determinación de la masa seca total que pasa el tamiz No 10, corregida por humedad higroscópica, según la ecuación 6.2:*

$$M_{sh} = \frac{4,668}{1 + \frac{3.74}{100}} = 4,499.71 \text{ g}$$

6.9.5 *Determinación de la masa total en condición seca, (Mt), utilizando la ecuación 6.3:*

$$M_t = 4499.71 + 5018$$

$$M_t = 9517.71 \text{ g}$$

6.9.6 *Determinación de los porcentajes de las masas retenidas y que pasan el tamiz No 10, respecto a la muestra total del ensayo.*

$$\% \text{ retenido en la malla No. 10} = \frac{5018}{9526.18} \times 100 = 52.68 \approx 53\%$$

$$\% \text{ que pasa en la malla No. 10} = \frac{4508.18}{9526.18} \times 100 = 47.32 \approx 47 \%$$

6.9.7 Cálculo de los porcentajes retenido, acumulado y que pasa cada una de las mallas, del Análisis por tamizado, de la porción retenida en el tamiz No. 10 (2.00 mm)

Del proceso de tamizado se obtuvieron los siguientes datos:

Malla No. (1)	Masa retenida, g (3)	Compensación
1 1/2"	--	
1"	698.6	
3/4"	550.4	
3/8"	1126.6	
No. 4	1533.4	18.27(-)
No. 8	830.3	
No. 10	288.5	
Pasa la No. 10	4,508.18	

$$\text{Masa total} = 698.6 + 550.4 + 1126.6 + 1533.4 + 830.3 + 288.5 + 4508.18$$

$$= 9535.98 \text{ g} > 9517.71 \text{ g} \rightarrow \text{es necesario restar su diferencia (18.27 g)}$$

a la mayor masa retenida (Tamiz No 4).

$$\text{- \% retenido parcial en malla de 1"} = \frac{698.6}{9517.71} \times 100 = 7.34 \approx 7 \%$$

De igual manera se calculan los % retenidos parciales de cada una de las mallas restantes (ver hoja 6.1)

$$\text{- \% retenido acumulado en malla de 1"} = 0 + 7 = 7.0 \%$$

De igual manera se calculan los % retenidos acumulados de cada una de las mallas restantes (ver hoja 6.1)

$$\text{- \% que pasa la malla de 1"} = 100 - 7.0 = 93 \%$$

De igual manera se calculan los % que pasa de cada una de las mallas restantes (ver hoja 6.1)

6.9.8 Análisis por hidrometría

- Determinación de la masa seca empleada en el análisis hidrométrico (corregida por humedad)

$$M_{shh} = \frac{100}{1 + \frac{3.74}{100}} = 96.39 \text{ g}$$

- Corrección por menisco:

$$C_m = \text{lectura inferior} - \text{lectura superior} = 1 - 0$$

$$C_m = 1.0 \text{ g}$$

- Corrección por defloculante:

$$C_d = \text{lectura inferior} - \text{lectura superior} = 12 - 6$$

$$C_d = 6.0 \text{ g}$$

- Corrección por temperatura para cada uno de los valores registrados en el ensayo

(valores tomados de la tabla 6.5):

$$\text{Para una } T = 23 \text{ }^\circ\text{C}, C_t = +0.70 \text{ g}$$

$$\text{Para una } T = 24 \text{ }^\circ\text{C}, C_t = +1.00 \text{ g}$$

$$\text{Para una } T = 25 \text{ }^\circ\text{C}, C_t = +1.30 \text{ g}$$

- Determinación de la lectura del hidrómetro corregida ( $R_c$ ):

Utilizando la ecuación 6.4 se tiene:

$$R_c = 24 - 6.0 + 1.3$$

$$R_c = 19.3 \text{ g}$$

De igual manera se calcula para cada una de las lecturas reales del hidrómetro restantes (ver hoja 6.2)

#### 6.9.9 Determinación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión (% que pasa), referido a la muestra empleada en la hidrometría; utilizando la ecuación 6.5.

Valor del factor de corrección  $a = 0.99$  (tomado de Tabla 6.7), debido a que  $G_s = 2.69$ .

Para  $R_c = 19.3 \text{ g}$  se tiene:

$$P = \frac{19.3 \times 0.99}{96.39} \times 100 = 19.82 \%$$

De igual manera se calcula para cada una de las lecturas corregidas del hidrómetro restantes (ver hoja 6.2)

6.9.10 *Determinación del porcentaje de suelo que permanece en suspensión (% que pasa), referido a la muestra total (% que pasa la malla No.200) empleada en el ensayo granulométrico; utilizando la ecuación 6.6.*

Como el % de material que pasa la malla No 200 = 14 (tomado de hoja 6.2),

Tenemos:

$$P_p = \frac{19.82}{100} \times 14 = 2.77 \%$$

De igual manera se calcula para cada uno de los porcentajes restantes (ver hoja 6.2)

6.9.11 *Determinación del valor de la lectura "R" del hidrómetro, corregida por menisco, utilizando la ecuación 6.7.*

Para  $R_r = 24$  g se tiene:

$$R = 24 + 1.0 = 25 \text{ g}$$

De igual manera se calcula para cada una de las lecturas "R" del hidrómetro restantes (ver hoja 6.2).

6.9.12 *Determinación de la distancia de caída de las partículas ó profundidad efectiva (L), según tabla 6.8.*

Para  $R_r = 24$  g se tiene:

$$L = 12.4 \text{ cm}$$

De igual manera se calcula la distancia de caída de las partículas ó profundidad efectiva para cada uno de los datos restantes (ver hoja 6.2).

6.9.13 *Determinación del diámetro de las partículas del suelo, utilizando la ecuación 6.9:*

Como el valor de la Constante  $K$  es obtenido por medio de la tabla 6.9, tendremos que interpolar para  $G_s = 2.65$  y  $G_s = 2.70$  para una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , debido a que la tabla no presenta un valor para  $G_s = 2.69$ , obteniéndose  $K = 0.01271$ .

Para  $L = 12.4$  cm,  $t = 2$  min se tiene:

$$D = 0.01271 \times \sqrt{\frac{12.4}{2}} = 0.03165 \text{ mm}$$

De igual manera se tendrá que interpolar para este intervalo de Gs con cada valor diferente de temperatura registrado (ver hoja 6.2).

*6.9.14 Cálculo de los porcentajes retenido, acumulado y que pasa en cada una de las mallas, del Análisis de tamizado de la porción que pasa el tamiz No. 10 (2.00 mm)*

Del proceso de tamizado de la muestra remanente de la hidrometría, se obtuvieron los siguientes datos:

<b>Malla No. (1)</b>	<b>Masa retenida, g (3)</b>	<b>Compensación</b>
No. 8	-----	
No. 16	12.27	
No. 30	15.14	
No. 50	18.60	5.15(-)
No. 100	15.85	
No. 200	11.55	
Pasa la No. 200	0.91	

- Masa seca obtenida después de lavado de la muestra de hidrometría = 69.17 g
- Pérdida de material por lavado de la muestra de hidrometría = 96.39–69.17 =27.22 g

Luego:

Masa total del material que pasa la malla No 200. = 27.22 +0.91 = 28.13 g y

Compensación del material (en el tamiz de mayor masa retenida:)

Masa total = 12.27+15.14+18.60+15.85+11.55+28.13

= 101.54g > 96.39 g → es necesario restar su diferencia (5.15 g ) a la mayor masa retenida (Tamiz No 50).

Finalmente:

- % retenido parcial en malla No 16 =  $\frac{12.27}{96.39} \times 100 = 12.73 \approx 13 \%$

De igual manera se calculan los % retenidos parciales de cada una de las mallas restantes (ver hoja 6.1, primera tabla)

- % retenido acumulado en malla No 16 = 0 + 13 = 13.0 %

De igual manera se calculan los % retenidos acumulados de cada una de las mallas restantes (ver hoja 6.1)

- % que pasa la malla No 16 =  $100 - 13 = 87$

De igual manera se calculan los % que pasa, referido a la muestra empleada en el tamizado, de cada una de las mallas restantes (ver hoja 6.1)

*6.9.15 Determinación del porcentaje de suelo que pasa, referido a la muestra total empleada en el ensayo granulométrico; como sigue:*

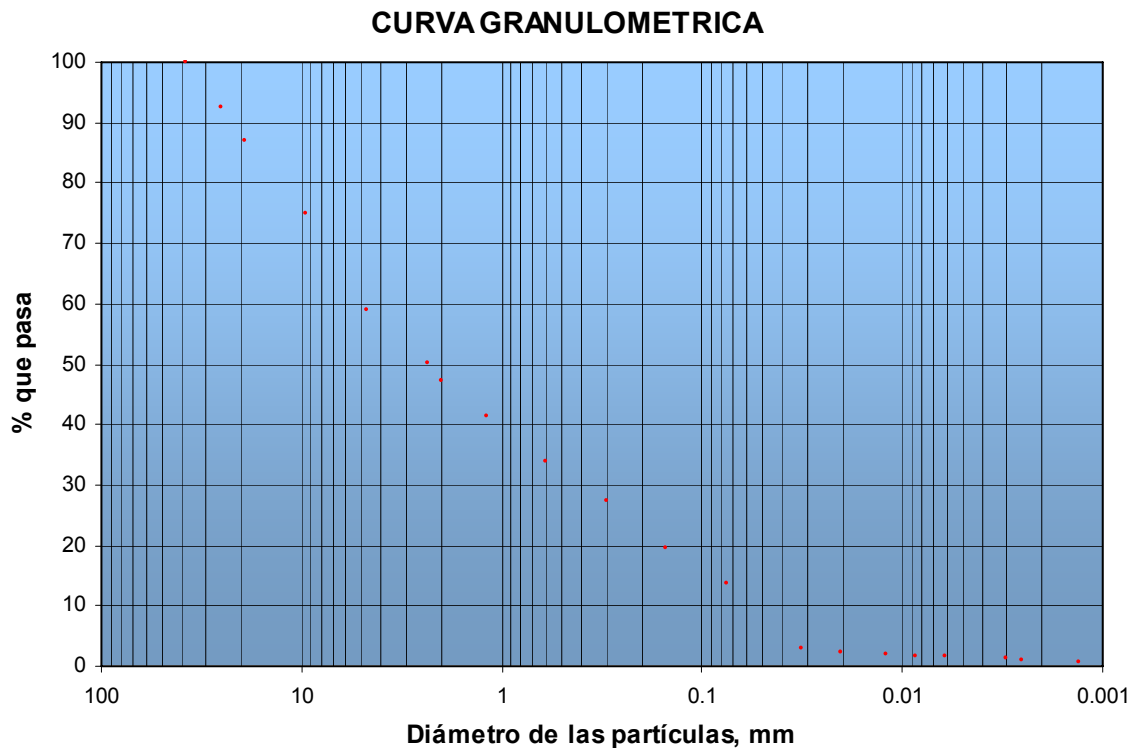
Como el % de material que pasa la malla No 10 = 47 (tomado de hoja 6.1, primera tabla),

Tenemos:

$$\% \text{ que pasa (referido a muestra total)} = \frac{87 \times 47}{100} = 40.89 \approx 41\%$$

De igual manera se calcula para cada uno de los porcentajes restantes (ver hoja 6.1, segunda tabla).

*6.9.16 Construcción del grafico del análisis granulométrico del suelo, utilizando los resultados obtenidos en las hojas 6.1 y 6.2.*



**Figura 6.9** Curva granulométrica del suelo ensayado.

### 6.10 Cuestionario:

- ❖ ¿Cuál es el alcance del método de ensayo del análisis del tamaño de las partículas, según la norma ASTM D 422?
- ❖ Mencione el nombre de cinco equipos que se utilizan en este método de ensayo.
- ❖ Mencione dos aplicaciones del ensayo en el análisis del tamaño de las partículas de un suelo.
- ❖ Describa las partes en que se conforma un hidrómetro.
- ❖ ¿Cómo se determinan las correcciones por menisco ( $C_m$ ), temperatura ( $C_t$ ) y defloculante ( $C_d$ )?
- ❖ ¿Cómo se prepara la solución dispersante (defloculante) a utilizar en el análisis hidrométrico?

### 6.11 Contenido del reporte:

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Tamaño máximo de las partículas, porcentaje que pasa o retiene cada tamiz.
- ❖ Descripción de las partículas de arena y grava, como su forma y dureza.
- ❖ Valor de la gravedad específica.
- ❖ Tipo y cantidad de agente dispersante empleado.
- ❖ Dispositivo de dispersión usado y duración del periodo de dispersión.
- ❖ Gráfico.

Nota: La tabulación del gráfico representa la graduación de la muestra ensayada. Si partículas más grandes que las contenidas en la muestra de suelo fueron removidas antes del ensayo, el reporte deberá establecer la cantidad y el tamaño máximo.

- ❖ Resultados leídos del gráfico reportados como sigue, expresados en porcentaje:
  - (1) Grava, material que pasa la malla de 3" y es retenido en la malla No. 4
  - (2) Arena, material que pasa la malla No. 4 y es retenido en la malla No. 200
    - (a) Arena Gruesa, que pasa la malla No. 4 y es retenido en la No. 10
    - (b) Arena Media, que pasa la malla No. 10 y es retenido en la No. 40
    - (c) Arena Fina, que pasa la malla No. 40 y es retenido en la malla No. 200
  - (3) Tamaño de limo, menor que 0.074 mm y mayor que 0.005 mm
  - (4) Tamaño de arcilla, menor que 0.005 mm
  - (5) Coloides, menor que 0.001 mm.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS  
(Basada en ASTM D 422-63, Reaprobada en 1998)**

Proyecto : Residencia Álvarez  
 Descripción del suelo : Arena Bien Graduada con 14 % de finos y color café claro  
 Lugar de procedencia : Santa Elena Fecha de ensayo : 22 / 02/2006  
 No. de sondeo : 1 Laboratorista : S. G., O. L.  
 Calculó : S. G., O. L.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ #10

Masa inicial : 9517.71 g

Malla No. (1)	Abertura (mm) (2)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)
			Parcial (4)	Acumulado (5)	
1 ½"	37.5 mm	0	0	0	100
1"	25.0 mm	698.6	7	7	93
¾"	19.0 mm	550.4	6	13	87
3/8"	9.5 mm	1126.6	12	25	75
No. 4	4.75 mm	1533.4-18.27=1515.13	16	41	59
No. 8	2.36 mm	830.3	9	50	50
No. 10	2.00mm	288.5	3	53	47
Pasa la No. 10		4,508.18	47	100	0
Suma		9,517.71	100		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #10

Masa inicial : 96.39 g

Malla No. (1)	Abertura (mm) (2)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)	% que pasa referido a muestra total (7)
			Parcial (4)	Acumulado (5)		
					100	
No. 16	1.18 mm	12.27	13	13	87	41
No. 30	600 μm	15.14	16	28	72	34
No. 50	300 μm	13.45	14	42	58	27
No. 100	150 μm	15.85	16	59	41	19
No. 200	75 μm	11.55	12	71	29	14
No. 200		28.13	29	100	0	0
Suma		96.39	100			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

HOJA 6.1

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS  
 (Basada en ASTM D 422-63, Reaprobada en 1998)**

Proyecto : Residencia Álvarez  
 Descripción del suelo : Arena Bien Graduada con 14 % de finos y color café claro  
 Lugar de procedencia : Santa Elena Fecha de ensayo : 22 / 02/2006  
 No. de sondeo : 1 Laboratorista : S. G., O. L.  
 Calculó : S. G., O. L.

**ANALISIS HIDROMETRICO**

Nº de Hidrómetro: 1 Corrección por menisco, Cm: 1  
 Gs de los sólidos: 2.69 Corrección por defloculante, Cd: 6  
 Masa seca: 96.39 g Factor de corrección (a) : 0.99

Temperatura (°C)	Corrección por temperatura (Ct)
23	0.7
24	1
25	1.3

Fecha	tiempo transcu (t), min	T (°C)	Lectura real del hidrómetro	Lectura corregida del hidrómetro (Rc)	% que pasa	Hidrómetro corregido por menisco (R)	L (cm)	√L/t	K	% que pasa (referido a % que pasa No. 200)	D (mm)
	2	25	24	19.3	19.82	25	12.4	2.49	0.01271	3	0.0316
	5	25	21	16.3	16.74	22	12.9	1.61	0.01271	2	0.0204
	15	25	19	14.3	14.69	20	13.2	0.94	0.01271	2	0.0119
	30	25	17	12.3	12.63	18	13.5	0.67	0.01271	2	0.0085
	60	25	16	11.3	11.61	17	13.7	0.48	0.01271	2	0.0061
	250	25	13	8.3	8.52	14	14.2	0.24	0.01271	1	0.0030
	370	24	12	7	7.19	13	14.3	0.20	0.01286	1	0.0025
	1440	23	10	4.7	4.83	11	14.7	0.10	0.01301	1	0.0013

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO N° 7

### DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (BASADA EN ASTM D 4318-00)

#### 7.1. Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, conforme a la norma ASTM D 4318-00.
- ❖ Definir los conceptos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, según la norma ASTM D 4318-00.
- ❖ Determinar en el laboratorio el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

#### 7.2. Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 421 Norma para la práctica de preparación seca de muestras de suelo para el análisis del tamaño de las partículas y determinación de constantes del suelo.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 4318 Método de ensayo estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

#### 7.3. Definiciones:

##### ***Suelo plástico:***

Es un suelo que tiene un rango de contenido de humedad sobre el que presenta plasticidad y mantiene su forma al secarse.

##### ***Límites de Atterberg (Límites de consistencia):***

Definidos así por Alberto Atterberg. Originalmente delimitó seis límites en los suelos de grano fino, siendo éstos: límite superior de flujo viscoso, límite líquido, límite de pegajosidad, límite de cohesión, límite plástico y límite de contracción. Generalmente en aplicaciones recientes de ingeniería, el término “Límites de Atterberg” se refiere

normalmente sólo al límite líquido y al límite plástico, en algunas referencias, el límite de contracción.

***Consistencia:***

Es la facilidad relativa con la que un suelo puede deformarse.

***Límite líquido (LL,  $w_L$ ):***

Es el contenido de humedad de un suelo expresado en porcentaje; definido arbitrariamente como la frontera entre sus estados plástico y semilíquido.

Nota: La resistencia al corte no drenada de un suelo en su límite líquido se considera que es aproximadamente de 2 kPa (0.28 psi).

***Límite plástico (LP,  $w_P$ ):***

Es el contenido de humedad de un suelo expresado en porcentaje; definido arbitrariamente como la frontera entre los estados semisólido y plástico.

***Índice plástico (IP):***

Se define como el rango de contenido de humedad de un suelo, en el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

***Índice de liquidez (IL):***

Es la relación expresada como porcentaje del contenido de agua de un suelo sin su límite plástico entre el índice de plasticidad.

***Número de actividad (A):***

Es la relación del índice de plasticidad de un suelo respecto del porcentaje en masa de las partículas que posean un diámetro equivalente menor que 2  $\mu\text{m}$ .

**7.4. Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.
- Este método proporciona dos procedimientos para la preparación de especímenes de ensayo; siendo éstos: método de preparación húmeda y método de preparación seca.

Nota: El método a emplear para preparar los especímenes deberá ser establecido por el solicitante o interesado; sin embargo, cuando se no se especifique ningún método, se empleará el método de preparación húmeda.

- Debido a que los valores de los límites líquido y plástico obtenidos de suelos secados antes de ser ensayados, podrían ser considerablemente diferentes de los valores obtenidos de muestras no secadas; no se deberá permitir muestras de suelo seco en la determinación de los límites líquido y plástico, si estos valores serán utilizados para correlacionar o estimar el comportamiento ingenieril del suelo en su estado de humedad natural, a menos que específicamente se deseen datos de muestras secas.
- Este método de ensayo proporciona dos procedimientos para determinar el límite líquido de un suelo, los cuales son: ensayo por múltiples puntos (método A) y ensayo por un punto (método B).

Notas:

- El procedimiento a emplear deberá ser especificado por el solicitante del ensayo y en el caso de que no sea definido, se deberá utilizar el método A.
- Cuando se precise determinar el límite líquido de suelos orgánicos, suelos de ambientes marinos y cuando los resultados del ensayo estén sujetos a discusión o se requiera una mayor precisión, se recomienda utilizar el procedimiento del método A.
- Cuando se pretenda aplicar el método B, debe considerarse que sea realizado por operadores expertos, esto debido a que en dicho procedimiento se requiere que el operador conozca cuando el espécimen de ensayo está aproximadamente en su límite líquido.
- Los límites líquido y plástico de un suelo (junto con el límite de contracción) a menudo son conocidos como Límites de Atterberg. Estos límites diferencian las fronteras de algunos estados de consistencia de suelos plásticos.
- Los métodos descritos en este ensayo son realizados en la porción de suelo que pasa el tamiz No. 40 (425- $\mu$ m). Por consiguiente, la contribución relativa de esta porción de suelo a las propiedades de la muestra, debe ser considerada en conjunto al usar estos ensayos para evaluar propiedades del suelo.

#### **7.5. Resumen del método:**

Un espécimen de suelo es cribado por el tamiz No 40 (425  $\mu$ m), para remover cualquier material retenido en él. El límite líquido es determinado realizando ensayos en los que una

porción del espécimen es extendida en una copa (Copa de Casagrande), luego es dividida en dos utilizando un ranurador y posteriormente es sacudido el suelo por medio de repetidos golpes proporcionados a la copa hasta que las dos mitades de la muestra se unan una distancia de 1.3 cm (½ pulgada). El límite líquido determinado con múltiples puntos (Método A) requiere tres o más ensayos sobre un rango de contenidos de humedad a ser realizados y los datos son graficados o calculados para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado. El límite líquido por un punto (Método B), utiliza el dato de dos ensayos a un contenido de humedad multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido.

El límite plástico es determinado presionando y enrollando una fracción pequeña de suelo plástico en forma de hilo de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pul) hasta que el contenido de agua es reducido a un punto en el cual, éste se desmorona y ya no puede ser alargado por presión y re-enrollado. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

#### **7.6. Aplicación e importancia del método:**

- Este método de ensayo puede ser usado como parte integral de varios sistemas de clasificación de uso ingenieril; para caracterizar las fracciones de suelos de grano fino y para especificar dicha fracción en materiales de construcción.
- Los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, son utilizados de forma individual o conjunta con otras propiedades de los suelos; con el propósito de correlacionar el comportamiento ingenieril de éstos, tales como: la compresibilidad, conductividad hidráulica (permeabilidad), compactabilidad, contracción- expansión y resistencia al corte.
- El contenido de humedad y los límites líquido y plástico de un suelo, pueden ser empleados para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. Así mismo, el índice de plasticidad y el porcentaje de partículas menores que 2  $\mu\text{m}$ , pueden ser utilizados para determinar su número de actividad.
- Estos métodos son algunas veces usados para evaluar las características de intemperismo de los materiales arcillosos, cuando son sometidos a repetidos ciclos de secado y humedecido, donde los límites líquidos de estos materiales tienden a incrementarse.

Nota: Se considera que la cantidad de aumento de los valores del límite líquido, es una medida de la susceptibilidad de las arcillas al intemperismo.

- Los límites líquidos de un suelo que contiene cantidades sustanciales de materia orgánica, dramáticamente son disminuyen cuando el suelo es secado al horno antes del ensayo. La comparación entre el límite líquido de una muestra, antes y después de secada al horno, puede ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica del suelo (ver Norma D 2487).

### 7.7. Material y equipo:

#### **LIMITE LÍQUIDO:**

- *Muestra de suelo:*

Representativa de campo, manteniendo su contenido de humedad previo a la realización del ensayo (si será utilizado el método de preparación húmeda, ver 7.9.1, A).

Notas:

- Las muestras deberán ser tomadas de cualquier localización que satisfaga las necesidades del ensayo.
  - Para la preservación y selección de muestras de varios tipos de operación en el muestreo, deberán ser usadas siempre como guía, las prácticas C 702, D 75 y D 420.
  - Si durante el manejo de las muestras de suelo se ha preservado su estratificación natural, éstas deberán guardarse separadamente y el ensayo se realizará al estrato de interés, con la menor contaminación posible de otros estratos.
  - Cuando una mezcla de materiales será utilizada en la construcción, combine varios componentes en proporciones tales que la muestra resultante represente la construcción real del caso.
  - Si los datos de este ensayo serán usados para correlación con otros datos ya sea de laboratorio o campo, puede ser utilizado el mismo material.
- *Agua:*  
Destilada o desmineralizada.
  - *Aparato del límite líquido (Copa de Casagrande):*  
Es un dispositivo mecánico, constituido de una copa de latón suspendida de un carruaje, diseñado para controlar su caída hacia una base de caucho duro. El dispositivo puede ser operado manualmente o a través de un motor eléctrico.

– *Calibrador:*

Fabricado de metal y utilizado para ajustar la altura de caída de la copa.

– *Ranurador plano:*

Es una herramienta fabricada de plástico o metal no corrosivo. El ranurador puede pero no necesariamente, tener incorporado el calibrador para el ajuste de la altura de caída del aparato para determinar el límite líquido.



**Figura 7.1** Ranurador plástico utilizado para la abertura de la ranura del suelo.

– *Recipientes para contenido de humedad:*

Latas de acero inoxidable o aluminio, resistentes a la corrosión y que posean tapaderas ajustables. Son apropiados los recipientes con dimensiones de 1 pulg de altura y 2 pulg de diámetro.

– *Balanza:*

Con una legibilidad de 0.01 g.

– *Recipiente para mezclado y almacenamiento:*

De material de porcelana, vidrio o plástico; de aproximadamente 4½ pulg de diámetro.

Nota: El recipiente no deberá contaminar de ninguna manera el espécimen y prevendrá la pérdida de humedad durante su almacenamiento. Adicionalmente, una bolsa plástica suficientemente grande para introducir el recipiente con la muestra, debe ser considerada adecuada para almacenar el espécimen.

– *Espátula o cuchillo:*

Con dimensiones de aproximadamente 2 cm de ancho y 10 a 13 cm de largo.



- *Tamices:*  
Tamiz No. 40 (425  $\mu\text{m}$ ) y No. 10 (2.00 mm), de 8” de diámetro y 2” de altura.
- *Botella de lavado:*  
Para agregar cantidades controladas de agua al suelo y lavado de finos de las partículas gruesas.
- *Horno de secado:*  
Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.
- *Charola de lavado:*  
De fondo plano, redonda, con una profundidad de 7.6 cm y ligeramente más grande en el fondo que un tamiz que 8 pulg de diámetro.
- *Mortero y pistilo:*  
Ambos son de porcelana, siendo el mortero el recipiente donde se coloca y tritura el suelo y el pistilo es el utilizado para desmenuzar.



**Figura 7.2** Equipo utilizado durante el ensayo del límite líquido; a) Copa de Casagrande; b) tamiz No.40; c) piseta d) recipiente de porcelana; e) espátula; f) recipientes para contenido de humedad (vidrio reloj).

### **LIMITE PLASTICO:**

- *Placa de vidrio:*  
Con dimensiones de 30 cm de ancho y largo y de 1 cm de espesor.

– *Misceláneos:*

Piseta, cepillo plástico, franelas, bolsas plásticas, horno.

## **7.8. Preparación del equipo**

### ***A) Inspección del desgaste del equipo:***

1. Verifique que el aparato del límite líquido este limpio y en buen funcionamiento y que la huella sobre la base donde la copa hace contacto con ella; no tenga un desgaste mayor de 10 mm (3/8 pulg) de diámetro, de lo contrario deberá ser ajustada.

Nota: Cuando el desgaste donde la copa hace contacto con la base es mayor que lo especificado, se puede nivelar la superficie de la base adelgazándola, sin perder la tolerancia de las dimensiones que debe poseer ésta (ver norma ASTM D 4318-00).

2. Verifique que el desgaste en la zona de la copa donde el ranurador divide la muestra, no sea mayor de 0.1 mm (0.004 pulg) de profundidad y que el borde de la copa no haya sido reducido a la mitad de su espesor original, si esto sucede se deberá reemplazar la copa.
3. Compruebe que los tornillos que fijan la copa al soporte colgante de ésta, se encuentren firmemente colocados.
4. Verifique que el pivote de soporte de la copa, no este atorado y no permita una magnitud mayor de 3 mm (½ pulg) de movimiento lateral desde el punto más bajo del borde.
5. La leva no deberá estar desgastada de tal forma que se aumenten los golpes de la copa antes de que el soporte de la misma pierda contacto con la leva.
6. Inspeccione que el acanalador no esté gastado. La rapidez de su desgaste depende del material del que la herramienta este fabricada y de los tipos de suelos que se ensayen.

Nota: Al ensayar suelos que contienen una proporción grande de partículas de arena fina, éstos pueden causar desgaste rápido en el acanalador; por consiguiente, éste debe inspeccionarse más frecuentemente que cuando se ensayan otros tipos suelos.

### ***B) Calibración de la altura de caída de la copa***

1. Coloque una pieza de cinta adhesiva por fuera en el fondo de la copa, de tal forma que se encuentre paralela al eje del pivote de la manivela de la copa.

Notas:

- El ajuste de la altura de la caída de la copa, consiste en que el punto de la copa que entra en contacto con la base se eleve una altura de  $10 \pm 0.2$  mm.
  - La cinta a colocar en la copa deberá atravesar el punto en donde la copa hace contacto con la base. Al utilizar copas nuevas no será necesaria la colocación de la cinta adhesiva.
2. Coloque una pieza de papel carbón sobre la base y deje caer la copa varias veces para que marque el sitio de contacto.



**Figura 7.3** Marcado del sitio de contacto de la copa.

3. Sujete la copa al dispositivo y rote la manivela hasta que la copa se levante a su máxima altura.
4. Desplace el calibrador por debajo de la copa desde el frente y observe si el calibrador hace contacto con la copa o la cinta marcada. (Vea Fig. 7.4).



**Figura 7.4** Verificación de la altura de caída.

Nota: Si la cinta y la copa hacen contacto simultáneamente con el calibrador, la altura de caída está lista a ser verificada, de lo contrario ajuste la copa hasta que el contacto sea simultáneo.

5. Verifique el ajuste girando la manivela a razón de 2 revoluciones por segundo, mientras el calibrador se encuentra con el punto en la cinta colocada en la copa.

Notas:

- El ajuste de caída de la copa es correcto, si al girar la manivela se escucha un sonido débil sin que suba la copa del calibrador. Si ningún sonido se escucha o si sube la copa del calibrador se debe reajustar la altura de caída.
  - Si se balancea la copa durante el girado de la manivela, el pivote de ésta se encuentra excesivamente desgastado, por lo cual se deberá reemplazar dicho pivote.
6. Remueva la cinta adherida a la copa cuando el ajuste de la altura de caída de la copa este correcto.

## 7.9. Procedimiento

### 7.9.1 LÍMITE LÍQUIDO:

#### A) *Preparación de la muestra:*

- ***Método de preparación húmeda***

En éste método existen dos procedimientos, los cuales dependen del material que contiene el espécimen, como sigue:

1. *Si el material contiene poco o nada de partículas retenidas en el tamiz No. 40 (425  $\mu$ m), realice los siguientes pasos:*

- 1.1 Tamice por la malla No. 40 (425  $\mu$ m), una cantidad representativa de la muestra total de suelo la suficiente para obtener un espécimen de ensayo de 150 a 200 g.
- 1.2 Coloque el espécimen de suelo en un recipiente para mezclado, agréguele agua desmineralizada y mézclelo completamente con una espátula. .

Nota: El tiempo que tomará mezclar adecuadamente un suelo variará considerablemente y dependerá de la plasticidad y del contenido de agua inicial del mismo. El tiempo de mezclado inicialmente requerido para suelos duros y arcillas altamente plásticas podría ser mayor de 30 minutos.

- 1.3 Ajuste el contenido de agua del espécimen de ensayo de tal manera que obtenga la consistencia requerida para el número de golpes a aplicar.

Nota: Si se desea humedezca el suelo con poca cantidad de agua en un recipiente, para lograr ablandar el material antes de comenzar a mezclarlo. Si es usado el método por múltiples puntos (Método A), ajuste el contenido de agua del material para producir una consistencia requerida de aproximadamente entre 25 a 35 golpes para cerrar la ranura en el dispositivo del límite líquido Para el método por un punto (Método B), el número de golpes debe ser entre 20 y 30 aproximadamente.

1.4 Cubra el recipiente conteniendo la muestra de suelo en una bolsa plástica para prevenir la pérdida de humedad y déjela reposar por lo menos 16 h.

2. *Material que contiene partículas retenidas en la malla No. 40 (425  $\mu\text{m}$ )*

2.1 Coloque una cantidad representativa de la muestra total en un recipiente apropiado, agregue agua suficiente para cubrir todo el material, posteriormente déjelo remojar hasta que todas las fracciones se ablanden y los finos ya no se adhieran a la superficie de las partículas gruesas.

2.2 Coloque la malla 425  $\mu\text{m}$  (No. 40) en el fondo del recipiente y transfiera la mezcla suelo-agua sobre ella, no excediendo por cada lavada 1 libra de material por vez.

2.3 Coloque la malla No 10 sobre la malla No 40 y coloque en ellas las gravas y arenas retenidas en la malla No 40, añadiendo cantidades pequeñas de agua y agite para que las partículas finas se desprendan y retire la malla No 10. Agregue mas agua al recipiente hasta que el nivel de agua suba cerca de 1/2" sobre la superficie del la malla No 40, luego agite la pasta con los dedos (mientras levanta y baja la malla del recipiente y mezcle la suspensión) para que el material fino se lave de las partículas más gruesas.

2.4 Frote suavemente con las yemas de los dedos las porciones de suelo fino retenidas en la malla que no se desmoronan y enjuague nuevamente el material retenido con agua limpia. Posteriormente, descarte el material retenido en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$ .

2.5 Reduzca el contenido de agua en el material que pasó el tamiz No. 40, hasta que se aproxime al límite líquido, utilizando uno de los siguientes procesos:

a) Exponiendo la mezcla suelo-agua a una corriente de aire a temperatura ambiente.

b) Exponiendo la mezcla suelo-agua a una corriente de aire caliente, como de un secador de cabello eléctrico.

c) Decantando el agua clara de la superficie de la mezcla suelo-agua

Nota: Si se usa el Método A, el material debe estar con un contenido de agua que requeriría aproximadamente de 25 a 35 golpes en el aparato del límite líquido para cerrar la ranura. Para el Método B, el número de golpes debe ser entre aproximadamente 20 y 30.

2.6 Coloque la pasta en el recipiente y mezcle completamente este material con una espátula, posteriormente cúbralo para prevenir pérdida de humedad y déjelo reposar por lo menos 16 horas.

2.7 Posteriormente proceda a la determinación del límite líquido, como se describe en el apartado B.

- ***Método de Preparación seca***

1. Seque una cantidad representativa de la muestra total de suelo en un cuarto a temperatura ambiente o en un horno a una temperatura menor de 60 °C, de manera que los terrones puedan ser fácilmente pulverizados y se pueda obtener un espécimen de suelo de 150 a 200 g después de tamizado.

2. Pulverice la muestra de suelo en un mortero con un pistilo, teniendo el cuidado de no quebrar las partículas para hacerlas pasar por la malla No 40.

Nota: Cuando existan partículas más gruesas que la malla No. 40 en el proceso de pulverización del material, éstas deberán removerse en forma manual o por lavado.

3. Tamice el material en la malla No. 40 (425 µm), agitando el tamiz con la mano para asegurar la separación completa de la fracción más fina.

4. Regrese el material retenido en la malla No 40 al mortero y repita los procesos de pulverizado y cribado hasta que la mayoría del material fino haya sido disgregado y el material retenido consista en granos individuales.

5. Coloque el material retenido en la malla No. 40 (después de la operación final de pulverizado) en remojo dentro de un recipiente con una cantidad pequeña de agua.

6. Agite la mezcla de suelo-agua y viértala en la malla No 40, captando en un recipiente el agua y finos suspendidos.

7. Transfiera la suspensión al recipiente que contiene el material que pasó la malla No 40 del paso 4 de este apartado y descarte el material retenido en la misma.
8. Reduzca el contenido de agua en el material que pasó el tamiz No. 40, por medio de uno de los siguientes procesos:
  - a) Exponiendo la mezcla suelo-agua a una corriente de aire a temperatura ambiente.
  - b) Exponiendo la mezcla suelo-agua a una corriente de aire caliente, como de un secador de cabello eléctrico.
  - c) Decantando el agua clara de la superficie de la mezcla suelo-agua.
9. Coloque la pasta en el recipiente y mezcle completamente este material con una espátula, posteriormente cúbralo para prevenir pérdida de humedad y déjelo reposar por lo menos 16 horas.



**Figura 7.5** Mezclado del material utilizando una espátula.

Nota: Ajuste el contenido de agua de la mezcla si es necesario, agregando pequeños incrementos de agua destilada, ya que el suelo deberá tener un contenido de humedad adecuado para cerrar la ranura de éste, ya sea con 25 a 35 golpes si es aplicado el método A y entre 20 a 30 si es utilizado el método B.

2.8 Posteriormente proceda a la determinación del límite líquido, como se describe en el apartado B.

***B) Determinación del límite líquido:***

**Método de múltiples puntos (Método A)**

Nota: El procedimiento a emplear deberá ser especificado por el solicitante del ensayo y en el caso de que no sea definido, se deberá utilizar el método A.

1. Remezcle en forma completa la pasta de suelo, inmediatamente antes de iniciar el ensayo.
2. Tome con una espátula una porción de suelo y colóquela en la copa de latón del dispositivo del límite líquido, distribuyéndola con el menor número de golpes de espátula hasta que se obtenga un espesor de aproximadamente 10 mm como máximo y se deje nivelada la superficie en el plano horizontal.

Nota: Al colocar la pasta de suelo en la copa se deberán eliminar las burbujas de aire originadas, colocando la pasta con los menos golpes posibles.

3. Guarde el suelo remanente en la cápsula de porcelana dentro de una bolsa plástica (u otros medios) para retener la humedad del suelo.
4. Divida la masa de suelo en la copa utilizando el ranurador (acanalador), trazando una línea del punto más alto al punto más bajo en el borde de la copa. Cuando haga la ranura, sostenga el acanalador contra la superficie de la copa haciendo un movimiento circular hacia delante y hacia atrás, manteniéndolo perpendicular a la superficie de la copa durante todo el movimiento (vea figura 7.6).



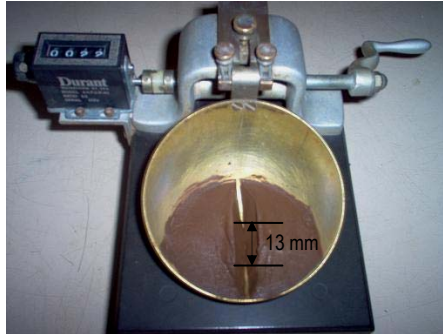
**Figura 7.6** Muestra de la ranura del suelo en la copa del aparato para límite líquido.

Notas:

- En suelos donde la ranura no puede ser hecha sin desgarrarlo, haga la ranura con varias pasadas del instrumento ranurador (limpie éste después de cada pasada) o con una espátula haga la ranura con dimensiones ligeramente menores y posteriormente use el ranurador para llevarla a las dimensiones finales.
- Emplee el ranurador con extremo cuidado para prevenir deslizamientos de la pasta de suelo sobre la superficie de la copa y finalmente verifique que ninguna partícula de suelo esté presente en el fondo de la ranura.



5. Levante y deje caer la copa por medio de la manivela a una frecuencia de 1.9 a 2.1 caídas por segundo, hasta que las dos mitades de suelo al dar los golpes se unan en el fondo de la ranura, una distancia de 13 mm ( $\frac{1}{2}$  pulg.) como se muestra en la figura 7.7.



**Figura 7.7** Detalle del cierre de la ranura de la pasta de suelo en el fondo de la copa durante el ensayo del límite líquido.

Notas:

- Se debe emplear una regla graduada para comprobar que la ranura ha cerrado 13 mm ( $\frac{1}{2}$  pulgada).
  - Se debe verificar que una burbuja de aire no cause un cierre prematuro de la ranura, observando que ambos lados de ésta fluyan a la vez y aproximadamente de la misma forma; en caso contrario reacomode el suelo en la copa y agregue una pequeña cantidad de suelo para recuperar lo perdido en el proceso de hacer la ranura, luego repita los pasos 1 – 3 de este método.
  - Si el suelo resbala en la superficie de la copa, repita los pasos 1 – 3 de este método con un contenido de agua mayor. Si después de varios ensayos consecutivos con contenidos de agua más altos, la pasta de suelo continua resbalando en la copa o si el número de golpes requeridos para cerrar la ranura es siempre menor que 25, registre que el límite líquido no puede determinarse y reporte el suelo como “no plástico”, sin realizar el ensayo del límite plástico.
6. Registre el número de golpes, N (en la hoja de datos) que han sido requeridos para cerrar la ranura en el suelo; luego, tome una porción del suelo de aproximadamente el ancho de la espátula y en ángulo recto de la sección de la ranura en donde fluyó y colóquela en un recipiente de masa conocida.

- Determine la masa del recipiente con la porción de suelo (fig. 7.8), regístrela en la hoja de datos correspondiente a éste ensayo y determine el contenido de agua de esa porción de suelo, de acuerdo con el Método de ensayo D 2216.



**Figura 7.8** Determinación de la masa de suelo + recipiente.

- Regrese el suelo restante en la copa al recipiente de porcelana, posteriormente desenganche la copa. Lave y seque la copa junto con el ranurador y vuelva a fijar la copa al carruaje en preparación para el próximo ensayo.
- Mezcle nuevamente todo el espécimen de suelo en el recipiente de porcelana, agregue agua destilada para aumentar el contenido de agua del suelo y así disminuya el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
- Repita los pasos del literal 1 al 8 (de este método) para dos ensayos adicionales que produzcan consecutivamente número de golpes más bajos para cerrar la ranura.

Notas:

- Uno de los ensayos adicionales será para una muestra que requiera un cierre de la ranura, con un número de entre 25 a 35 golpes, un segundo ensayo para el cierre de la ranura de entre 20 a 30 golpes y un tercero que requiera de entre 15 a 25 golpes.
- Se deben determinar las masas húmedas (recipiente más suelo húmedo), inmediatamente después de la realización de cada ensayo. Si el ensayo será interrumpido por más de aproximadamente 15 minutos, determine el contenido agua de la masa del espécimen en el momento de la interrupción.

### **Método de un punto (Método B)**

11. Proceda como se describe en los pasos del 1 al 5 del método anterior; excepto que el número de golpes necesarios para cerrar la ranura, deberá estar entre 20 y 30.

Nota: Si se obtienen menos de 20 o más de 30 golpes al hacer el ensayo, ajuste el contenido de agua del suelo y repita nuevamente los pasos del literal 1 al 5.

12. Reacomode inmediatamente el suelo en la copa agregando una pequeña cantidad de suelo (para compensar lo perdido durante el acanalado y lo tomado para el contenido de humedad), luego de ser removida la porción del espécimen para determinar el contenido de agua como se indica en el paso 6 y 7.

13. Repita los pasos de los literales 3 a 5 y si el cierre de la ranura requiere el mismo número de golpes o no más de dos golpes de diferencia respecto al paso anterior, obtenga otro contenido de agua del espécimen, de lo contrario vuelva a mezclar todo el espécimen y repita.

Nota: Se debe evitar un secado excesivo o un mezclado inadecuado de la pasta de suelo, ya que causarán una variación en el número de golpes.

14. Determine las dos masas del recipiente con la porción de suelo, regístrelas en la hoja de datos correspondiente a éste ensayo y determine el contenido de agua de cada porción de suelo, de acuerdo con el Método de ensayo D 2216.

### **7.9.2 LÍMITE PLÁSTICO**

#### **• Preparación del espécimen de ensayo:**

1. Seleccione 20 g o más del espécimen de suelo preparado para el ensayo del límite líquido o del suelo restante de dicho ensayo.
2. Reduzca el contenido de humedad del suelo hasta que posea una consistencia en la cual pueda rolarse sin adherirse en las manos cuando sea extendido o se mezcle continuamente en la placa de vidrio.

Nota: El proceso de secado puede ser acelerado exponiendo el suelo a una corriente de aire de un ventilador eléctrico o secándolo con un papel que no agregue fibra al suelo, como por ejemplo: papel toalla de aspecto duro o papel filtro con alta resistencia en húmedo.

- **Determinación del límite plástico:**

3. Seleccione una porción de suelo entre 1.5 y 2.0 g, de la muestra de 20 g que se tomó anteriormente (del apartado 7.9.2, paso 1) y forme una masa elipsoidal.
4. Role esta masa de suelo colocándola entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio con suficiente presión, hasta hacer un hilo de diámetro uniforme de aproximadamente 3.2 mm (1/8 pulg), a lo largo de su longitud en un lapso de tiempo máximo de 2 minutos.



**Figura 7.9** Rolado de la barrita de suelo.

Notas:

- La velocidad normal del rolado para la mayoría de los suelos deberá estar entre 80 a 90 pasadas por minuto; contando como una pasada, un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás de la posición inicial. Esta velocidad de rolado puede ser disminuida para suelos muy frágiles.
  - La cantidad de presión requerida de la mano o los dedos variará grandemente según el tipo de suelo a ensayar, ya que la presión necesaria es típicamente incrementada con el aumento de la plasticidad.
  - Los suelos frágiles de baja plasticidad se ruedan mejor bajo la orilla de la palma de la mano o en la base del dedo pulgar.
  - Un hilo de 3.2 mm (1/8 pulgada) es útil para la comparación frecuente con el hilo del suelo para determinar cuándo éste ha alcanzado el diámetro apropiado
5. Cuando se halla alcanzado el diámetro requerido (3.2 mm) del hilo de suelo, desmenuce ésta en varias porciones. Seguidamente junte las porciones y amase de nuevo hasta darle una forma aproximadamente elipsoidal.

6. Role el suelo nuevamente, hasta que el hilo sea de un diámetro de 3.2 mm. Repita el paso anterior hasta que aparezcan grietas en él o se quiebre bajo la presión del amasado y ya no sea posible formarlo de nuevo con el diámetro de 3.2 mm.

Notas:

- En ningún momento el operador deberá forzar la rotura del hilo de suelo cuando posea un diámetro de 3.2 mm, ya sea reduciendo la frecuencia del amasado, la presión de la mano o ambas, continuando el rolado (amasado) sin deformar el hilo hasta que se corte. Sin embargo, es permisible reducir la deformación total para suelos poco plásticos haciendo el diámetro inicial de la masa elipsoidal cerca del diámetro final requerido de 3.2 mm.
  - Si ocurre desmenuzamiento cuando el hilo posee un diámetro mayor que 3.2 mm, se considerará satisfactorio, siempre y cuando éste haya alcanzado previamente dicho diámetro.
  - El resquebrajamiento se manifiesta diferente para cada tipo de suelo. Algunos suelos se resquebrajan en numerosas porciones pequeñas, otros pueden formar una capa tubular externa que empieza a romperse en ambos extremos, progresando la ruptura hacia el centro y finalmente despedazándose en muchas porciones pequeñas laminadas.
  - Los suelos arcillosos requieren mucha presión para deformar el hilo, particularmente cuando éstos se acercan a su límite plástico y sucede que este se rompe en una serie de fragmentos de aproximadamente 3.2 a 9.5 mm ( $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{8}$  pulgadas) de longitud.
7. Reúna las porciones de suelo resquebrajadas y colóquelas en un recipiente de masa conocida. Determine la masa del recipiente con el suelo y registrelo en la hoja de datos correspondientes.



**Figura 7.10** Porciones de suelos resquebrajado obtenidas durante el ensayo del límite plástico.

8. Repita los pasos del numeral 3 al 7 hasta que en el recipiente haya por lo menos 6 g de suelo.

9. Registre la masa del recipiente con el suelo húmedo y determine posteriormente el contenido de humedad del suelo en el recipiente, de acuerdo con el método de ensayo D 2216 (ver ensayo N° 1).
10. Repita los pasos del literal 3 al 8 para obtener otro espécimen de ensayo para la determinación del límite plástico.

## 7.10. Cálculos:

### 7.10.1 LIMITE LÍQUIDO

#### Método A (Método de múltiples puntos):

1. Construya la curva de fluidez en papel semilogarítmico, graficando los contenidos de agua ( $\omega\%$ ) en el eje de las ordenadas, en escala aritmética y el número correspondiente de golpes (N) de cada espécimen como abscisas, en escala logarítmica. Trace posteriormente la mejor línea recta que una los puntos graficados.
2. Seleccione la abscisa de 25 golpes e intercepte con la línea recta que une los puntos y ubique el contenido de agua correspondiente en la escala de las ordenadas. Registre dicho valor, como el límite líquido (LL) del suelo y redondee al número entero más cercano.

#### Método B (Método de un punto):

1. Determine el límite líquido para cada contenido de agua del espécimen utilizando cualquiera de las ecuaciones siguientes:

$$LL^n = \omega^n \times \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{Ec. 7.1} \quad \text{ó}$$

$$LL^n = k \times \omega^n \quad \text{Ec. 7.2}$$

Donde:

$LL^n$  = Límite líquido de un suelo, calculado por el método de un punto, %,

$N$  = Número de golpes requeridos para el cierre de la ranura en la copa de Casagrande correspondiente a  $\omega^n$ ,

$\omega^n$  = Contenido de agua correspondiente al número de golpes, %

$k$  = Factor obtenido de la tabla 7.1.

**Tabla 7.1 Factores para determinar el límite líquido de un contenido de agua y de un número de golpes que causan el cierre de la ranura.**

Número de golpes (N)	Factor para límite líquido (k)
20	0.973
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Fuente: Norma ASTM D 4318-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Notas:

- El límite líquido ( $LL$ )<sup>n</sup> es el promedio de los dos valores de límite líquido del ensayo realizado, expresado al número entero más cercano (sin la designación del por ciento).
- Si la diferencia entre los dos valores de ensayo del límite líquido es mayor que el 1%, repita el ensayo como se describe en el método B.

### 7.10.2 LIMITE PLASTICO

- Calcule el promedio de los contenidos de agua determinados en el ensayo del límite plástico y redondee al número entero más cercano. Este valor será el límite plástico ( $LP$ ) expresado en porcentaje.

Nota: Si la diferencia entre los dos valores de ensayo del límite plástico es mayor que el 1%, repita el ensayo como se describe en el método B.

### 7.10.3 ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD

- Determine el índice plástico de un suelo utilizando la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \quad \text{Ec. 7.3}$$

Donde:

$IP$  = Índice de plasticidad,

$LL$  = Límite líquido,

$LP$  = Límite plástico

Nota: Los valores de  $LL$  y  $LP$  son números enteros. Si ambos no pueden determinarse o el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, reporte que el suelo es no plástico ( $NP$ ).

#### 7.10.4 ÍNDICE DE LIQUIDEZ

- Determine el índice de liquidez de un suelo utilizando la siguiente ecuación:

$$IL = \frac{\omega\% - LP}{IP} \quad \text{Ec. 7.4}$$

#### 7.10.5 NÚMERO DE ACTIVIDAD

- Determine el número de actividad de un suelo utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\text{Índice de plasticidad}}{\% \text{ de partículas menores que } 0.002 \text{ mm}} \quad \text{Ec. 7.5}$$

#### 7.11. Ejemplo:

##### LÍMITE LÍQUIDO

##### Método A:

Datos:

No de golpes ( $N$ )	$\omega$ %
27	49.5
22	51.6
15	54.2

Los datos mostrados en la tabla anterior se grafican en papel semilogarítmico para construir la curva de fluidez como se muestra en la figura 7.11.

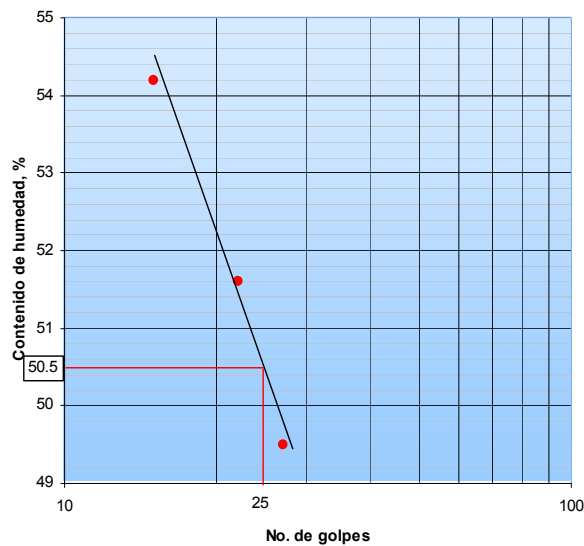


Figura 7.11 Curva de fluidez



De la Curva de fluidez se obtiene un Límite Líquido = **50.5 %**

**Método B:**

Utilizando los datos siguientes y la ecuación 7.1 o 7.2 se determina el límite líquido del suelo:

Número de golpes ( $N$ ) = 22

Contenido de humedad ( $\omega$ ) = 51.6 %

Factor  $K$  para límite líquido = 0.985 (obtenido de tabla 7.1 para  $N = 22$ )

$$LL^n = 0.985 \times 51.6 = 50.8 \%$$

**LÍMITE PLÁSTICO**

Contenido de humedad ( $\omega_1$ ) = 33.7 %

Contenido de humedad ( $\omega_2$ ) = 33.8 %

Contenido de humedad ( $\omega_3$ ) = 33.9 %

$$LP = 33.8 \%$$

**ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD**

Utilizando la ecuación 7.3 y los valores obtenidos de  $LL = 50.5 \%$  y  $LP = 33.8 \%$ , se tiene:

$$IP = 50.5 - 33.8 = 16.7 \%$$

**7.12. Cuestionario:**

- ❖ Defina el límite líquido y plástico de un suelo, de acuerdo a la norma ASTM D 653-02.
- ❖ Mencione dos alcances del método de ensayo D 4318-00.
- ❖ Describa brevemente el método de múltiples puntos (método A) para la determinación del límite líquido.
- ❖ Mencione dos aplicaciones de los límites líquido y plástico.
- ❖ Explique el procedimiento de preparación seca de una muestra de suelo para la determinación de los límites líquido y plástico.

**7.13. Contenido del reporte:**

El contenido del reporte de ensayo incluirá lo siguiente:

- ❖ Información de identificación de la muestra.

- ❖ Informe si la muestra es secada al aire antes o durante la preparación.
- ❖ Curva de fluidez graficada en papel semilogarítmico.
- ❖ Reporte los valores de límite líquido, límite plástico e índice plástico al número entero más cercano, omitiendo la designación de porcentaje.

Nota: Si el ensayo del límite líquido o límite plástico no puede ser realizado o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, reporte que el suelo es no plástico, *NP*.

- ❖ Porcentaje de la muestra retenida en el tamiz No 40
- ❖ El procedimiento por el cual fue determinado el límite líquido, si difiere del Método de Múltiples Puntos (método A).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



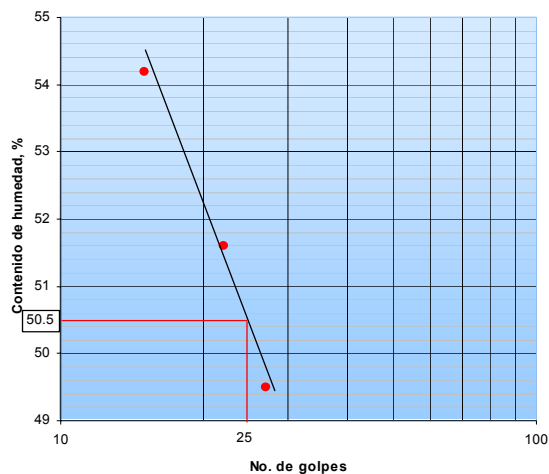
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO  
 E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS  
 (Basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : TAISHIN  
 Ubicación : Santo Domingo 1 Fecha de ensayo : 05/04/2006  
 Método de ensayo utilizado : A Laboratorista : SGT, MOR

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1			1		
Muestra						
Nº de golpes	27	22	15			
Nº de recipiente	4	1	H	14	10	6
Masa de recipiente	19.69	19.73	19.74	31.3	29.46	29.7
Masa de suelo húmedo + recipiente	36.39	37.45	33.96	36.14	34.8	34.84
Masa de suelo seco + recipiente	g 30.86	31.42	28.96	34.92	33.45	33.54
Masa de agua	g 5.53	6.03	5	1.22	1.35	1.3
Masa de suelo seco	g 11.17	11.69	9.22	3.62	3.99	3.83
Contenido de agua	% 49.5	51.6	54.2	33.7	33.8	33.9

**CURVA DE FLUIDEZ**

Límite líquido (LL),	51
Límite plástico (LP),	34
Índice de plasticidad (IP),	17



Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO N° 8

### PRACTICA PARA LA DESCRIPCION E IDENTIFICACION DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL-MANUAL) (BASADA EN ASTM D 2488-00)

#### 8.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la descripción e identificación de un suelo, conforme a la norma ASTM D 2488-00.
- ❖ Realizar una clasificación rápida de diferentes tipos de suelos por medio de la ejecución de ensayos sencillos como el sonido, color, olor, plasticidad, dureza, dilatancia, etc.

#### 8.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 2488 Práctica para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento Visual Manual)
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 1586 Método de ensayo para la prueba de penetración y muestreo de suelos con barreno partido.
- C 117 Norma del método de ensayo para materiales más finos que la malla No. 200 (75µm) en agregados minerales por lavado.
- C 702 Práctica estándar para reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo.

#### 8.3 Definiciones:

##### ***Muestra inalterada:***

Es una muestra de suelo que ha sido obtenida por métodos en los cuales se han tomado todas las precauciones para minimizar alteraciones en la muestra.

##### ***Suelo:***

Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales podrían o no contener materia orgánica.

***Finos:***

Es una porción de suelo más fino que la malla No 200.

***Cantos rodados o boleos:***

Son fragmentos de roca, generalmente redondeados o semiredondeados, con una dimensión promedio entre 3 y 12 pulg. (75 y 305 mm)

***Guijarros:***

Son fragmentos de roca generalmente redondeados por desgaste o abrasión, con una dimensión de 12 pulg (305 mm).

***Grava:***

Son partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y se retienen en el tamiz No. 4 (4.75 mm) con las subdivisiones siguientes:

Grava gruesa: Partículas que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y se retienen en un tamiz de ¾" (19 mm).

Grava fina : Partículas que pasan el tamiz de ¾" (19 mm) y se retienen en un tamiz No 4 (4.75 mm).

***Arena:***

Son partículas de roca que pasan el tamiz No 4 (4.75 mm) y se retienen en el tamiz No 200 (75 µm), presentando las siguientes subdivisiones:

Arena gruesa: Partículas que pasan la malla No. 4 (4.75 mm) y se retienen en la malla No. 10 (2.00 mm).

Arena media: Partículas que pasan la malla No. 10 (2.00 mm) y se retienen en el tamiz No. 40 (425 µm).

Arena fina: Partículas que pasan la malla No. 40 (425 µm) y se retienen en el tamiz No. 200 (75 µm).

***Limo:***

Es un suelo que pasa el tamiz No. 200 (75 µm), no plástico o muy ligeramente plástico, por lo que posee poca o ninguna resistencia cuando es secado al aire. Para clasificación, el limo es un suelo o porción de suelo de grano fino con un índice de plasticidad menor que 4.

***Limo orgánico:***

Es un limo con un alto contenido orgánico que influye en las propiedades del suelo. Es un suelo que podría ser clasificado como limo, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75 % de su valor de límite líquido original.

***Arcilla:***

Suelo que pasa el tamiz No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ), puede ser moldeado para mostrar plasticidad dentro de un rango de contenidos de agua. Para propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo o una porción de suelo de grano fino, con un índice de plasticidad igual o mayor que 4 y que al graficar el índice plástico vs límite líquido cae sobre o arriba de la línea A.

***Arcilla orgánica:***

Es una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica que influye en las propiedades del suelo. Es un suelo que podría ser clasificado como arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor al 75 % de su valor de límite líquido original.

***Turba:***

Es un suelo compuesto principalmente de tejidos vegetales en varios estados de descomposición, usualmente con un olor orgánico, de color café oscuro a negro, con una consistencia esponjosa y una textura que varía de fibrosa a amorfa.

***Símbolo doble:***

Un símbolo doble son dos símbolos separados por un guión, por ejemplo: GP-GM, SW-SC, CL-ML, utilizados para indicar que el suelo ha sido identificado teniendo las propiedades de una clasificación de acuerdo con el método de ensayo D 2487 donde se requiere de dos símbolos. Se requieren dos símbolos cuando el suelo tiene entre 5 y 12% de finos o cuando el punto graficado de los valores de límite líquido e índice de plasticidad se sitúa en el área CL-ML de la carta de plasticidad.

***Símbolo de Frontera:***

Un símbolo de frontera son dos símbolos separados por una “pleca (/)”, por ejemplo, CL/CH, GM/SM, CL/ML y debe usarse para indicar que a un suelo se le han identificado propiedades que no lo colocan de manera única en un grupo específico.

**8.4 Alcances:**

- Esta práctica de ensayo cubre los procedimientos para la descripción de suelos para propósitos de ingeniería.
- Esta práctica describe un procedimiento para la identificación de suelos basado en un examen visual-manual.
- Cuando se requiera una clasificación precisa de suelos para propósitos ingenieriles, deberán utilizarse los procedimientos descritos en el Método de ensayo D 2487.
- Esta práctica de ensayo se limita a identificar las partículas de suelo menores que 3” (75 mm), asignando un símbolo de grupo y nombre.
- La identificación de esta práctica se limita a suelos naturales (alterados e inalterados).
- La información descriptiva de esta práctica ensayo puede emplearse con otros sistemas de clasificación de suelos o para materiales diferentes a suelos naturales.

**8.5 Aplicación e importancia del método:**

- La información descriptiva obtenida por esta práctica de ensayo puede utilizarse como un instrumento auxiliar para describir un suelo en la evaluación de sus propiedades significativas para uso ingenieril. Además de emplearse para complementar la clasificación de un suelo, según lo determinado por el método de ensayo D 2487.
- Este ensayo puede ser usado para la identificación de suelos, utilizando la clasificación de símbolos de grupo y nombres como los descritos por el método de ensayo D 2487.

Nota: Debido a que los nombres y símbolos usados en esta práctica para identificar los suelos son los mismos que en el método de ensayo D 2487, se debe reportar en el informe que el símbolo de la clasificación y el nombre esta basado en un procedimiento visual-manual.

- Esta práctica de ensayo no será empleada únicamente para la identificación de suelos en el campo, sino también en la oficina, laboratorio o donde sea necesario inspeccionar y describir muestras de suelo.
- Esta práctica de ensayo tiene un valor particular para la agrupación de muestras de suelos similares, para que sólo un mínimo de pruebas de laboratorio deban ser realizadas para la correcta clasificación del suelo.

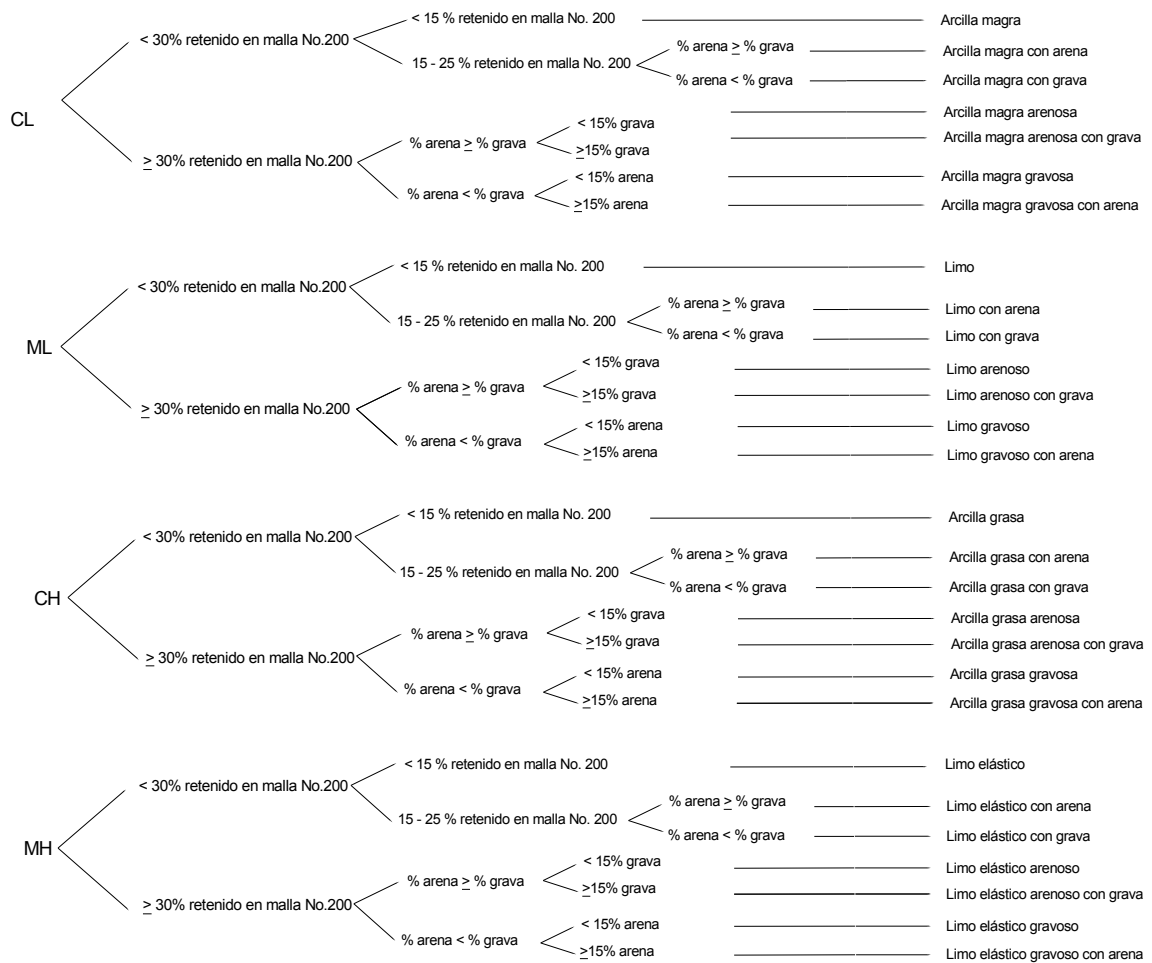
Nota: La habilidad para describir e identificar los suelos correctamente es aprendida de manera más fácil bajo la guía de un personal experimentado, pero también puede ser adquirida sistemáticamente mediante comparaciones numéricas de los resultados de ensayos de laboratorio para suelos típicos de cada tipo con sus características visuales y manuales.

- Cuando se requieran describir e identificar muestras de suelos de una perforación dada, una extracción de una calicata o un grupo de alguno de los anteriores, no es necesario seguir y realizar todos los procedimientos descritos en esta práctica para cada una de las muestras, ya que pueden agruparse los suelos que parezcan ser similares y solo una muestra ser descrita e identificada.

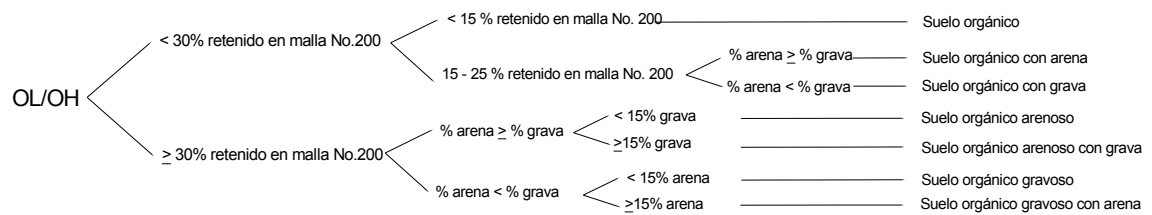
### **8.6 Resumen del método:**

Una muestra de suelo es inspeccionada visualmente, descrita e identificada con ensayos manuales simples, a través de procedimientos y criterios estándar. Finalmente, el suelo puede ser identificado mediante la asignación de un símbolo(s) de grupo y un nombre, utilizando los diagramas de flujo de las figuras 8.1a y 8.1b para los suelos de grano fino y Fig. 8.2, para los suelos de grano grueso. Si el suelo tiene propiedades que no lo colocan distintamente en un grupo específico, se deben utilizar símbolos de frontera.





**Figura 8.1a** Diagrama de flujo para identificar suelos inorgánicos de grano fino (50% ó más de finos)



**Figura 8.1b** Diagrama de flujo para identificar suelos orgánicos de grano fino (50% o más de finos)

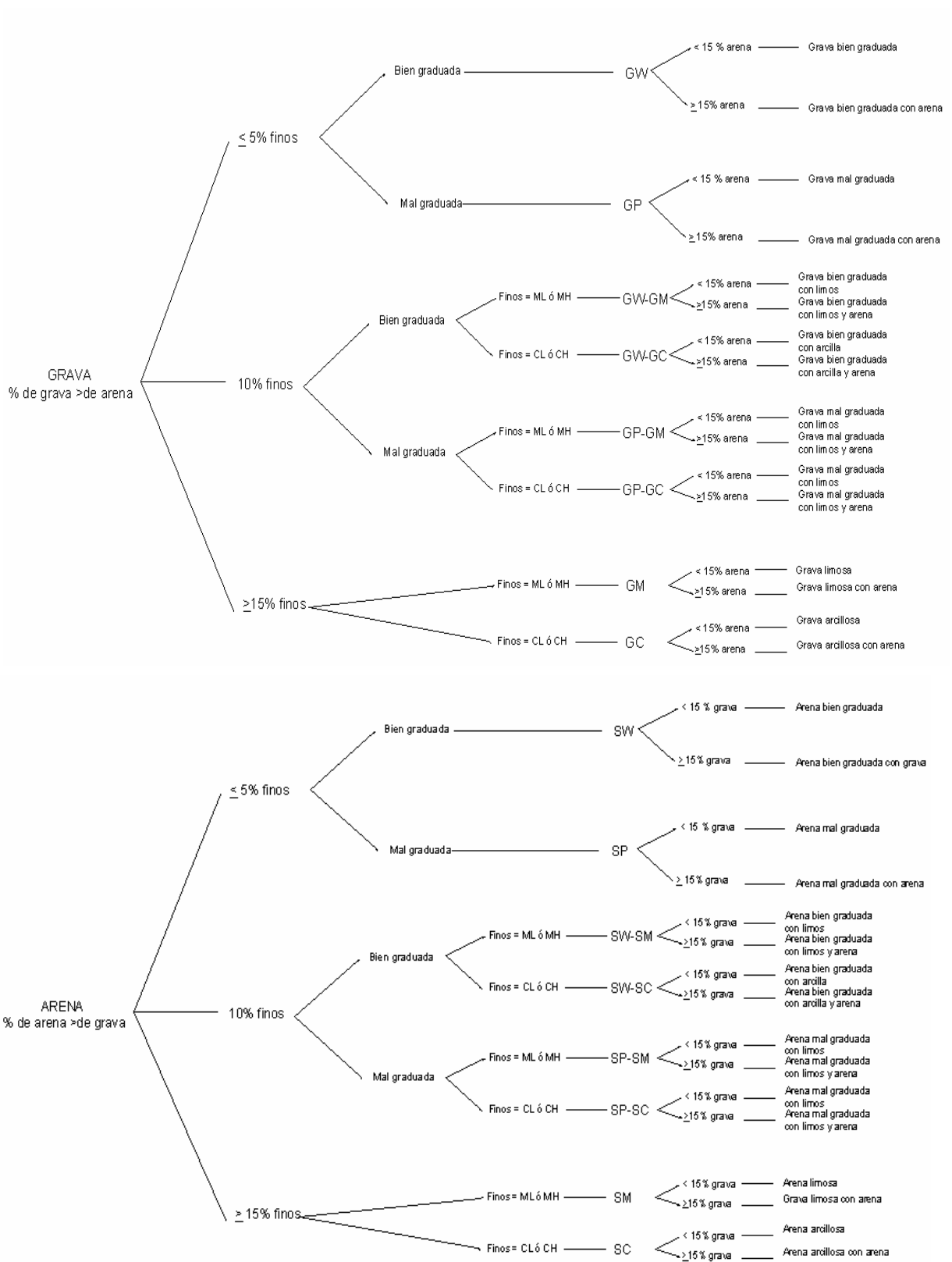


Figura 8.2 Diagrama de flujo para identificar suelos de grano grueso (menos de 50% de finos)

## 8.7 Material y equipo:

- *Muestra de suelo:*

Representativa del estrato de donde se obtuvo.

- *Agua purificada o desmineralizada.*

- *Ácido Hidroclorhídrico:*

Una botella pequeña de ácido hidroclorhídrico diluida una parte de *HCl* (10 *N*) en tres partes de agua. (El uso de este reactivo es opcional en este ensayo).

Notas:

- Maneje cuidadosamente la solución y almacénela con seguridad, evitando que entre en contacto con la piel, de lo contrario enjuague con suficiente agua.
- Nunca se deberá agregar agua en el ácido hidroclorhídrico.
- Debido a que el carbonato del calcio es un agente cementante común, el informe de su presencia en base a la reacción con ácido hidroclorhídrico diluido es importante.

- *Placa de vidrio cuadrada y grande.*

- *Misceláneos:*

Cuchillo de bolsillo o una espátula pequeña, probeta graduada, lupa de mano pequeña, bote con tapadera o tubo pequeño y su tapón, cocina, tamices de 3", ¾", No 4, No 10, No 40, No 200, piseta y franela.

## 8.8 Procedimiento:

8.8.1 Identifique cada una de las muestras de suelo, detallando lo siguiente: su número de perforación, número de muestra, estrato geológico y pedológico o una descripción de lugar con respecto a un monumento permanente así como su profundidad o elevación.

Seleccione para la descripción e identificación correcta de la muestra, la cantidad mínima del espécimen a ser ensayado de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 8.1 Cantidad mínima del espécimen de ensayo según el tamaño máximo de la partícula.**

<b>Tamaño máximo de la partícula, abertura de malla</b>	<b>Tamaño Mínimo del espécimen, peso seco</b>
4.75 mm (No. 4)	100 g (0.25 lb)
9.50 mm (3/8 ")	200 g (0.5 lb)
19.0 mm (3/4 ")	1.0 Kg (2.2 lb)
38.1 mm ( 1 ½ ")	8.0 Kg (18.0 lb)
75.0 mm (3")	60 Kg (132 lb)

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Notas:

- Si se encuentran partículas de forma aislada, que sean significativamente más grandes que las partículas en la matriz del suelo, éstas deben ser descritas e identificadas con precisión de acuerdo a la tabla 8.1.
- Si la muestra de campo o espécimen que se esta examinando es más pequeña que la cantidad mínima recomendada, el informe deberá incluir un comentario apropiado.

8.8.3 Registre la información descriptiva de cada una de las muestras a identificar, mediante las características siguientes:

**a. Angulosidad**

Describa la angulosidad del grano de arena (sólo tamaño grueso), gravas, guijarros y boleos (cantos rodados), de acuerdo con los criterios de la Tabla 8.2 y figura 8.3.

**Tabla 8.2 Criterios para la descripción de la angulosidad de las partículas de grano grueso (Vea fig. 8.3)**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Angular	Las partículas tienen bordes agudos y los lados relativamente planos con superficies ásperas.
Sub-angular	Las partículas son similares a la descripción angular pero tienen bordes redondeados.
Sub-redondeada	Las partículas tienen lados casi planos pero tienen esquinas y bordes bien redondeadas.
Redondeada	Las partículas tienen lados suavemente curvos y lisos y no poseen bordes.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)



**Figura 8.3** Angulosidad típica de los granos de mayor volumen.

**b. Forma**

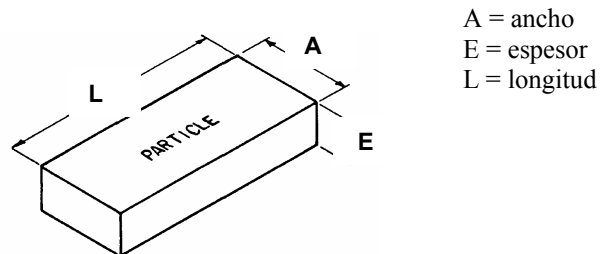
Describe la forma de las partículas de grava, guijarros y cantos rodados, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 8.3 y el esquema de la figura 8.4.

**Tabla 8.3** Criterio para describir la forma de la partícula.

Descripción	Criterio
Plana	Partículas con relación ancho / espesor $> 3$
Alargada	Partículas con relación longitud / ancho $> 3$
Plana - alargada	Partículas que reúnen los dos criterios anteriores

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota: La forma de la partícula se deberá describir tomando como longitud, ancho y espesor las dimensiones máxima, intermedia y mínima de la partícula respectivamente.



**Figura 8.4** Criterios para describir la forma de la partícula.

**c. Color:**

Observe y anote el color del suelo en condición húmeda, especialmente al identificar suelos orgánicos.

Notas:

- Si la muestra en estudio contiene capas o zonas de diferentes colores, registre esta información y describa los colores que sean más representativos.
- Si el color representa una condición seca del suelo, esto deberá anotarse en el informe.

**d. Olor:**

Describa el olor del suelo como inorgánico o inusual.

Notas:

- Suelos que contienen una cantidad significativa de materia orgánica, usualmente tienen un olor distintivo a vegetación en descomposición. Esta característica es muy fácil detectarla en muestras de suelo en estado húmedo, pero si éstas están en condición seca, el olor puede ser reavivado calentando las muestras previamente humedecidas.
- El olor de una muestra será inusual cuando emane un olor a productos de petróleo, químicos y similares.

**e. Condición de humedad**

Describa la condición de humedad de la muestra de suelo, de acuerdo con los criterios de la Tabla 8.4.

**Tabla 8.4 Criterio para la descripción de la condición de humedad.**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Seca	Ausencia de humedad, polvosa, seca al tacto.
Húmeda	Húmeda pero sin ningún rastro visible de agua.
Mojada	Agua claramente visible, usualmente el suelo está por debajo del nivel freático.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**f. Reacción del HCl (Acido Hidroclorhídrico)**

Describa la reacción del HCl (ver apartado 8.7 material y equipo) de acuerdo con los criterios de la tabla 8.5 siguiente:

**Tabla 8.5 Criterio para la descripción de la reacción con HCl**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Ninguna	Reacción no visible
Débil	Alguna reacción, con burbujas formándose lentamente
Fuerte	Reacción violenta, con burbujas formándose inmediatamente.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota: La reacción del HCl es observada al agregar a la muestra de suelo una cantidad de la solución diluida en la proporción indicada en el apartado 8.7 de “material y equipo”.

**g. Consistencia**

Describa la consistencia de los suelos inalterados de grano fino, presionando con el dedo pulgar el suelo y siguiendo los criterios de la tabla 8.6.

**Tabla 8.6 Criterio para la descripción de la consistencia**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Muy suave	El pulgar penetrará el suelo más de 25 mm (1”).
Suave	El pulgar penetrará el suelo aproximadamente 25 mm (1”).
Firme	El pulgar penetrará el suelo cerca de 6 mm (¼”).
Dura	El pulgar no penetrará el suelo, pero si la uña.
Muy dura	La uña del pulgar no penetrará el suelo.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota: Este criterio no es apropiado para muestras de suelos con cantidades significativas de grava.

**h. Cementación**

Describa la cementación de la muestra de suelo inalterado de grano grueso, según los criterios siguientes de la Tabla 8.7.

**Tabla 8.7 Criterio para la descripción de la cementación.**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Débil	Se desmenuza o se fragmenta al ser manipulada o con poca presión de los dedos.
Moderada	Se desmenuza o se fragmenta con una presión considerable de los dedos.
Fuerte	No se desmenuza ni se fragmenta con la presión de los dedos.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

***i. Estructuración***

Observe y anote la descripción de la estructura de un suelo inalterado, de acuerdo con los criterios siguientes de la tabla 8.8.

**Tabla 8.8 Criterio para la descripción de la estructura.**

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>
Estratificada	Capas alternadas de material o color variable, de al menos 6 mm de espesor; registre el espesor.
Laminar	Capas alternadas de material o color variable, menores de 6 mm de espesor; registre el espesor.
Fisurada	Roturas a lo largo de planos definidos con poca resistencia a la fractura.
Espejo de falla	Los planos de fractura aparecen pulidos o con brillo, algunas veces estriados.
En forma de bloque	Suelos cohesivos que pueden quebrarse en terrones angulares más pequeños, los cuales resisten una futura fracturación.
Lenticular	Inclusión de pequeñas bolsas de diferentes suelos, tales como pequeños lentes de arena esparcidos en toda la masa de arcilla; registre el espesor.
Homogénea	Mismo color y apariencia en todo el suelo.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

***j. Rango de tamaño de las partículas***

Describe el rango de tamaño de las partículas para los componentes de arenas y gravas, según se define en la “terminología” del apartado 8.3.

Nota: Considere la subdivisiones de tamaño de la grava y arena, por ejemplo: aproximadamente 20% de grava fina a gruesa, aproximadamente 40% de arena fina a gruesa.



**k. Tamaño máximo de la partícula.**

Describa el tamaño máximo de la partícula en la muestra, de acuerdo a la siguiente información:

**Tabla 8.9 Criterios para la determinación del tamaño máximo de la partícula.**

Descripción	Criterio
Arena	Describa como fina, media o gruesa, según lo definido en la terminología del apartado 8.3. Ejemplo: tamaño máximo de la partícula, arena media.
Grava	Describa el tamaño máximo de la partícula como la abertura de malla más pequeña por la que pasa ésta, por ejemplo, si el tamaño máximo de la partícula es de 1 ½", implica que la partícula pasa un tamiz de 1 ½" pero no uno de ¾".
Guijarro o Boleo (Canto rodado)	Describa la dimensión máxima de la partícula de mayor tamaño. Por ejemplo: dimensión máxima, 450 mm (18").

• **Dureza**

Describa la dureza de la arena gruesa y de las partículas más grandes como dura o indique qué sucede cuando las partículas son golpeadas con un martillo.

Por ejemplo: las partículas del tamaño de las gravas se fracturan con un golpe considerable de martillo y otras se desmenuzan.

Nota: "Dura" significa que las partículas no se resquebrajan, fracturan o desmenuzan bajo un golpe de martillo.

**8.8.4 Preparación de la muestra para la identificación de suelos.**

- a) Separe de forma manual las partículas mayores de 75 mm (3") en muestras sueltas y en muestras inalteradas, sepárelas de forma visual, antes de su clasificación.
- b) Estime y anote el porcentaje de guijarros y boleos (cantos rodados), por medio de un procedimiento visual.

Nota: La estimación del porcentaje de guijarros y cantos rodados deberá hacerse en base al volumen total de la muestra, por lo que debe especificarse en el informe.

c) Estime y registre el porcentaje en masa seca de las fracciones de grava, arena y finos por uno de los siguientes métodos:

- *Método de la jarra:*

El porcentaje de las partículas de grano grueso y fino del material puede ser estimado agitando completamente una mezcla de suelo y agua en un tubo de ensayo o recipiente y dejándola reposar. Las partículas más gruesas caerán al fondo y seguidamente se depositarán las partículas más finas en un tiempo mayor; las arenas dejarán de estar en suspensión entre 20 y 30 s. Las proporciones relativas pueden ser estimadas del volumen relativo de cada tamaño por separado).

Nota: Este método deberá ser correlacionado con las determinaciones del tamaño de las partículas en laboratorio.

- *Método visual:*

Visualice mentalmente las partículas del tamaño de las gravas sobrepuestas en un saco o recipiente, realizando el mismo procedimiento con las partículas del tamaño de arena y finos. Posteriormente compare cada una de las porciones para estimar de forma aproximada, el porcentaje de las partículas mayores y menores al tamiz No. 4 presentes en la muestra. Los porcentajes de arenas y finos de la porción menor que la malla No. 4 deben ser estimados con el método abajo descrito (Método de lavado).

- *Método de lavado (para porcentajes relativos de arena y finos):*

Seleccione y humedezca suficientemente la muestra de material menor que la malla No. 4 y forme un cubo de suelo de 25 mm (1”), luego corte el cubo por la mitad, coloque a un lado una de las mitades y la otra en un plato pequeño. Lave la porción colocada en el plato y decante los finos del material hasta que el agua del lavado se observe clara y compare las dos muestras. Estime el porcentaje en peso de arena y finos.

Notas:

- Durante el lavado podría ser necesario quebrar o desmenuzar terrones finos con los dedos, para obtener mejores resultados.

- Los porcentajes de partículas de grava, arena y finos; deberán ser estimados con una aproximación del 5% y la suma de dichos porcentajes deberá ser el 100%.
  - Si uno de los componentes (grava, arena y finos) esta presente en una cantidad menor a ser considerada del 5%, indique su presencia empleando el término “traza”, la cual no deberá ser estimada en el 100% del total de los componentes.
- d) Identifique preliminarmente el suelo (en base a los porcentajes estimados en el paso anterior), como:
- *Suelo de grano fino*: si contiene el 50% o más de finos, si este es el caso proceda como se describe en el procedimiento del apartado 8.8.5.
  - *Suelo de grano grueso*: si contiene menos del 50% de finos, luego proceda como se describe en el apartado 8.8.8.

### 8.8.5 Identificación de suelos de grano fino

1. Seleccione una muestra representativa del material para examinarlo y remueva de ella las partículas que se retienen en el tamiz No. 40 (arena mediana y gruesa) hasta obtener un espécimen de aproximadamente un puñado de material. Utilice este espécimen para realizar los ensayos siguientes:

#### 1.1 Resistencia en seco:

- a) Tome una porción de la muestra seleccionada anteriormente, lo suficiente para moldear una bola de aproximadamente 25 mm (1”) de diámetro.
- b) Agregue agua al suelo, moldee el material hasta que tenga la consistencia de una masilla y haga por lo menos tres especímenes de ensayo en forma de bola de 12 mm (½”) de diámetro (ver figura 8.5).



**Figura 8.5** Especímenes de ensayo con diámetro aproximado de 12 mm.

- c) Seque los especímenes de ensayo exponiéndolos al aire, al sol o utilizando métodos artificiales, siempre y cuando la temperatura no exceda los 60 °C.

Notas:

- Si la muestra de ensayo contiene terrones secos de forma natural, aquéllos que son de aproximadamente 12 mm (½") de diámetro pueden ser usados en lugar de las bolas moldeadas.
- El proceso de moldeado y secado normalmente produce resistencias más altas que las que se obtendrían en los terrones secos del suelo.

- d) Determine la resistencia en seco de las bolas o terrones comprimiéndolas entre los dedos.

- e) Anote la resistencia en seco de acuerdo a los criterios descritos en la tabla 8.10.

**Tabla 8.10 Criterio para describir la Resistencia en seco de un suelo.**

Descripción	Criterio
Ninguna	El espécimen seco se desmenuza en polvo con poca presión en su manipulación
Baja	El espécimen seco se desmenuza en polvo con alguna presión de los dedos.
Media	El espécimen seco se rompe en pedazos o se desmenuza con considerable presión de los dedos.
Alta	El espécimen seco no se puede quebrar con la presión de los dedos. Se quebrará en pedazos entre los dedos y una superficie dura.
Muy alta	El espécimen seco no se puede quebrar entre los dedos contra una superficie dura.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Nota: La presencia de una alta resistencia de los materiales cementantes solubles en agua como el carbonato de calcio, pueden causar resistencias secas excepcionalmente altas. La presencia de carbonato de calcio usualmente puede detectarse de la intensidad de la reacción con una solución de ácido clorhídrico (como se describe en 8.8.3, literal f).

## 1.2 Dilatación:

- a) Tome una porción de la muestra seleccionada en el paso 1 de este apartado, de manera que sea suficiente para formar una bola de 12 mm (½") de diámetro.
- b) Agregue agua si es necesario y moldee el material hasta que tenga una consistencia suave pero no pegajosa.

- c) Aplane la bola de suelo en la palma de la mano empleando una espátula pequeña. Luego agite en dirección horizontal golpeando vigorosamente el costado de la mano contra la otra varias veces (ver figura 8.6).



**Figura 8.6** Proceso de agitado del suelo en dirección horizontal.

- d) Presione la muestra cerrando la mano o apretando el suelo entre los dedos y observe la reacción del agua que aparece en la superficie del suelo; esto es la velocidad con la que el agua aparece mientras se agita y desaparece mientras se apreta.
- e) Anote la reacción de acuerdo con los criterios descritos en la tabla 8.11.

**Tabla 8.11** Criterio para describir la dilatancia de un suelo

Descripción	Criterio
Ninguna	No hay cambios visibles en el espécimen.
Lenta	El agua aparece lentamente en la superficie del espécimen cuando se está sacudiendo y no desaparece o desaparece lentamente cuando se aprieta o se exprime.
Rápida	El agua aparece rápidamente en la superficie del espécimen cuando es sacudido y desaparece rápidamente al ser exprimido o apretado.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

### 1.3 Tenacidad:

- f) Forme con el espécimen del ensayo anterior un hilo de aproximadamente 3 mm (1/8 pulg) de diámetro, rodándolo entre las palmas de las manos o en una superficie lisa.

Nota: Si la muestra está demasiado húmeda y no se puede rodar fácilmente, se debe extender en una capa delgada para permitir que pierda un poco de agua por evaporación.

- g) Doble los hilos formados, vuélvalos a enrollar en varias ocasiones hasta que el hilo se desmenuce en un diámetro cercano a 3 mm (1/8 pulg). Observe la presión requerida para rodar el hilo, así como su resistencia.

Nota: El hilo se desmenuzará a un diámetro de 3 mm (1/8 pulg), cuando el suelo este cerca de su límite plástico.

- h) Una las piezas o porciones amasándolas hasta que se desmenuce nuevamente y anote la tenacidad del material de acuerdo con el criterio descrito en la tabla 8.12.

**Tabla 8.12 Criterio para describir la tenacidad de un suelo**

Descripción	Criterio
Baja	Solo se necesita poca presión para rodar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y el terrón son débiles y suaves.
Media	Es necesaria una presión media para rodar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y el terrón son medio rígidos.
Alta	Se necesita una presión considerable para rodar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y el terrón son muy rígidos.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

### 1.4 Plasticidad

- i) Describa la plasticidad del material en base a las observaciones realizadas durante el ensayo para la determinación de la dureza de un suelo y de acuerdo con los criterios descritos en la Tabla 8.13.

**Tabla 8.13 Criterio para describir la plasticidad de un suelo.**

Descripción	Criterio
No plástica	Un hilo de 1/8 pulg (3 mm) no puede ser rodado con ningún contenido de agua.
Baja	El hilo apenas puede ser rodado y el terrón no se puede formar cuando esta más seco que el límite plástico.
Media	El hilo es fácil de rolar y se llega rápidamente al límite plástico. El hilo puede ser rodado después de alcanzar el límite plástico. El terrón se desmenuza si se seca más allá del límite plástico.
Alta	Toma considerable tiempo y amasamiento para alcanzar el límite plástico. El hilo se puede rolar varias veces después de alcanzar el límite plástico. El terrón puede ser formado sin desmenuzarse cuando esta más seco del límite plástico.

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

- j) Observe si el suelo de grano fino es inorgánico u orgánico, luego proceda según sea el caso con la “*identificación de un suelo de grano fino inorgánico*” (apartado 8.8.6) o “*identificación de un suelo de grano fino orgánico*” (apartado 8.8.7)

#### **8.8.6 Identificación de suelos de grano fino inorgánicos.**

- a) Identifique el suelo como una arcilla magra (CL), arcilla grasa (CH), un limo (ML) o limo elástico (MH), en base a los resultados observados de los ensayos de resistencia en seco, dilatancia, tenacidad y plasticidad expuestos en la siguiente tabla:

**Tabla 8.14 Identificación de suelos de grano fino inorgánicos por medio de ensayos manuales.**

Símbolo del suelo	Resistencia en seco	Dilatancia	Tenacidad	Plasticidad
ML	Ninguna a baja	Lenta a rápida	Baja ó el rollito no se puede formar	Baja ó no plástico
MH	Baja a media	Ninguna a lenta	Baja a media	Baja a media
CL	Media a alta	Ninguna a lenta	Media	Media
CH	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	Alta

Fuente: Norma ASTM D 2488-00, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Notas:

- Un limo elástico (MH) posee propiedades similares a una arcilla pobre (CL). Sin embargo, los limos secan rápidamente en la mano y poseen una textura lisa y sedosa cuando se encuentran en estado seco.
- Para algunos suelos que se clasificarían como MH, puede ser necesario realizar ensayo de laboratorio para identificación adecuada, ya que son visualmente difíciles de distinguir de las arcillas delgadas (CL).

b) Añada una frase complementaria al nombre del grupo del suelo, siguiendo los siguientes criterios:

- Si estima que el suelo posee de un 15% a 25% de arena, grava o ambos, las palabras "con arena" o "con grava" (el que más predomine) se agregue al nombre de grupo. Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, utilice "con arena".
- Si estima que el suelo tiene un 30% o más de arena, grava o ambos, se agregue la palabra "arenosa" o "gravosa" al nombre de grupo. Complete añadiendo la palabra "arenoso" si parece que el suelo contiene más arena que grava ó la palabra "gravosa" si parece existir más grava que arena. Si el porcentaje de arena es igual al de grava use "arenoso."

c) Exprese la identificación de la muestra de suelo, proporcionado la siguiente información:

Nombre de grupo del suelo, frase complementaria (símbolo de grupo del suelo), color del suelo húmedo, grado de la plasticidad, porcentaje aproximados de arena y grava, tamaño máximo de las partículas gruesas y la información descriptiva.

#### **8.8.7 Identificación de suelos de grano fino orgánicos.**

d) Identifique el suelo como orgánico (OL/OH), si éste contiene suficientes partículas orgánicas que influyan en sus propiedades. Los suelos orgánicos normalmente tienen un color de castaño oscuro a negro y pueden tener un olor orgánico.

Notas:

- En algunos casos los suelos orgánicos cambian de color, por ejemplo de negro a café cuando son expuestos al aire.



- En algunos casos a través de la práctica y la experiencia, puede ser posible identificar con mayor detalle los suelos orgánicos como limos orgánicos o arcillas orgánicas (OL ó OH).
- Se pueden realizar correlaciones entre la dilatancia, resistencia en seco, dureza y ensayos de laboratorio para identificar suelos orgánicos en ciertos depósitos de materiales similares de un origen geológico conocido.

### 8.8.8 Identificación de suelos de grano grueso

1. Determine el nombre y símbolo de grupo del suelo, en base a los porcentajes estimados en el apartado 8.8.4 literal c y utilizando los criterios descritos en la tabla 8.15.

**Tabla 8.15 Identificación del nombre y símbolo de grupo de un suelo de grano grueso.**

<b>Criterio</b>	<b>Nombre y símbolo de grupo</b>
% de grava estimada es mayor que el % de arena	Grava ( G )
% de grava estimada es igual o menor que el % de arena	Arena ( S )

2. Tomando como base la estimación del porcentaje de finos realizada en el 8.8.4 literal c, seleccione uno de los siguientes procedimientos:

#### 2.1 Porcentaje de finos es menor o igual al 5%

- a) Identifique el suelo como una grava bien graduada (GW) o como una arena bien graduada (SW), si éste posee un rango amplio de tamaños de partículas y cantidades sustanciales para los tamaños intermedios.
- b) Identifique un suelo como una grava mal graduada (GP) o como una arena mal graduada (SP), consiste predominantemente de un solo tamaño de partículas (uniformemente graduada), ó si tiene una gama amplia de tamaños con algunos tamaños intermedios que no están presentes. (graduación estrecha o discontinua).
- c) Si el espécimen de ensayo contiene predominantemente grava o arena en un estimado del 15% o más del otro constituyente de grano grueso, las palabras "con grava" o "con arena" se agregará al nombre de grupo.
- d) Si la muestra del campo contiene cualquier guijarro o cantos rodados, o ambos, las palabras "con guijarros" o "con guijarros y cantos rodados" se agregará al nombre de grupo.

## 2.2 **Porcentaje de finos estimado es mayor o igual al 15%**

- a) Identifique el suelo como una grava arcillosa (GC) o una arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos como es definido en la identificación de suelo de grano fino (apartado 8.8.5).
- b) Clasifique el suelo como una grava limosa (GM) o una arena limosa (SM), si los finos son limosos como es definido en la identificación de suelo de grano fino (apartado 8.8.5).
- c) Si el espécimen de ensayo contiene predominantemente grava o arena en un estimado del 15% o más del otro constituyente de grano grueso, las palabras "con grava" o "con arena" se agregará al nombre de grupo.
- d) Si la muestra del campo contiene cualquier guijarro o cantos rodados, o ambos, las palabras "con guijarros" o "con guijarros y cantos rodados" se agregará al nombre de grupo.

## 2.3 **Porcentaje de finos estimado es igual al 10%**

- a) Si se estima que el suelo contiene 10 % de finos, proporcione al suelo una identificación dual empleando símbolos de dos grupos.

Notas:

- El primer símbolo de grupo corresponderá a una grava o arena limpia (GW, GP, SW, SP) y el segundo símbolo deberá corresponder a una grava o arena con finos (GC, GM, SC, SM).
- El nombre de grupo debe corresponder al primer símbolo de grupo más las palabras "con arcilla" o "con limo" para indicar las características de plasticidad de los finos. Por ejemplo: "grava bien graduada con arcilla, GW-GC" o "arena pobremente graduada con limo, SP-SM".

3. Exprese la identificación de la muestra de suelo, proporcionado la siguiente información:

Nombre de grupo del suelo, frase complementaria (símbolo de grupo del suelo), color del suelo húmedo, grado de la plasticidad, porcentaje aproximados de arena y grava, tamaño máximo de las partículas gruesas y la información descriptiva.

### **8.8.9 Identificación de turbas**

Una muestra compuesta principalmente de tejidos vegetales en varios estados de descomposición que tienen una textura fibrosa amorfa, normalmente un color castaño oscuro a negro, y un olor orgánico, se designará como un suelo muy orgánico y se identificará como turba, PT y no se sujetará a los procedimientos de identificación descritos en este ensayo.

### **8.9 Cuestionario:**

- ❖ Mencione dos alcances de la práctica de la norma ASTM D 2488-00.
- ❖ Mencione dos aplicaciones de la práctica de la norma ASTM D 2488-00.
- ❖ Defina los términos siguientes: grava, arena, limo orgánico, arcilla según la norma ASTM D 653.
- ❖ Mencione 4 ensayos manuales que se deben realizar a un suelo, identificado preliminarmente como de grano fino.
- ❖ Mencione 5 características para realizar la descripción de una muestra de suelo.

### **8.10 Contenido del reporte:**

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Nombre de grupo
- ❖ Símbolo de grupo
- ❖ Porcentaje de guijarros, cantos rodados o ambos (por volumen).
- ❖ Porcentaje de grava, arena, finos o los tres (por peso seco)
- ❖ Rango del tamaño de la partícula:
  - Grava: fina , gruesa
  - Arena: fina, media o gruesa
- ❖ Angulosidad de la partícula
- ❖ Forma de la partícula: (si aplica)
- ❖ Tamaño máximo o dimensión máxima de la partícula
- ❖ Dureza de arenas gruesas y partículas mayores
- ❖ Plasticidad de finos
- ❖ Resistencia en seco
- ❖ Dilatancia
- ❖ Tenacidad

- ❖ Color: en condición húmeda
- ❖ Olor: mencione si es orgánico o inusual
- ❖ Condición de humedad
- ❖ Reacción con HCl

***Para muestras inalteradas:***

- ❖ Consistencia (para suelos de grano fino)
- ❖ Estructuración
- ❖ Cementación
- ❖ Nombre local
- ❖ Interpretación geológica
- ❖ Comentarios adicionales

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”**



**PRACTICA PARA LA DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS  
(PROCEDIMIENTO VISUAL-MANUAL)  
(BASADA EN ASTM D 2488-00)**

Proyecto: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_

**CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS**

Muestra No.	Angulosidad	Forma	Color	Olor	Condición de humedad	Reacción HCL	Consistencia	Cementación	Estructuración	Dureza	Descripción

**IDENTIFICACIÓN DE SUELOS**

Muestra No.	Resistencia en seco	Dilatancia	Tenacidad	Plasticidad	Clasificación

**HOJA 8.1**

## ENSAYO N° 9

### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CENIZA Y MATERIA ORGANICA DE TURBAS Y OTROS SUELOS ORGANICOS (BASADA EN ASTM D 2974-00)

#### 9.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación del contenido de ceniza y materia orgánica de turbas y otros suelos orgánicos, conforme a la norma ASTM D 2974-00.
- ❖ Determinar correctamente el contenido de ceniza y materia orgánica de un suelo orgánico por medio del método de ensayo descrito en la Norma ASTM D 2974-00.

#### 9.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

D 2974 Método de ensayo para la determinación del contenido de humedad, ceniza y materia orgánica de turbas y otros suelos orgánicos.

D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.

D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.

#### 9.3 Definiciones:

##### ***Contenido de ceniza:***

Se define como el porcentaje en peso seco del material remanente de un suelo orgánico o de una turba, que ha sido secado en un horno y luego calcinado por un método prescrito.

##### ***Contenido de agua:***

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

##### ***Turba:***

Es una sustancia altamente orgánica producida naturalmente, la cual es derivada principalmente de los materiales de las plantas.

Nota: La turba se distingue de otros suelos orgánicos por su bajo contenido de ceniza (menos que el 25 % de su peso seco) y de otro material fitogénico de alto grado (carbón lignito) por su valor calorífico más bajo en una base saturada de agua.

#### **9.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre los procedimientos para la determinación del contenido de ceniza y contenido de materia orgánica en turbas y otros suelos orgánicos tales como arcillas orgánicas, limos y fangos.

#### **9.5 Resumen del método:**

Inicialmente el contenido de humedad de una muestra de suelo orgánico o turba es determinado por el secado a una temperatura de 105 °C, utilizando el método de ensayo descrito en la Norma ASTM D 2216 (ver ensayo N° 1). El contenido de humedad es expresado como porcentaje de la masa secada en el horno o de como la masa es recibida. Posteriormente el contenido de ceniza es determinado por medio de un proceso de ignición de la muestra secada en el horno, procedente de la determinación del contenido de humedad; en un horno mufla a una temperatura de 440 °C.

El material remanente después de la ignición es la ceniza. El contenido de ceniza es expresado como un porcentaje de la masa de la muestra secada en el horno. La materia orgánica es determinada sustrayendo a 100 el porcentaje de ceniza.

Nota: El método de ensayo D 2974, define 2 procedimientos para determinar el contenido de humedad y de ceniza. Para propósitos geotécnicos y de clasificación se deberán utilizar los métodos A y C respectivamente, los cuales son descritos en este método de ensayo.

#### **9.6 Aplicación e importancia del método:**

- El porcentaje de materia orgánica obtenido por medio de este método de ensayo es importante en la clasificación de turbas y otros suelos orgánicos.

#### **9.7 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*

Alterada y que sea representativa de campo.

- *Horno de Secado:*

Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de 110±5 °C en toda la cámara de secado.

- *Horno mufla:*

Capaz de producir una temperatura constante de 440 °C.



**Figura 9.1** Horno mufla utilizado en la determinación del contenido de ceniza.

- *Balanza:*

Que posea una capacidad mínima de 500 g y una legibilidad de 0.01 g.

- *Lámina de hule o caucho, tela aceitada u otro material no absorbente*

- *Recipiente de evaporación:*

De porcelana, con capacidad mínima de 100 ml.

- *Desecador:*

De tamaño apropiado que contenga gel de sílice o sulfato de calcio anhidrico (drierita).

- *Misceláneos:*

Cucharas, recipientes para contenido de humedad, franelas, guantes de asbesto, papel aluminio, espátula, pinzas, etc.

## **9.8 Procedimiento:**

### ***9.8.1 Muestreo y preparación del espécimen***

- a) Tome una muestra de suelo representativa de campo para realizar el ensayo, luego colóquela en una lámina de caucho rígida y mézclela completamente.
- b) Reduzca la muestra por medio de un cuarteo a la cantidad requerida, para obtener el espécimen de ensayo.

Nota: La muestra deberá ser de 100 g como mínimo, para obtener dos especímenes de ensayo.



- c) Coloque el espécimen de ensayo y la muestra sobrante por separado en contenedores impermeables.

Nota: Se debe trabajar inmediatamente la muestra o realizar el ensayo en un cuarto con alta humedad, para prevenir la pérdida de agua.

### **9.8.2 Determinación del contenido de humedad**

- d) Determine y registre con una aproximación de 0.01g de legibilidad, la masa de los recipientes evaporadores de porcelana con una adecuada cubierta de papel aluminio, identificándolos debidamente.

- e) Coloque en el recipiente de evaporación un mínimo de 50 g del espécimen de ensayo preparado anteriormente (apartado 9.8.1).

Nota: Triture suavemente los terrones en el espécimen con una cuchara o espátula y verifique que su espesor en el recipiente de evaporación no exceda los 3 cm.

- f) Cubra inmediatamente el recipiente de evaporación con su tapa de papel aluminio, luego determine y registre la masa cercana a 0.01 g.



**Figura 9.2** Determinación de la masa de suelo + recipiente de evaporación utilizando una balanza de 0.01 g de legibilidad.

- g) Coloque en el horno el espécimen y seque la muestra descubierta por un tiempo mínimo de 16 horas a una temperatura de 105 °C (ver ensayo No.1 ASTM D 2216) o hasta que no exista ningún cambio en la masa de la muestra, luego de períodos de secado en exceso de 1 hora.

- h) Retire del horno el recipiente de evaporación con la muestra, cúbrala ajustadamente y enfríela en un desecador. Posteriormente determine y registre la masa seca del espécimen con una aproximación de 0.01g.

### 9.8.3 Determinación del contenido de ceniza

- a) Retire la cubierta de papel aluminio del recipiente de evaporación que contiene el espécimen de ensayo recién utilizado en la determinación del contenido de humedad y colóquelo en el horno mufla.

Nota: Para la determinación del contenido de ceniza puede ser utilizada una porción o la totalidad de la muestra secada en el horno, si se utiliza una porción de ésta se deberá determinar nuevamente la masa seca del espécimen más el recipiente de evaporación.

- b) Aplique gradualmente la temperatura en el horno hasta llevarla a 440 °C y manténgala hasta que el espécimen este completamente cenizo (esto es que no exista ningún cambio en la masa después del periodo de calentamiento).



**Figura 9.3** Colocación en el horno mufla del recipiente conteniendo la muestra.

- c) Cubra con papel aluminio la muestra, enfríela en un desecador y determine la masa del recipiente de evaporación con la muestra, con una precisión de 0.01 g.

## 9.9 Cálculos:

### 9.9.1 Determinación del contenido de humedad

Calcule el contenido de humedad del espécimen de ensayo, utilizando la siguiente ecuación:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 9.1}$$

Donde:

$\omega$  = contenido de humedad, %

- $M_{h+r}$  = masa del espécimen húmedo + recipiente, g,
- $M_{s+r}$  = masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,
- $M_r$  = masa del recipiente, g,
- $M_w$  = masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,
- $M_s$  = masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

### 9.9.2 Determinación del contenido de ceniza

Calcule el contenido de ceniza ( $C_c$ ) de la siguiente manera:

$$C_c \% = \frac{M_c}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec 9.2}$$

Donde:

$C_c$  % = Contenido de ceniza, en porcentaje.

$M_c$  = Masa de ceniza, en g.

$M_s$  = Masa seca del espécimen, en g.

### 9.9.3 Determinación del contenido de materia orgánica

Calcule el porcentaje de la cantidad de materia orgánica, como sigue:

$$C_{ma} \% = 100 - C_c \quad \text{Ec. 9.3}$$

Donde:

$C_{ma}$  = Contenido de materia orgánica, en porcentaje

$C_c$  % = Contenido de ceniza, en porcentaje.

Nota: La calidad de los resultados producidos por este ensayo dependerán de la competencia del personal que lo ejecute, de la aplicabilidad del equipo y de las facilidades usadas.

## 9.10 Ejemplo:

- Determine el contenido de humedad con los siguientes datos:

Masa del recipiente : 95.73 g

Masa húmeda del espécimen + recipiente : 182.35 g

Masa seca del espécimen + recipiente : 161.38g

Sustituyendo los datos en la ecuación 9.1 se tiene:

$$W \% = \frac{182.35 - 161.38}{161.38 - 95.73} \times 100 = 31.94 = 32\%$$

- Determine el contenido de ceniza con los siguientes datos:

Masa de ceniza (sin recipiente) : 61.62

Masa seca del espécimen : 65.65 g

Sustituyendo los datos en la ecuación 9.2 se tiene:

$$C_c = \frac{61.62}{65.65} \times 100 = 93.9\%$$

- Calcule el porcentaje de la cantidad de materia orgánica, utilizando la ecuación 9.3 como sigue:

$$C_{ma} (\%) = 100 - 93.86$$

$$C_{ma} (\%) = 6.1 \%$$

#### 9.11 Cuestionario:

- ❖ Mencione uno de los alcances del ensayo para la determinación del contenido de ceniza y materia orgánica, según la norma ASTM D 2974-00.
- ❖ ¿Cuál es la importancia de la determinación del porcentaje de materia orgánica en un suelo?
- ❖ Escriba la ecuación que se utiliza para determinar el contenido de ceniza de un suelo.
- ❖ Defina el término “contenido de ceniza”, según la norma ASTM D 653.

#### 9.12 Contenido del reporte:

- ❖ Resultados del contenido de materia orgánica y contenido de ceniza, con una precisión de 0.1 %.
- ❖ Temperatura usada en el horno mufla para la determinación del contenido de ceniza.
- ❖ Expresar si el contenido de humedad esta en proporción de masa recibida o masa secada al horno.
- ❖ Expresar los resultados del contenido de humedad como porcentaje de masa secada al horno, como sigue:
  - Abajo del 100% con precisión de 1%.
  - Entre 100% y 500% con precisión de 5%
  - Entre 500% y 1000% con precisión de 10%
  - Arriba de 1000% con precisión de 20%



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CENIZA Y MATERIA  
 ORGANICA DE TURBAS Y OTROS SUELOS ORGANICOS  
 (Basada en ASTM D 2974-00)**

Proyecto	: Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo	: 26/10/2005
Lugar de procedencia	: Campus UES	Laboratorista	: SLGT, MORL
T° del horno mufla	: 440 °C	Calculó	: SLGT, MORL

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

No. de Muestra		1	2		
No. de Recipiente		1	2		
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g	95.6	95.73		
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g	158.54	182.35		
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g	143.34	161.38		
Masa de agua ( $M_w$ )	g	15.2	20.97		
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g	47.74	65.65		
<b>Contenido de agua</b>	<b>%</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		

**CONTENIDO DE CENIZA**

Masa de ceniza + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g	140.1	157.35		
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g	95.6	95.73		
Masa de ceniza	g	44.5	61.62		
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g	47.74	65.65		
Contenido de ceniza ( $C_c$ )	%	93.2	93.9		
<b>Contenido de materia orgánica (<math>C_{ma}</math>)</b>	<b>%</b>	<b>6.8</b>	<b>6.1</b>		

Observaciones: El contenido de humedad esta en proporcion de masa secada al horno

---

## ENSAYO N° 10

### DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS (BASADA EN AASHTO T 99-01)

#### 10.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de las características de compactación de los suelos, conforme a la norma AASHTO T 99-01.
- ❖ Determinar correctamente el peso específico seco máximo del suelo ensayado y el contenido de humedad óptimo del mismo, por medio del método descrito en la norma AASHTO T 99-01.

#### 10.2 Documentos de referencia:

##### Normas AASHTO

- T 99 Método de ensayo para la relación humedad-densidad de suelos, utilizando un apisonador de 2.5 Kg (5.5 lb) y una caída de 305 mm (12 pulgadas).
- T 19/T 19M Densidad en masa (Peso Unitario) y vacíos en agregados.
- T 224 Corrección para partículas gruesas en el ensayo de compactación de un suelo.
- T 265 Determinación en laboratorio del contenido de humedad de un suelo.

##### Normas ASTM

- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 698 Método de ensayo de laboratorio para las características de compactación de un suelo, utilizando un esfuerzo normado de  $600 \text{ KN-m/m}^3$  (12,400 lb-pie / pie<sup>3</sup>).

#### 10.3 Definiciones:

##### *Contenido de humedad, w(%) :*

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

***Contenido de humedad óptimo,  $w_{op}$  (%):***

Es el contenido de agua con el que se logra el peso unitario seco máximo de un suelo.

***Curvas de compactación (Curva Proctor):***

Es la curva que muestra la relación entre el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua de un suelo, para un esfuerzo de compactación dado.

***Esfuerzo normal:***

Es el término para un esfuerzo de compactación de 12,400 lb-pie/pie<sup>3</sup>, aplicado por el equipo y método de este ensayo.

***Peso unitario húmedo ( $\gamma_m$ ):***

Es el peso por unidad del volumen total de un suelo o masa de roca (sólidos más agua), independientemente de su grado de saturación.

***Peso unitario máximo,  $\gamma_{m\acute{a}x}$ , lbf/pie<sup>3</sup> (KN/m<sup>3</sup>):***

Es el máximo valor del peso unitario seco, definido por el pico de la curva de compactación.

***Peso unitario seco,  $\gamma_d$ :***

Se define como el peso de los sólidos del suelo o roca por unidad del volumen total de la masa de suelo o roca.

***Porcentaje de compactación:***

Es la relación, expresada como porcentaje entre el peso unitario seco de un suelo y el peso unitario máximo obtenido en un ensayo de compactación en laboratorio.

***Fracción sobredimensionada (fracción gruesa),  $F_g$  (%):***

Es la fracción de la muestra total no utilizada en la realización del ensayo de compactación, ésta podría ser la fracción de la muestra total retenida en la malla No 4 (4.75 mm) ó ¾" (19 mm).

***Fracción de ensayo (fracción fina)  $F_f$  (%):***

Es la fracción de la muestra total utilizada en el ensayo de compactación, ésta es la fracción que pasa la malla No 4 (4.75mm) ó ¾" (19 mm).

#### 10.4 Alcances:

- Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en laboratorio utilizados para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario de los suelos (curva de compactación), cuando son compactados en un molde de 4” ó 6” de diámetro, por medio de un apisonador de 2.5 Kg (5.5 lb) con una altura de caída de 305 mm (12”).
- Este método de ensayo proporciona cuatro procedimientos alternativos para determinar la relación humedad-densidad de los suelos, los cuales son:
  - *Método A:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) y es compactado en un molde de 4”.
  - *Método B:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) y es compactado en un molde de 6”.
  - *Método C:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz ¾” (19 mm) y es compactado en un molde de 4”.
  - *Método D:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz ¾” (19 mm) y es compactado en un molde de 6”.
- El método de compactación a utilizar deberá ser indicado en las especificaciones del material que será ensayado, en caso contrario gobernará el método A.
- Este método de ensayo aplica a mezclas de suelo que poseen un 40 % o menos de material retenido en el tamiz No 4 (4.75 mm), cuando es utilizado el método A o B y un 30 % o menos de material retenido en el tamiz ¾” (19 mm), cuando es aplicado el método C o D.
- Si el espécimen de ensayo contiene más del 5% en masa de partículas de sobretamaño (fracción gruesa) y será empleado en la densidad de campo en el control de compactación, deben realizarse correcciones según se indica en la Norma AASHTO T 224 para comparar la densidad total en el campo con la densidad del espécimen compactado.
- Si es excedida la tolerancia máxima de partículas de sobretamaño especificada, deberá ser utilizado otro método de control de compactación.



Nota: Un método de compactación para suelos que exceden la tolerancia máxima de partículas de sobretamaño es realizar un ensayo en un terraplén para determinar el grado de compactación requerido. Luego se debe usar un método de especificación para el control de la compactación detallando el tipo y tamaño del equipo de compactación, el espesor levantado y el número de pasadas.

### **10.5 Resumen del método de ensayo:**

Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en tres capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 2.5 Kg (5.5 lb) con una altura de caída de 12", aplicando de 25 a 56 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 12400 lb-pie/pie<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>), determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como "curva de compactación". Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva.

### **10.6 Aplicación e importancia del método:**

- Suelos que son colocados como relleno, terraplén, relleno de fundación y bases de carreteras; son compactados a una condición de densidad requerida para obtener propiedades de ingeniería satisfactorias tales como la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad.
- El ensayo de compactación en laboratorio provee las bases para la determinación del grado de compactación y contenido de humedad óptimo; necesario para obtener tales propiedades ingenieriles deseadas. Así como también, para control en la construcción, en el aseguramiento de que la compactación requerida y el contenido de agua sean alcanzados.
- Debido a que en el diseño de rellenos, cortes, consolidaciones, permeabilidades y otros ensayos; en los que se requiere la preparación de especímenes por compactación a un contenido de humedad para varios pesos unitarios; es práctica común determinar en primer término el contenido de humedad óptimo ( $\omega_{opt}$ ) y el peso seco unitario máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) por medio de un ensayo de compactación.

## 10.7 Material y equipo:

– *Muestra de suelo:*

Representativa de campo y en condición “secada al aire” o a una temperatura no excedente de 60 °C.

Nota: La masa de la muestra requerida para la ejecución de los métodos A y C deberá ser de aproximadamente 35 lbm (16 Kg) y para los métodos B y D de 65 lbm (29 Kg) en condición seca; por lo que una muestra traída de campo debería tener una masa húmeda de al menos 50 lbm (23 Kg) y 100 lbm (45Kg) respectivamente.

– *Apisonador manual o martillo de compactación:*

Un apisonador metálico con una masa de  $2.495 \pm 0.009$  Kg ( $5.5 \pm 0.02$  lb), que posea una cara circular plana de 50.8 mm (2.0 pulg) de diámetro. El apisonador deberá estar equipado con una manga guía apropiada para el control de la caída libre de  $305 \pm 2$  mm ( $12 \pm 0.06$ ”) sobre la elevación del suelo.

Nota: Existen apisonadores operados mecánicamente de forma alternativa, sin embargo; éstos deberán ser calibrados según la Norma ASTM D 2168.

– *Moldes:*

De pared sólida, metal rígido y forma cilíndrica, con diámetros de  $101.6 \pm 0.41$  mm (4”) y  $152.4 \pm 0.66$  mm (6”), una altura de  $116.43 \pm 0.13$  mm ( $4.584 \pm 0.005$ ”), con capacidades de  $0.000943 \pm 0.000008$  m<sup>3</sup> y  $0.002124 \pm 0.000021$  m<sup>3</sup> respectivamente. Adicionalmente los moldes deben poseer un collarín de montaje removible de aproximadamente 60 mm de altura y una placa base (ver figura 10.1).



**Figura 10.1** Moldes para ensayos de compactación Proctor de 4” y 6” de diámetro

- *Extractor de muestras:*  
Consistente en un gato hidráulico de palanca, marco u otro dispositivo apropiado para extraer el espécimen compactado del molde.
- *Regla enrazadora:*  
De metal rígida con borde biselado teniendo por lo menos una superficie longitudinal plana, dentro de 0.250 mm por 250 mm (0.01 pulg x 10 pulg).
- *Balanza:*  
Con una legibilidad de 0.1 y 1 g.
- *Horno de secado:*  
Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.
- *Tamices:*  
Tamiz de  $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) y No.4 (4.75 mm).
- *Misceláneos:*  
Recipientes de mezclado (charola o bandeja), mortero y pistilo, cucharón, pala, cuchara de albañil, cuchillo, espátula, piseta, u otras herramientas convenientes para mezclar completamente la muestra de suelo con los incrementos de agua, además guantes de hule, probeta de 500 ml, recipientes para contenidos de humedad, vernier, brocha, bolsas plásticas (ver figura 10.2).



**Figura 10.2** Equipo utilizado durante el ensayo de compactación.

## **10.8 Procedimiento:**

### **10.8.1 MÉTODO A**

#### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

- 1) Mida seis veces el diámetro del molde de compactación (Molde de 4") en la parte superior e inferior, utilizando un vernier y registre los valores con una precisión de 0.001 pulgadas (0.02 mm), en la hoja de datos correspondiente.

Nota: Cada una de las seis medidas debe tomarse igualmente espaciada tanto en la parte superior e inferior alrededor de la circunferencia del molde.

- 2) Determine y registre la masa del molde de compactación seleccionado incluyendo su base (sin collarín), con una precisión de 1 g.
- 3) Mida la altura del molde de compactación en la parte interior, tres veces a lo largo de su contorno, utilizando un vernier. Calcule el promedio de las tres medidas tomadas y regístrelo como la altura del molde ( $h_m$ ) en el correspondiente formato.

#### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

1. Exponga al aire la muestra de suelo recibida de campo a una temperatura ambiente o colóquela en un horno de secado mantenido a una temperatura no excedente de 60 °C, hasta que seque completamente.
2. Desmenuce completamente los grumos utilizando un mortero y pistilo, de tal forma que no se reduzca el tamaño natural de las partículas individuales.
3. Tamice una cantidad adecuada y representativa del suelo desmenuzado, utilizando la malla No.4 (4.75 mm) y descarte el material que se retiene en dicho tamiz.

Nota: No se considera apropiado sustituir el material retenido en la malla No. 4 por partículas finas para mantener el mismo porcentaje de material de sobretamaño.

4. Tome 2 muestras de suelo para determinar el contenido de humedad natural según el ensayo D 2216 (Ensayo No.1).
5. Pese 5 muestras de 3 kg cada una, del suelo tamizado anteriormente y posteriormente coloque las muestras en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.
6. Calcule la cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras a compactar, realizando incrementos que varíen en  $\pm 2\%$ , utilizando la siguiente ecuación:

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1} \quad \text{Ec. 10.1}$$

Donde:

- $C_w$  = Cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras de suelo,  $\text{cm}^3$
- $k$  = Masa de la muestra a ensayar con la humedad  $w_1$ , g
- $w_1$  = Humedad que contiene el material a ensayar, en decimales.
- $w_2$  = Humedad a que deberá realizarse el ensayo de compactación, en decimales.

Notas:

- Frecuentemente con la práctica es posible visualizar un punto cercano al contenido de agua óptimo, esto se logra tomando una muestra de suelo y estrujándola con la mano, si ésta se divide limpiamente en dos secciones (sin desmoronarse), éste suelo está cercano al valor de humedad óptimo, el cual puede ser utilizado como punto base para adicionar la cantidad de agua requerida a las muestras de ensayo.
  - Algunos suelos con contenidos de humedad óptimos muy altos o una curva de compactación relativamente plana pueden requerir incrementos más grandes (pero no exceder un 4%) de contenido de agua, para obtener un peso seco unitario máximo bien definido.
7. Coloque una de las muestras de suelo en un recipiente apropiado para el mezclado.
  8. Agregue a la muestra de suelo la cantidad de agua calculada en el paso 5 de este apartado para hacerla llegar a la humedad requerida (ver figura 10.3).



**Figura 10.3** Humedecimiento de la muestra para obtener la humedad requerida para el ensayo Proctor.

- Mezcle completamente la muestra para asegurar una distribución uniforme, colóquela en un recipiente con tapa y déjela reposar durante un tiempo mínimo según el tipo de suelo (vea tabla 10.1).

**Tabla 10.1 Tiempo requerido para el reposo de especímenes húmedos.**

Clasificación	Tiempo de reposo mínimo, h
GW, GP, SW, SP	No requiere
GM, SM	3
Otros suelos	16

Fuente: Norma ASTM D698-00a, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**C) Compactación de la muestra:**

- Ensamble la placa base al molde con el collarín, asegurándolos correctamente.
- Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una tercera parte del molde.
- Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 25 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde (ver figura 10.4).



**Figura 10.4** Compactación de la primera capa de suelo en un molde Proctor.

Notas:

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de  $5^\circ$ .
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raze la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

- 5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar tres capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm ( $1/4''$ ); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado

- 6) Remueva el collarín del molde y corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior de éste usando la regla enrazadora.

Nota: Llène presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

- 7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.

- 8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g (ver figura 10.5).



**Figura 10.5** Determinación de la masa del molde más el suelo húmedo compactado.

- 9) Desmonte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico (figura 10.6). Posteriormente corte el espécimen

axialmente (figura 10.7) y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.



**Figura 10.6** Extracción de la muestra utilizando gato hidráulico



**Figura 10.7** Corte de la muestra para compactada obtener la humedad del suelo.

- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en la norma ASTM 2216 (ensayo No 1).
- 11) Limpie completamente el molde, placa base y collarín para compactar el siguiente espécimen.
- 12) Repita los pasos del numeral 1 al 11 de este literal, para las muestras de suelo restantes.

### **10.8.2 MÉTODO B**

#### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

- 1) Siga el mismo procedimiento según se describió en el método A, excepto que para el método B se utilizará un molde de 6" de diámetro.

#### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

- 2) Prepare el espécimen de ensayo como se describió en el método A, tomando una masa de 7 kg para cada espécimen.

#### ***C) Compactación de la muestra:***

- 1) Ensamble la placa base al molde con el collarín, asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.



- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una tercera parte del molde.
- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 56 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.

Notas:

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de 5°.
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raye la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

- 5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar tres capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm (1/4"); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

- 6) Remueva el collarín del molde y corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior de éste usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

- 7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.
- 8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g.
- 9) Desmonte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico. Posteriormente corte el espécimen axialmente y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.
- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en la norma ASTM 2216 (ensayo No 1).

- 11) Limpie completamente el molde, placa base y anillo para ensayar el próximo espécimen.
- 12) Repita los pasos del numeral 1al 11 de este método (B) para las muestras de suelo restantes.

### **10.8.3 MÉTODO C**

#### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

- 1) Siga el mismo procedimiento según se describió en el método A (con molde de 4” de diámetro).

#### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

- 2) Prepare el espécimen de ensayo como se describió en el método A, utilizando un tamiz de  $\frac{3}{4}$  ”(19.0 mm) excepto que las 5 muestras deben ser de 5 kg (12 lb), del suelo tamizado anteriormente y posteriormente coloque las muestras en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.

#### ***C) Compactación de la muestra:***

- 1) Ensamble la placa base al molde con el collarín, asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una tercera parte del molde.
- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 25 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.

#### **Notas:**

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de 5°.
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raye la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar tres capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm (1/4"); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

6) Remueva el collarín del molde y corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior de éste usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.

8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g.

9) Desmonte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico. Posteriormente corte el espécimen axialmente y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.

10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en ASTM 2216 (ensayo No 1).

11) Limpie completamente el molde, placa base y anillo para ensayar el próximo espécimen.

12) Repita los pasos del numeral 1 al 11 de este método (C) para las muestras de suelo restantes.

#### **10.8.4 MÉTODO D**

##### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

1) Siga el mismo procedimiento según se describió en el método A, excepto que para el método D se utilizará un molde de 6" de diámetro.

##### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

1) Prepare el espécimen de ensayo como se describió en el método C, excepto que las 5 muestras deben ser de 11 kg (25 lb) del suelo tamizado anteriormente y

posteriormente coloque las muestras en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.

**C) Compactación de la muestra:**

- 1) Ensamble la placa base al molde con el anillo, asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una tercera parte del molde.
- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 56 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.

Notas:

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de 5°.
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raye la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

- 5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar tres capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm (1/4"); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

- 6) Remueva el anillo del molde y corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior de éste usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

- 7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.

- 8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g.
- 9) Desmunte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico. Posteriormente corte el espécimen axialmente y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.
- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en la norma AASHTO T 265.
- 11) Limpie completamente el molde, placa base y collarín para compactar el siguiente espécimen.
- 12) Repita los pasos del numeral 1 al 11 de método (D) para las muestras de suelo restantes.

## **10.9 CORRECCIÓN DE LAS PARTÍCULAS GRUESAS EN EL SUELO PARA EL ENSAYO DE COMPACTACIÓN (Basada en AASHTO T 224-01).**

### **10.9.1 Corrección de la densidad seca compactada en laboratorio a la densidad seca en campo.**

1. Esta sección corrige la densidad de laboratorio obtenida por la norma AASHTO T-99 o T-180 para el contenido de humedad y la densidad del material retenido en la malla No 4 (4.75 mm) métodos A y B o en la malla de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg) métodos C y D. La densidad seca máxima de laboratorio ajustada para las partículas de sobretamaño y el contenido de humedad total son comparados con la densidad seca y el contenido de humedad de campo.
2. Este método es limitado a muestras de campo que contienen un 40 % o menos de material retenido en la malla No 4 (4.75 mm) cuando los métodos A o B se han empleado; o 30 % o menos de material retenido en la malla de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg) en los métodos C o D.
3. Determine el contenido de humedad de las partículas finas y de sobretamaño del material usado durante la compactación. Los contenidos de humedad pueden ser determinados por los métodos de ensayo T 265, T 217 o T 255. El contenido de humedad del material de sobretamaño retenido en la malla puede ser asumido y ser el 2 % para la mayoría de aplicaciones en la construcción. Si el contenido de humedad

del material de sobretamaño es generalmente conocido, sustituya el contenido de humedad en los cálculos. Sin embargo, si se dispone de equipo de secado, se recomienda determinar los contenidos de humedad presentes.

4. Calcule la masa seca de las partículas gruesas y finas respectivamente como sigue:

$$M_s = \frac{M_h}{(1 + \omega)} \quad \text{Ec. 10.2}$$

Donde:

$M_s$  = Masa del material seco (partículas finas o de sobretamaño), g

$M_h$  = Masa del material húmedo (partículas finas o de sobretamaño), g

$\omega$  = Contenido de humedad de las partículas finas o de sobretamaño, en decimales.

5. Calcule el porcentaje de las partículas finas y de sobretamaño por peso seco de la muestra total, como sigue:

$$P_f = \frac{100 \times M_{PS}}{(M_{PS} + M_{PST})} \quad \text{Ec. 10.3}$$

$$P_s = \frac{100 \times M_{PST}}{(M_{PS} + M_{PST})} \quad \text{Ec. 10.4}$$

Donde:

$P_f$  = Porcentaje de las partículas más finas que la malla usada, por peso, g

$P_s$  = Porcentaje de las partículas de sobretamaño mayor que la malla usada, por peso, g

$M_{PSf}$  = Masa de partículas finas secas, g

$M_{PST}$  = Masa de partículas de sobretamaño secas, g.

6. Calcule la corrección del contenido de humedad y de la densidad seca de la muestra total (combinadas las partículas finas y de sobretamaño), como sigue:

$$C_\omega = \frac{(C_{pf} \times P_f + C_{ps} \times P_s)}{100} \quad \text{Ec. 10.5}$$

Donde:

$C_\omega$  = Corrección del contenido de humedad de la combinación de las partículas finas y de sobretamaño, en decimal

$C_{pf}$  = Contenido de humedad de las partículas finas, en decimal

$C_{ps}$  = Contenido de humedad de las partículas de sobretamaño, en decimal

$P_f$  = Porcentaje de partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso.

$$C_T = \frac{100 \times D_f \times K}{(D_f \times P_s + k \times P_f)} \quad \text{Ec. 10.6}$$

Donde:

$C_T$  = Corrección de la densidad seca total (combinada de las partículas finas y de sobretamaño), en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$D_f$  = Densidad seca de las partículas finas,  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$P_f$  = Porcentaje de partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso

$K$  = 1000\*Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno ( $G_m$ ) en  $\text{kg/m}^3$

62.4\*Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno ( $G_m$ ) en  $\text{lb/pie}^3$ .

Nota: Si la gravedad específica ha sido determinada, este valor puede ser usado en los cálculos. Determine la Gravedad específica Bulk de acuerdo a la norma T85. Para la mayoría de trabajos de construcción, el valor de la Gravedad específica puede ser asumido como 2.60.

### 10.9.2 Corrección de la densidad húmeda en campo a la densidad compactada en laboratorio.

1. La densidad húmeda total en el lugar (campo) es corregida a una densidad seca de la muestra que pasa la malla No 4 (4.75 mm) o de la muestra que pasa la malla de 3/4 pulg (19 mm). Esta densidad seca corregida es comparada con la densidad seca máxima obtenida por los métodos T-99 o T-180 en laboratorio.
2. Determine el contenido de humedad de la muestra total y para el material retenido en el tamiz usado durante la compactación. El contenido de humedad puede ser determinado por los métodos de ensayo T 265, T 217 o T 255. Si es utilizado el densímetro nuclear para la densidad y la humedad, lea el contenido de humedad directamente del aparato para el contenido de humedad total. El contenido de

humedad del material de sobretamaño retenido en la malla puede ser asumido y ser el 2 % para la mayoría de aplicaciones en la construcción. Si el contenido de humedad del material de sobretamaño es generalmente conocido, sustituya el contenido de humedad en los cálculos. Si se dispone de equipo de secado, se recomienda determinar los contenidos de humedad presente.

3. Calcule el contenido de humedad de las partículas finas de la muestra de campo, como sigue:

$$C_{pf} = \frac{100 \times \omega_t - C_{ps} \times P_s}{P_f} \quad \text{Ec. 10.7}$$

Donde:

$C_{pf}$  = Contenido de humedad de las partículas finas, en decimal

$C_{ps}$  = Contenido de humedad de las partículas de sobretamaño, en decimal.

$\omega_t$  = Contenido de humedad de la muestra total de campo, en decimal.

$P_f$  = Porcentaje de partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso.

4. Calcule la densidad seca de campo de la muestra como sigue:

$$D_s = \frac{D_{ht}}{(1 + \omega_t)} \quad \text{Ec. 10.8}$$

Donde:

$D_s$  = Densidad seca de campo de la muestra total, en kg/m<sup>3</sup> o lb/pie<sup>3</sup>

$D_{ht}$  = Densidad húmeda total de campo, en kg/m<sup>3</sup> o lb/pie<sup>3</sup>

$\omega_t$  = Contenido de humedad de la muestra total de campo, en decimal.

5. Calcule la densidad seca de campo de las partículas finas de la muestra, como sigue:

$$D_f = \frac{D_s \times P_f}{100 - \frac{(D_s \times P_s)}{K}} \quad \text{Ec. 10.9}$$

Donde:

$D_f$  = Densidad seca ajustada de las partículas finas, en kg/m<sup>3</sup> o lb/pie<sup>3</sup>

$D_s$  = Densidad seca de campo de la muestra total, en kg/m<sup>3</sup> o lb/pie<sup>3</sup>

$P_f$  = Porcentaje de las partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso



$K = 1000 \times \text{Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno } (G_m)$   
en  $\text{kg/m}^3$

$62.4 \times \text{Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno}$   
 $(G_m)$  en  $\text{lb/pie}^3$ .

### 10.9.3 Comentarios u observaciones

- Si la gravedad específica ha sido determinada, este valor puede ser usado en los cálculos. Determine la Gravedad específica Bulk de acuerdo a la norma T85. Para la mayoría de trabajos de construcción, el valor de la Gravedad específica puede ser asumido como 2.60.
- Estos métodos descritos para la corrección de partículas gruesa, son aplicables únicamente a un tipo de suelo y a material suelo-agregado. Si las características del material cambian, realice nuevamente el ensayo Proctor (AASHTO T-99 o T-180) para determinar un nuevo valor de densidad máxima.
- Para los propósitos de la determinación de la densidad seca conforme a estas especificaciones, el valor observado o calculado deberá ser redondeado cercano a los  $10 \text{ kg/m}^3$ .

### 10.10 Cálculos:

10.10.1 Calcule el volumen del molde de compactación, como sigue:

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1728)} (\text{lb} - \text{pu lg}) \quad \text{Ec. 10.10}$$

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1000)} (\text{SI}) \quad \text{Ec. 10.11}$$

Donde:

$V_m$  = Volumen del molde de compactación,  $\text{pie}^3$  o  $\text{cm}^3$

$h_i$  = Diámetro promedio de la parte inferior del molde de compactación,  
pulg o mm

$h_s$  = Diámetro promedio de la parte superior del molde de compactación,  
pulg o mm

$d_m$  = Altura promedio del molde de compactación, pulg o mm

1/1728 = Constante para convertir pulg<sup>3</sup> a pie<sup>3</sup>

1/1000 = Constante para convertir mm<sup>3</sup> a cm<sup>3</sup>

10.10.2 Calcule el contenido de humedad de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 10.12}$$

Donde:

$\omega$  = Contenido de agua del espécimen compactado, %

$M_{h+r}$  = Masa del espécimen húmedo + recipiente, g,

$M_{s+r}$  = Masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,

$M_r$  = Masa del recipiente, g,

$M_w$  = Masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,

$M_s$  = Masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

10.10.3 Calcule el peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m} \quad \text{Ec. 10.13}$$

Donde:

$\gamma_h$  = Peso volumétrico húmedo o densidad húmeda del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$M_{h+m}$  = Masa del espécimen húmedo compactado + molde, Kg

$M_m$  = Masa del molde de compactación, Kg

$V_m$  = Volumen del molde de compactación, m<sup>3</sup>

10.10.4 Calcule el peso unitario seco o densidad seca de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{\omega}{100}} \quad \text{Ec. 10.14}$$

Donde:

$\gamma_d$  = Peso unitario seco o densidad seca del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$\gamma_h$  = Peso volumétrico húmedo o densidad húmeda del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$\omega$  = Contenido de humedad, expresado en %

10.10.5 Calcule el contenido de agua para el 100 % de saturación del suelo, como sigue:

$$\omega_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad \text{Ec. 10.15}$$

Donde:

$\omega_{sat}$  = Contenido de agua para la saturación completa, en %

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua a 20 °C , en Kg/m<sup>3</sup>

$G_s$  = Gravedad específica del suelo

$\gamma_d$  = Peso unitario seco o densidad seca del espécimen compactado, en Kg/m<sup>3</sup>

Nota: Dado que la ecuación anterior requiere el valor de la gravedad específica del suelo, ésta puede ser estimada en base a los datos de otras muestras del mismo suelo.

10.10.6 Trace la curva de compactación en papel aritmético, graficando en el eje de las abscisas el contenido de humedad de cada espécimen de suelo compactado ( $\omega\%$ ) y en el eje de las ordenadas el correspondiente peso unitario seco ( $\gamma_d$ ).

10.10.7 Determine el contenido de agua óptimo ( $\omega_{opt}$ ) y el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmáx}$ ) utilizando la curva de compactación. El contenido de agua óptimo ( $\omega_{opt}$ ) corresponde al punto máximo de la curva y el peso unitario seco correspondiente a ese contenido de agua óptimo, será el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmáx}$ ), obteniéndose al trazar una línea horizontal desde el punto máximo hasta interceptar el eje de las ordenadas.

### 10.11 Ejemplo:

Datos:

Masa del espécimen de ensayo = 3000 g

Humedad inicial del suelo  $\omega\%$  = 13.74%

10.11.1 Cálculo de la cantidad de agua necesaria para incrementar la humedad de cada espécimen:

Utilizando la ecuación 10.1 tenemos:

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad C_w = 3000 \times \frac{(0.22 - 0.1374)}{(1 + 0.1374)} = 217.86 \%$$

$$\text{Para } \omega\% = 24\% \quad C_w = 270.62 \text{ ml}$$

$$\text{Para } \omega\% = 26\% \quad C_w = 323.37 \text{ ml}$$

$$\text{Para } \omega\% = 28\% \quad C_w = 376.12 \text{ ml}$$

$$\text{Para } \omega\% = 30\% \quad C_w = 428.87 \text{ ml}$$

10.11.2 Cálculo del volumen del molde de compactación de acuerdo a la ecuación 10.11.

$$V_m = 3.1416 \times \frac{114.5 \times (101.2 + 101.5)^2}{16 \times 1000}$$

$$V_m = 923.72 \text{ cm}^3$$

10.11.3 Cálculo del contenido de humedad de cada espécimen de ensayo compactado utilizando la ecuación 10.12.

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad \omega\% = \frac{128.51 - 108.18}{108.18 - 106.61} \times 100 = 20.84 \%$$

$$\text{Para } \omega\% = 24\% \quad \omega\% = 23.10 \%$$

$$\text{Para } \omega\% = 26\% \quad \omega\% = 24.76 \%$$

$$\text{Para } \omega\% = 28\% \quad \omega\% = 26.75 \%$$

$$\text{Para } \omega\% = 30\% \quad \omega\% = 28.28 \%$$

10.11.3 Cálculo del peso volumétrico húmedo o densidad húmeda, utilizando la ecuación 10.13.

Para  $\omega\% = 22\%$

$$\text{Masa de molde de compactación} = 2037.48 \text{ g}$$

$$\text{Masa de espécimen compactado + molde} = 3561.24 \text{ g}$$

Sustituyendo datos se tiene:

$$\gamma_h = \frac{(3561.24 - 2037.48)}{923.72} = 1.650 \text{ g/cm}^3 = 1650 \text{ Kg/m}^3$$

Para  $\omega\% = 24\%$        $\gamma_h = 1.761 \text{ g/cm}^3 = 1761 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 26\%$        $\gamma_h = 1.770 \text{ g/cm}^3 = 1770 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 28\%$        $\gamma_h = 1.776 \text{ g/cm}^3 = 1776 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 30\%$        $\gamma_h = 1.748 \text{ g/cm}^3 = 1748 \text{ Kg/m}^3$

10.11.4 Cálculo del peso unitario seco o densidad seca de cada espécimen de ensayo compactado, según ecuación 10.14:

Para  $\omega\% = 22\%$

$\omega\% = 20.87\%$  ( humedad real del espécimen compactado)

Sustituyendo valores se obtiene:

$$\gamma_d = \frac{1650}{1 + \frac{20.87}{100}} = 1365 \text{ Kg/m}^3$$

Para  $\omega\% = 24\%$        $\gamma_d = 1431 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 26\%$        $\gamma_d = 1419 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 28\%$        $\gamma_d = 1401 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 30\%$        $\gamma_d = 1362 \text{ Kg/m}^3$

10.11.5 Cálculo del contenido de agua para el 100 % de saturación del suelo, según ecuación 10.15

$$\text{Para } \gamma_d = 1365 \text{ Kg/m}^3 \quad \omega_{sat} = \frac{(1000)(2.61) - 1365}{1365(2.61)} \times 100 = 34.96\%$$

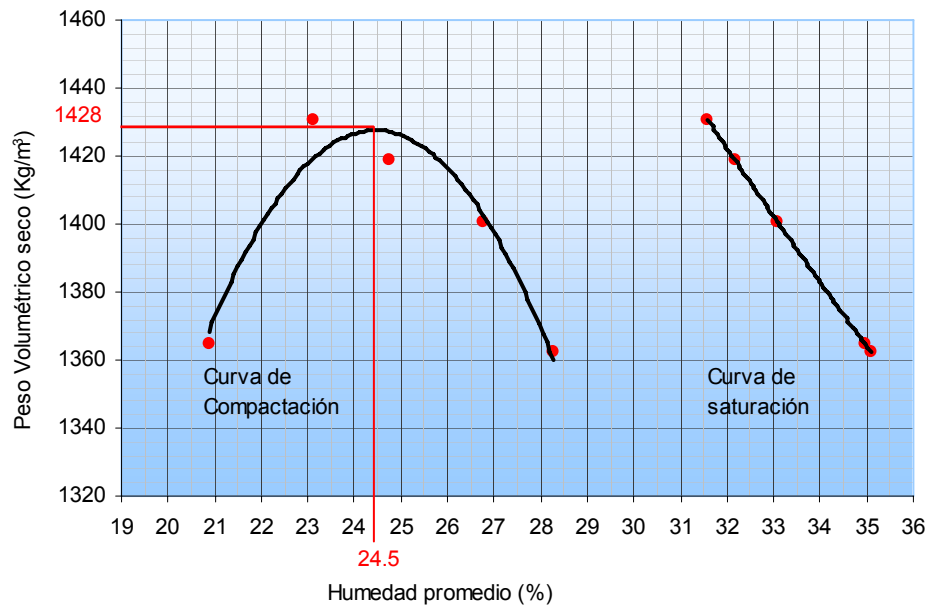
Para  $\gamma_d = 1431 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 31.57\%$

Para  $\gamma_d = 1419 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 32.16\%$

Para  $\gamma_d = 1401 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 33.06 \%$

Para  $\gamma_d = 1362 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 35.11 \%$

#### 10.11.6 Construcción de la curva de compactación y de saturación:



**Figura 10.8** Curva de compactación y de saturación del suelo ensayado.

De la curva de compactación se obtiene:

$$\gamma_{d \text{ máx}} = 1428 \text{ Kg/m}^3$$

$$\omega_{\text{opt}} = 24.5 = 25 \%$$

#### 10.11 Cuestionario:

- ❖ Defina el término contenido de humedad óptimo.
- ❖ Mencione dos alcances del método de ensayo T 99-01
- ❖ Mencione dos aplicaciones del método de ensayo AASHTO T 99-01.
- ❖ ¿Cuál es el número de capas a colocar dentro del molde de compactación en el ensayo T 99?
- ❖ ¿Cuál es el peso y la altura de caída del apisonador de compactación utilizado en el ensayo T 99?

### **10.12 Contenido del reporte:**

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Procedencia del material utilizado en el ensayo, como: proyecto, localización y profundidad.
- ❖ El método de compactación usado (Método A, B, C o D)
- ❖ El contenido de humedad óptimo cercano al número entero próximo, en %.
- ❖ El peso unitario seco máximo cercano hasta los próximos  $10 \text{ kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$  hasta el número entero próximo.
- ❖ Si fueron utilizados los métodos C o D, indicar si el material retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " fue removido o reemplazado.
- ❖ Descripción o clasificación del material utilizado en el ensayo.
- ❖ Gravedad específica del suelo y método de determinación.
- ❖ Curva de compactación del suelo y curva del 100% de saturación.
- ❖ En los métodos C y D, si el material de 19 mm fue removido o reemplazado.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS  
 DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN AASHTO T 99-01)**

Proyecto:	Iglesia del 7° día	Fecha:	11/11/2005
Ubicación:	Mejicanos	No. de golpes:	25
Método de ensayo:	A	No. de molde:	4
Masa del martillo:	4.5 lb	D inferior de molde:	101.20 mm
No. de capas:	5	D superior de molde:	101.50 mm
Altura de molde:	114.50 mm	Gs:	2.61
Humedad del suelo:	13.74 %	Descripción del suelo:	SM, 25% de finos, color café claro

**DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD**

No. de Muestra	1		2		3		4		5	
No. de tara	24	102	87	68	35	59	106	5	30	0-1
Masa de tara (M <sub>t</sub> ) g	10.61	10.55	8.96	9.51	10.43	9.71	9.08	10.63	9.83	17.90
Masa de suelo húmedo+tara (M <sub>h+t</sub> ) g	128.51	122.57	124.02	126.90	127.23	121.01	133.96	133.17	145.13	152.49
Masa de suelo seco + tara (M <sub>s+t</sub> ) g	108.18	103.20	102.45	104.85	103.86	99.11	107.67	107.24	115.31	122.81
Masa de agua (M <sub>w</sub> ) g	20.33	19.37	21.57	22.05	23.37	21.90	26.29	25.93	29.82	29.68
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> ) g	97.57	92.65	93.49	95.34	93.43	89.40	98.59	96.61	105.48	104.91
Contenido de agua %	<b>20.84</b>	<b>20.91</b>	<b>23.07</b>	<b>23.13</b>	<b>25.01</b>	<b>24.50</b>	<b>26.67</b>	<b>26.84</b>	<b>28.27</b>	<b>28.29</b>
%	<b>20.87</b>		<b>23.10</b>		<b>24.76</b>		<b>26.75</b>		<b>28.28</b>	

**DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD - HUMEDAD**

No. de muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo g	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo %	22	24	26	28	30
Volumen de agua a agregar ml	217.87	270.62	323.37	376.12	428.87
Masa de molde g	2037.48	2037.48	2037.48	2037.48	2037.48
Masa de suelo húmedo + molde g	3561.24	3664.5	3672.4	3677.67	3651.84
Volumen del molde g	923.73	923.73	923.73	923.73	923.73
Peso volumétrico húmedo Kg/m <sup>3</sup>	1650	1761	1770	1776	1748
Humedad promedio %	20.87	23.10	24.76	26.75	28.28
Peso volumétrico seco Kg/m <sup>3</sup>	1365	1431	1419	1401	1362
Humedad de saturación %	34.96	31.57	32.17	33.07	35.09

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Humedad óptima : 25 %  
 Peso volum. seco máximo: 1428 Kg/m<sup>3</sup>



## ENSAYO N° 11

### DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS (BASADA EN AASHTO T 180-01)

#### 11.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de las características de compactación de los suelos, conforme a la norma AASHTO T 180-01.
- ❖ Determinar correctamente el peso específico seco máximo del suelo ensayado y el contenido de humedad óptimo del mismo, por medio del método descrito en la norma AASHTO T 180-01.

#### 11.2 Documentos de referencia:

Normas AASHTO

- T 180 Método de ensayo para la relación humedad-densidad de suelos, utilizando un apisonador de 4.54 Kg (10 lb) y una caída de 457 mm (18 pulgadas).
- T 19/T 19M Densidad en masa (Peso Unitario) y vacíos en agregados.
- T 224 Corrección para partículas gruesas en el ensato de compactación de un suelo.
- T 265 Determinación en laboratorio del contenido de humedad de un suelo.

Normas ASTM

- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 1557 Método de ensayo de laboratorio para las características de compactación de un suelo, utilizando un esfuerzo normado de 2700 KN-m/m<sup>3</sup> (56,000 lb-pie / pie<sup>3</sup>).

#### 11.3 Definiciones:

***Contenido de humedad, w(%) :***

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

***Contenido de humedad óptimo,  $w_{opt}$  (%):***

Es el contenido de agua con el que se logra el peso unitario seco máximo de un suelo.

***Curvas de compactación (Curva Proctor):***

Es la curva que muestra la relación entre el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua de un suelo, para un esfuerzo de compactación dado.

***Esfuerzo normal:***

Es el término para un esfuerzo de compactación de 56,000 lb-pie /pie<sup>3</sup>, aplicado por el equipo y método de este ensayo.

***Peso unitario húmedo ( $\gamma_m$ ):***

Es el peso por unidad del volumen total de un suelo o masa de roca (sólidos más agua), independientemente de su grado de saturación.

***Peso unitario máximo,  $\gamma_{máx}$  lbf /pie<sup>3</sup> (KN/m<sup>3</sup>):***

Es el máximo valor del peso unitario seco, definido por el pico de la curva de compactación.

***Peso unitario seco,  $\gamma_d$ :***

Se define como el peso de los sólidos del suelo ó roca por unidad del volumen total de la masa de suelo o roca.

***Porcentaje de compactación:***

Es la relación, expresada como porcentaje entre el peso unitario seco de un suelo y el peso unitario máximo obtenido en un ensayo de compactación en laboratorio.

***Fracción sobredimensionada (fracción gruesa),  $F_g$  (%):***

Es la fracción de la muestra total no utilizada en la realización del ensayo de compactación, ésta podría ser la fracción de la muestra total retenida en la malla No 4 (4.75 mm) o  $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

***Fracción de ensayo (fracción fina)  $F_f$  (%):***

Es la fracción de la muestra total utilizada en el ensayo de compactación, ésta es la fracción que pasa la malla No 4 (4.75mm) o  $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

#### 11.4 Alcances:

- Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en laboratorio utilizados para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario de los suelos (curva de compactación), cuando son compactados en un molde de 4" o 6" de diámetro, por medio de un apisonador de 4.54 Kg (10 lb) con una altura de caída de 457 mm (18").
- Este método de ensayo proporciona cuatro procedimientos alternativos para determinar la relación humedad-densidad de los suelos, los cuales son:
  - *Método A:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) y es compactado en un molde de 4".
  - *Método B:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) y es compactado en un molde de 6".
  - *Método C:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz ¾" (19 mm) y es compactado en un molde de 4".
  - *Método D:* En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz ¾" (19 mm) y es compactado en un molde de 6".
- El método de compactación a utilizar deberá ser indicado en las especificaciones del material que será ensayado, en caso contrario gobernará el método A.
- Este método de ensayo aplica a mezclas de suelo que poseen un 40 % o menos de material retenido en el tamiz No 4 (4.75 mm), cuando es utilizado el método A o B y un 30 % o menos de material retenido en el tamiz ¾" (19 mm), cuando es aplicado el método C o D.
- Si el espécimen de ensayo contiene más del 5% en masa de partículas de sobretamaño (fracción gruesa) y será empleado en la densidad de campo en el control de compactación, deben realizarse correcciones según se indica en la Norma AASHTO T 224 para comparar la densidad total en el campo con la densidad del espécimen compactado.
- Si es excedida la tolerancia máxima de partículas de sobretamaño especificada, deberá ser utilizado otro método de control de compactación.

Nota: Un método de compactación para suelos que exceden la tolerancia máxima de partículas de sobretamaño es realizar un ensayo en un terraplén, para determinar el grado de compactación requerido. Luego se debe usar un método de especificación para el control de la compactación detallando el tipo y tamaño del equipo de compactación, el espesor levantado y el número de pasadas.

### 11.5 Resumen del método de ensayo:

Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en cinco capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 4.54 Kg (10 lb) con una altura de caída de 18", aplicando de 25 a 56 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 56000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>), determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como "curva de compactación". Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva.

### 11.6 Aplicación e importancia del método:

- Suelos que son colocados como relleno, terraplén, relleno de fundación y bases de carreteras; son compactados a una condición de densidad requerida para obtener propiedades de ingeniería satisfactorias tales como la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad.
- El ensayo de compactación en laboratorio provee las bases para la determinación del grado de compactación y contenido de humedad; necesarios para obtener tales propiedades ingenieriles deseadas. Así como también, para control en la construcción, en el aseguramiento de que la compactación requerida y el contenido de agua sean alcanzados.
- Debido a que en el diseño de rellenos, cortes, consolidaciones, permeabilidades y otros ensayos; en los que se requiere la preparación por compactación con un contenido de humedad para varios pesos unitarios; es práctica común determinar en primer término el contenido de humedad óptimo ( $\omega_{opt}$ ) y el peso seco unitario máximo ( $\gamma_d^{máx}$ ) por medio de un ensayo de compactación.

### 11.7 Material y equipo:

– *Muestra de suelo:*

Representativa de campo y en condición “secada al aire” o a una temperatura no excedente de 60 °C.

Nota: La masa de la muestra requerida para la ejecución de los métodos A y C deberá ser de aproximadamente condición seca; por lo que una muestra traída de campo debería tener una masa húmeda de al menos 50 lbm (23 Kg) y 100 lbm (45Kg) respectivamente.

– *Apisonador manual o martillo de compactación:*

Un apisonador metálico con una masa de  $4.536 \pm 0.009$  Kg ( $10.00 \pm 0.02$  lb), que posea una cara circular plana de 50.80 mm (2.0 pulg) de diámetro. El apisonador deberá estar equipado con una manga guía apropiada para el control de caída libre de  $457 \pm 2$  mm ( $18 \pm 0.06$ ”) sobre la elevación del suelo.

Nota: Existen apisonadores operados mecánicamente de forma alternativa, sin embargo, éstos deberán ser calibrados según la Norma ASTM D 2168.

– *Moldes:*

De pared sólida, metal rígido y forma cilíndrica, con diámetros de 101.6 mm (4”) y 152.4 mm (6”), una altura de  $116.43 \pm 0.13$  mm ( $4.584 \pm 0.005$ ”), con capacidad de  $0.000943 \pm 0.000008$  m<sup>3</sup> y  $0.002124 \pm 0.000021$  m<sup>3</sup> respectivamente. Adicionalmente los moldes deben poseer un collarín de montaje removible de aproximadamente 60 mm de altura y una placa base, (ver figura 11.1).



Figura 11.1 Moldes de compactación de 4” y 6” de diámetro.

- *Extractor de muestras:*  
Consistente en un gato hidráulico de palanca, marco u otro dispositivo apropiado para extraer el espécimen del molde.
- *Regla enrazadora:*  
De metal rígida con borde biselado teniendo por lo menos una superficie longitudinal plana, dentro de 0.250 mm por 250 mm (0.01 pulg x 10 pulg).
- *Balanza:*  
Con una legibilidad de 0.1 y 1 g.
- *Horno de secado:*  
Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.
- *Tamices:*  
Tamiz de  $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) y No.4 (4.75 mm).
- *Misceláneos:*  
Recipientes de mezclado (charola o bandeja), mortero y pistilo, cucharón, pala, cuchara de albañil, espátula, piseta, u otras herramientas convenientes para mezclar completamente la muestra de suelo con los incrementos de agua, además guantes de hule, probeta de 500 ml, recipientes para contenidos de humedad, vernier, brocha, bolsas plásticas (ver figura 11.2).



**Figura 11.2** Equipo utilizado durante el ensayo de compactación.

## 11.8 Procedimiento:

### 11.8.1 MÉTODO A

#### *A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:*

- 1) Mida seis veces el diámetro del molde de compactación (Molde de 4") en la parte superior e inferior, utilizando un vernier y registre los valores con una precisión de 0.001 pulgadas (0.02 mm), en la hoja de datos correspondiente.

Nota: Cada una de las seis medidas debe tomarse igualmente espaciada tanto en la parte superior e inferior alrededor de la circunferencia del molde.

- 2) Determine y registre la masa del molde de compactación seleccionado incluyendo su base (sin collarín), con una precisión de 1 g.
- 3) Mida la altura del molde de compactación en la parte interior, tres veces a lo largo de su contorno, utilizando una cinta métrica. Calcule el promedio de las tres medidas tomadas y regístrelo como la altura del molde ( $h_m$ ) en el correspondiente formato.

#### *B) Preparación del espécimen de ensayo:*

- 1) Exponga al aire la muestra de suelo recibida de campo a una temperatura ambiente o colóquela en un horno de secado mantenido a una temperatura no excedente de 60 °C, hasta que seque completamente.
- 2) Desmenuce completamente los grumos utilizando un mortero y pistilo, de tal forma que no se reduzca el tamaño natural de las partículas individuales.
- 3) Tamice una cantidad adecuada y representativa del suelo desmenuzado, utilizando la malla No.4 (4.75 mm) y descarte el material que se retiene en dicho tamiz.

Nota: No se considera apropiado sustituir el material retenido en la malla No. 4 por partículas finas para mantener el mismo porcentaje de material de sobretamaño.

- 4) Tome 2 muestras de suelo para determinar el contenido de humedad natural según el ensayo D 2216 (Ensayo No.1).
- 5) Tome 5 muestras de 3 Kg cada una, del suelo tamizado anteriormente y posteriormente coloque las muestras en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.
- 6) Calcule la cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras a compactar, realizando incrementos que varíen en  $\pm 2\%$ , utilizando la siguiente ecuación:

$$C_w = k \times \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1} \quad \text{Ec. 11.1}$$

Donde:

$C_w$  = Cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras de suelo,  $\text{cm}^3$

$k$  = Masa de la muestra a ensayar con la humedad  $w_1$ , g

$w_1$  = Humedad que contiene el material a ensayar, en decimales.

$w_2$  = Humedad a que deberá realizarse el ensayo de compactación, en decimales.

Notas:

- Frecuentemente con la práctica es posible visualizar un punto cercano al contenido de agua óptimo, esto se logra tomando una muestra de suelo y estrujándola con la mano, si ésta se divide limpiamente en dos secciones (sin desmoronarse), éste suelo está cercano al valor de humedad óptimo, el cual puede ser utilizado como punto base para adicionar la cantidad de agua requerida a las muestras de ensayo.
- Algunos suelos con contenidos de humedad óptimos muy altos o una curva de compactación relativamente plana pueden requerir incrementos más grandes (pero no exceder un 4%) de contenido de agua, para obtener un peso seco unitario máximo bien definido.

- 7) Coloque una de las muestras de suelo en un recipiente apropiado para el mezclado.
- 8) Agregue a la muestra de suelo la cantidad de agua calculada en el paso 5 de este apartado para hacerla llegar a la humedad requerida (ver figura 11.3).



**Figura 11.3** Humedecimiento de la muestra para obtener la humedad requerida para el ensayo Proctor.



- 9) Mezcle completamente la muestra para asegurar una distribución uniforme, colóquela en un recipiente con tapa y déjela reposar durante un tiempo mínimo según el tipo de suelo (vea tabla 11.1).

**Tabla 11.1 Tiempo requerido para el reposo de especímenes húmedos.**

<b>Clasificación</b>	<b>Tiempo de reposo mínimo, h</b>
GW, GP, SW, SP	No requiere
GM, SM	3
Otros suelos	16

Fuente: Norma ASTM D698-00a, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

**C) Compactación de la muestra:**

- 1) Ensamble la placa base al molde con el collarín asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una quinta parte del molde.
- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 25 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.(Ver figura 11.4)



**Figura 11.4** Compactación de la primera capa de suelo molde Proctor..

Notas:

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de  $5^\circ$ .
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raje la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar cinco capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm ( $1/4''$ ); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

6) Remueva el collarín del molde, corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior del molde usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.

8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g (ver figura 11.5).



**Figura 11.5** Determinación de la masa del molde más el suelo húmedo compactado.

9) Desmonte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico (figura 11.6). Posteriormente corte el espécimen axialmente (figura 11.7) y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.



**Figura 11.6** Extracción de la muestra utilizando gato hidráulico



**Figura 11.7** Corte de la muestra para obtener la humedad del suelo.

- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en la norma ASTM 2216 (ensayo No 1).
- 11) Limpie completamente el molde, placa base y anillo para ensayar el próximo espécimen.
- 12) Repita los pasos del numeral 1al 11 de este método A, para las muestras de suelo restantes.

### **11.8.2 MÉTODO B**

#### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

- 1) Siga el mismo procedimiento según se describió en el método A, excepto que para el método B se utilizará un molde de 6" de diámetro.

#### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

- 2) Prepare el espécimen de ensayo como se describió en el método A, tomando una masa de 7 kg para cada espécimen.

#### ***C) Compactación de la muestra:***

- 1) Ensamble la placa base al molde con el collarín, asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una quinta parte del molde.

- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 56 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.

Notas:

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de 5°.
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raye la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

- 5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar cinco capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm (1/4"); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

- 6) Remueva el collarín del molde, corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior del molde usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

- 7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.

- 8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g.

- 9) Desmonte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico. Posteriormente corte el espécimen axialmente y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.

- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en la norma ASTM 2216 (ensayo No 1).

- 11) Limpie completamente el molde, placa base y anillo para ensayar el próximo espécimen.

- 12) Repita los pasos del numeral 1 al 11 de este método B para las muestras de suelo restantes.

### **11.8.3 MÉTODO C**

#### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

- 1) Siga el mismo procedimiento según se describió en el método A (con molde de 4" de diámetro).

#### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

- 2) Prepare el espécimen de ensayo como se describió en el método A, utilizando un tamiz de  $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) excepto que las 5 muestras deben ser de 5 kg (12 lb), del suelo tamizado anteriormente y posteriormente coloque las muestras en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.

#### ***C) Compactación de la muestra:***

- 1) Ensamble la placa base al molde con el collarín, asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una quinta parte del molde.
- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 25 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.

#### **Notas:**

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de 5°.
  - El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
  - Al finalizar la compactación de cada capa, raze la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.
- 5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar cinco capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm (1/4"); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

- 6) Remueva el collarín del molde, corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior del molde usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

- 7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.
- 8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g.
- 9) Desmunte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico. Posteriormente corte el espécimen axialmente y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.
- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en ASTM 2216 (ensayo No 1).
- 11) Limpie completamente el molde, placa base y anillo para ensayar el próximo espécimen.
- 12) Repita los pasos del numeral 1al 11 de este método (C) para las muestras de suelo restantes.

#### **11.8.4 MÉTODO D**

##### ***A) Determinación del volumen y peso del molde de compactación:***

- 2) Siga el mismo procedimiento según se describió en el método A, excepto que para el método D se utilizará un molde de 6" de diámetro.

##### ***B) Preparación del espécimen de ensayo:***

- 3) Prepare el espécimen de ensayo como se describió en el método C, excepto que las 5 muestras deben ser de 11 kg (25 lb) del suelo tamizado anteriormente y posteriormente coloque las muestras en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.

**C) Compactación de la muestra:**

- 1) Ensamble la placa base al molde con el anillo, asegurándolos correctamente.
- 2) Sitúe el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin ningún error.
- 3) Coloque el suelo previamente preparado dentro del molde hasta formar una capa de espesor uniforme, de tal manera que al compactarlo ocupe una quinta parte del molde.
- 4) Compacte el suelo colocado en el molde utilizando el martillo de compactación y proporcione 56 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde.

Notas:

- Los golpes del martillo se deben proporcionar levantando éste hasta el nivel superior de la manga guía y evitar levantar esta última durante el ascenso del mismo, sosteniéndola al mismo tiempo firmemente con una inclinación vertical de 5°.
- El número de golpes aplicados con el martillo durante el proceso de compactación deben ser distribuidos uniformemente, teniendo el cuidado de aplicarlos a una velocidad de 25 golpes/min.
- Al finalizar la compactación de cada capa, raye la superficie empleando un cuchillo para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa.

- 5) Repita los pasos 3 y 4 (de este apartado), hasta completar cinco capas compactadas en el molde.

Nota: La última capa compactada deberá estar ligeramente arriba de la parte superior del molde, pero no exceder una altura de 6 mm (1/4"); ya que de lo contrario el espécimen deberá ser descartado.

- 6) Remueva el anillo del molde, corte cuidadosamente el suelo compactado hasta nivelar la parte superior del molde usando la regla enrazadora.

Nota: Llene presionando con los dedos y utilizando material del corte, cualquier agujero sobre la superficie del suelo enrazado y nivele nuevamente.

- 7) Limpie completamente la parte externa del molde utilizando una brocha.
- 8) Determine la masa del molde con el suelo compactado y regístrela en kg, con una aproximación de 5 g.

- 9) Desmonte la placa base del molde y extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico. Posteriormente corte el espécimen axialmente y tome del centro dos muestras de aproximadamente 500 g de material.
- 10) Determine el contenido de humedad de las dos muestras obtenidas en el paso anterior utilizando el método descrito en la norma ASTM 2216 (ensayo No 1).
- 11) Limpie completamente el molde, placa base y anillo para ensayar el próximo espécimen.
- 12) Repita los pasos del numeral 1 al 11 del método (D) para las muestras de suelo restantes.

## **11.9 CORRECCIÓN DE LAS PARTÍCULAS GRUESAS EN EL SUELO PARA EL ENSAYO DE COMPACTACIÓN (Basada en AASHTO T 224-01).**

### **11.9.1 Corrección de la densidad seca compactada en laboratorio a la densidad seca en campo.**

1. Esta sección corrige la densidad de laboratorio obtenida por la norma AASHTO T-99 o T-180 para el contenido de humedad y la densidad del material retenido en la malla No 4 (4.75 mm) métodos A y B o en la malla de 19 mm (¾ pulg) métodos C y D. La densidad seca máxima de laboratorio ajustada para las partículas de sobretamaño y el contenido de humedad total son comparados con la densidad seca y el contenido de humedad de campo.
2. Este método es limitado a muestras de campo que contienen un 40 % o menos de material retenido en la malla No 4 (4.75 mm) cuando los métodos A o B se han empleado; o 30 % o menos de material retenido en la malla de 19 mm (¾ pulg) en los métodos C o D.
3. Determine el contenido de humedad de las partículas finas y de sobretamaño del material usado durante la compactación. Los contenidos de humedad pueden ser determinados por los métodos de ensayo T 265, T 217 o T 255. El contenido de humedad del material de sobretamaño retenido en la malla puede ser asumido y ser el 2 % para la mayoría de aplicaciones en la construcción. Si el contenido de humedad del material de sobretamaño es generalmente conocido, sustituya el



contenido de humedad en los cálculos. Sin embargo, si se dispone de equipo de secado, se recomienda determinar los contenidos de humedad presentes.

4. Calcule la masa seca de las partículas gruesas y finas respectivamente como sigue:

$$M_s = \frac{M_h}{(1 + \omega)} \quad \text{Ec. 11.2}$$

Donde:

$M_s$  = Masa del material seco (partículas finas o de sobretamaño), g

$M_h$  = Masa del material húmedo (partículas finas o de sobretamaño), g

$\omega$  = Contenido de humedad de las partículas finas o de sobretamaño, en decimales.

5. Calcule el porcentaje de las partículas finas y de sobretamaño por peso seco de la muestra total, como sigue:

$$P_f = \frac{100 \times M_{PS}}{(M_{PS} + M_{PST})} \quad \text{Ec. 11.3}$$

$$P_s = \frac{100 \times M_{PST}}{(M_{PS} + M_{PST})} \quad \text{Ec. 11.4}$$

Donde:

$P_f$  = Porcentaje de las partículas más finas que la malla usada, por peso, g

$P_s$  = Porcentaje de las partículas de sobretamaño mayor que la malla usada, por peso, g

$M_{PSf}$  = Masa de partículas finas secas, g

$M_{PST}$  = Masa de partículas de sobretamaño secas, g.

6. Calcule la corrección del contenido de humedad y de la densidad seca de la muestra total (combinadas las partículas finas y de sobretamaño), como sigue:

$$C_\omega = \frac{(C_{pf} \times P_f + C_{ps} \times P_s)}{100} \quad \text{Ec. 11.5}$$

Donde:

$C_\omega$  = Corrección del contenido de humedad de la combinación de las partículas finas y de sobretamaño, en decimal

$C_{pf}$  = Contenido de humedad de las partículas finas, en decimal

$C_{ps}$  = Contenido de humedad de las partículas de sobretamaño, en decimal

$P_f$  = Porcentaje de partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso.

$$C_T = \frac{100 \times D_f \times K}{(D_f \times P_s + k \times P_f)} \quad \text{Ec. 11.6}$$

Donde:

$C_T$  = Corrección de la densidad seca total (combinada de las partículas finas y de sobretamaño), en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$D_f$  = Densidad seca de las partículas finas,  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$P_f$  = Porcentaje de partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso

$K = 1000 \times \text{Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno (G}_m\text{)}$   
en  $\text{kg/m}^3$

$62.4 \times \text{Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno}$   
( $G_m$ ) en  $\text{lb/pie}^3$ .

Nota: Si la gravedad específica ha sido determinada, este valor puede ser usado en los cálculos. Determine la Gravedad específica Bulk de acuerdo a la norma T85. Para la mayoría de trabajos de construcción, el valor de la Gravedad específica puede ser asumido como 2.60.

### **11.9.2 Corrección de la densidad húmeda en campo a la densidad compactada en laboratorio.**

**14.1** La densidad húmeda total en el lugar (campo) es corregida a una densidad seca de la muestra que pasa la malla No 4 (4.75 mm) o de la muestra que pasa la malla de 3/4 pulg (19 mm). Esta densidad seca corregida es comparada con la densidad seca máxima obtenida por los métodos T-99 o T-180 en laboratorio.

**14.1** Determine el contenido de humedad de la muestra total y para el material retenido en el tamiz usado durante la compactación. El contenido de humedad puede ser determinado por los métodos de ensayo T 265, T 217 o T 255. Si es utilizado el densímetro nuclear para la densidad y la humedad, lea el contenido de humedad directamente del aparato para el contenido de humedad total. El contenido de

humedad del material de sobretamaño retenido en la malla puede ser asumido y ser el 2 % para la mayoría de aplicaciones en la construcción. Si el contenido de humedad del material de sobretamaño es generalmente conocido, sustituya el contenido de humedad en los cálculos. Si se dispone de equipo de secado, se recomienda determinar los contenidos de humedad presente.

- 14.1** Calcule el contenido de humedad de las partículas finas de la muestra de campo, como sigue:

$$C_{pf} = \frac{100 \times \omega_t - C_{ps} \times P_s}{P_f} \quad \text{Ec. 11.7}$$

Donde:

$C_{pf}$  = Contenido de humedad de las partículas finas, en decimal

$C_{ps}$  = Contenido de humedad de las partículas de sobretamaño, en decimal.

$\omega_t$  = Contenido de humedad de la muestra total de campo, en decimal.

$P_f$  = Porcentaje de partículas finas de malla usada, por peso

$P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso.

- 14.1** Calcule la densidad seca de campo de la muestra como sigue:

$$D_s = \frac{D_{ht}}{(1 + \omega_t)} \quad \text{Ec. 11.8}$$

Donde:

$D_s$  = Densidad seca de campo de la muestra total, en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$D_{ht}$  = Densidad húmeda total de campo, en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$\omega_t$  = Contenido de humedad de la muestra total de campo, en decimal.

- 14.1** Calcule la densidad seca de campo de las partículas finas de la muestra, como sigue:

$$D_f = \frac{D_s \times P_f}{100 - \frac{(D_s \times P_s)}{K}} \quad \text{Ec. 11.9}$$

Donde:

$D_f$  = Densidad seca ajustada de las partículas finas, en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$

$D_s$  = Densidad seca de campo de la muestra total, en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/pie}^3$   
 $P_f$  = Porcentaje de las partículas finas de malla usada, por peso  
 $P_s$  = Porcentaje de partículas de sobretamaño de malla usada, por peso  
 $K = 1000 \cdot \text{Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno (G}_m)$   
 en  $\text{kg/m}^3$   
 $62.4 \cdot \text{Gravedad específica Bulk de partículas gruesas secadas al horno}$   
 $(G_m)$  en  $\text{lb/pie}^3$ .

### 11.9.3 Comentarios u Observaciones

- Si la gravedad específica ha sido determinada, este valor puede ser usado en los cálculos. Determine la Gravedad específica Bulk de acuerdo a la norma T85. Para la mayoría de trabajos de construcción, el valor de la Gravedad específica puede ser asumido como 2.60.
- Estos métodos descritos para la corrección de partículas gruesa, son aplicables únicamente a un tipo de suelo y a material suelo-agregado. Si las características del material cambian, realice nuevamente el ensayo Proctor (AASHTO T-99 o T-180) para determinar un nuevo valor de densidad máxima.
- Para los propósitos de la determinación de la densidad seca conforme a estas especificaciones, el valor observado o calculado deberá ser redondeado cercano a los  $10 \text{ kg/m}^3$ .

### 11.10 Cálculos:

11.10.1 Calcule el volumen del molde de compactación, como sigue:

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1728)} (\text{lb} - \text{pu lg}) \quad \text{Ec. 11.10}$$

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1000)} (\text{SI}) \quad \text{Ec. 11.11}$$

Donde:

$V_m$  = Volumen del molde de compactación,  $\text{pie}^3$  o  $\text{cm}^3$

$h_i$  = Diámetro promedio de la parte inferior del molde de compactación, pulg o mm

$h_s$  = Diámetro promedio de la parte superior del molde de compactación,  
pulg o mm

$d_m$  = Altura promedio del molde de compactación, pulg o mm

1/1728 = Constante para convertir pulg<sup>3</sup> a pie<sup>3</sup>

1/1000 = Constante para convertir mm<sup>3</sup> a cm<sup>3</sup>

11.10.2 Calcule el contenido de humedad de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 11.12}$$

Donde:

$\omega$  = Contenido de agua del espécimen compactado, %

$M_{h+r}$  = Masa del espécimen húmedo + recipiente, g,

$M_{s+r}$  = Masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,

$M_r$  = Masa del recipiente, g,

$M_w$  = Masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,

$M_s$  = Masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

11.10.3 Calcule el peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m} \quad \text{Ec. 11.13}$$

Donde:

$\gamma_h$  = Peso volumétrico húmedo o densidad húmeda del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$M_{h+m}$  = Masa del espécimen húmedo compactado + molde, Kg

$M_m$  = Masa del molde de compactación, Kg

$V_m$  = Volumen del molde de compactación, m<sup>3</sup>

11.10.4 Calcule el peso unitario seco o densidad seca de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{\omega}{100}} \quad \text{Ec. 11.14}$$

Donde:

$\gamma_d$  = Peso unitario seco o densidad seca del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$\gamma_h$  = Peso volumétrico húmedo o densidad húmeda del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$\omega$  = Contenido de humedad, expresado en %

11.10.5 Calcule el contenido de agua para el 100 % de saturación del suelo, como sigue:

$$\omega_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad \text{Ec. 11.15}$$

Donde:

$\omega_{sat}$  = Contenido de agua para la saturación completa, en %

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua a 20 °C , en Kg/m<sup>3</sup>

$G_s$  = Gravedad específica del suelo

$\gamma_d$  = Peso unitario seco o densidad seca del espécimen compactado, en Kg/m<sup>3</sup>

Nota: Dado que la ecuación anterior requiere el valor de la gravedad específica del suelo, ésta puede ser estimada en base a los datos de otras muestras del mismo suelo.

11.10.6 Trace la curva de compactación en papel aritmético, graficando en el eje de las abscisas el contenido de humedad de cada espécimen de suelo compactado ( $\omega\%$ ) y en el eje de las ordenadas el correspondiente peso unitario seco ( $\gamma_d$ ).

11.10.7 Determine el contenido de agua óptimo ( $\omega_{opt}$ ) y el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmáx}$ ) utilizando la curva de compactación. El contenido de agua óptimo ( $\omega_{opt}$ ) corresponde al punto máximo de la curva y el peso unitario seco correspondiente a ese contenido de agua óptimo, será el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmáx}$ ), obteniéndose al trazar una línea horizontal desde el punto máximo hasta interceptar el eje de las ordenadas.

## 11.11 Cálculos:

11.11.1 Calcule el volumen del molde de compactación, como sigue:

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1728)} (\text{lb} - \text{pulg}) \quad \text{Ec. 11.16}$$

$$V_m = \pi \times \frac{h_m \times (d_i + d_s)^2}{(16)(1000)} (\text{SI}) \quad \text{Ec.11.17}$$

Donde:

$V_m$  = Volumen del molde de compactación, pie<sup>3</sup> o cm<sup>3</sup>

$h_i$  = Diámetro promedio de la parte inferior del molde de compactación, pulg o mm.

$h_s$  = Diámetro promedio de la parte superior del molde de compactación, pulg o mm

$d_m$  = Altura promedio del molde de compactación, pulg o mm

1/1728 = Constante para convertir pulg<sup>3</sup> a pie<sup>3</sup>.

1/1000 = Constante para convertir mm<sup>3</sup> a cm<sup>3</sup>.

11.11.2 Calcule el contenido de humedad de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 11.18}$$

Donde:

$\omega$  = Contenido de agua del espécimen compactado, %

$M_{h+r}$  = Masa del espécimen húmedo + recipiente, g,

$M_{s+r}$  = Masa del espécimen secado al horno + recipiente, g,

$M_r$  = Masa del recipiente, g,

$M_w$  = Masa de agua ( $M_w = M_{h+r} - M_{s+r}$ ), g,

$M_s$  = Masa de suelo seco ( $M_s = M_{s+r} - M_r$ ), g.

11.11.3 Calcule el peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\gamma_h = \frac{(M_{h+m} - M_m)}{V_m} \quad \text{Ec. 11.19}$$

Donde:

$\gamma_h$  = Peso volumétrico húmedo o densidad húmeda del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$M_{h+m}$  = Masa del espécimen húmedo compactado + molde, Kg

$M_m$  = Masa del molde de compactación, Kg

$V_m$  = Volumen del molde de compactación, m<sup>3</sup>

11.11.4 Calcule el peso unitario seco o densidad seca de cada espécimen de ensayo compactado, como sigue:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{\omega}{100}} \quad \text{Ec. 11.20}$$

Donde:

$\gamma_d$  = Peso unitario seco o densidad seca del espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$\gamma_h$  = Peso volumétrico húmedo ó densidad húmeda espécimen compactado, Kg/m<sup>3</sup>

$\omega$  = Contenido de humedad, expresado en %

Factor de conversión 1 g/cm<sup>3</sup> = 1000 Kg/m<sup>3</sup>

11.11.5 Calcule el contenido de agua para el 100 % de saturación del suelo, como sigue:

$$\omega_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad \text{Ec. 11.21}$$

Donde:

$\omega_{sat}$  = Contenido de agua para la saturación completa, en %

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua a 20 °C , en Kg/m<sup>3</sup>

$G_s$  = Gravedad específica del suelo

$\gamma_d$  = Peso unitario seco o densidad seca del espécimen



compactado, en Kg/m<sup>3</sup>

Nota: Dado que la ecuación anterior requiere el valor de la gravedad específica del suelo, ésta puede ser estimada en base a los datos de otras muestras del mismo suelo.

11.11.6 Trace la curva de compactación en papel aritmético, graficando en el eje de las abscisas el contenido de humedad de cada espécimen de suelo compactado ( $\omega\%$ ) y en el eje de las ordenadas el correspondiente peso unitario seco ( $\gamma_d$ ).

11.11.7 Determine el contenido de agua óptimo ( $\omega_{opt}$ ) y el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ) utilizando la curva de compactación. El contenido de agua óptimo ( $\omega_{opt}$ ) corresponde al punto máximo de la curva y el peso unitario seco correspondiente a ese contenido de agua óptimo, será el peso unitario seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ), obteniéndose al trazar una línea horizontal desde el punto máximo hasta interceptar el eje de las ordenadas.

## 11.12 Ejemplo:

Datos:

Masa del espécimen de ensayo : 3000 g

Humedad inicial del suelo  $\omega\% = 6.21\%$

11.12.1 Cálculo de la cantidad de agua necesaria para incrementar la humedad de cada espécimen:

Utilizando la ecuación 11.1 tenemos:

$$\text{Para } \omega\% = 16\% \quad C_w = 3000 \times \frac{(0.16 - 0.0621)}{(1 + 0.0621)} = 276.5\%$$

$$\text{Para } \omega\% = 18\% \quad C_w = 333.0 \text{ ml}$$

$$\text{Para } \omega\% = 20\% \quad C_w = 389.5 \text{ ml}$$

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad C_w = 446.0 \text{ ml}$$

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad C_w = 502.5 \text{ ml}$$

11.12.2 Cálculo del volumen del molde de compactación de acuerdo a la ecuación 11.2.

$$V_m = 3.1416 \times \frac{114.5 \times (101.2 + 101.5)^2}{16 \times 1000}$$

$$V_m = 923.72 \text{ cm}^3$$

11.12.3 Cálculo del contenido de humedad de cada espécimen de ensayo compactado utilizando la ecuación 11.4.

$$\text{Para } \omega\% = 16\% \quad \omega\% = \frac{99.28 - 88.44}{88.44 - 10.6} \times 100 = 13.94\%$$

$$\text{Para } \omega\% = 18\% \quad \omega\% = 16.14\%$$

$$\text{Para } \omega\% = 20\% \quad \omega\% = 17.85\%$$

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad \omega\% = 19.44\%$$

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad \omega\% = 21.71\%$$

11.12.3 Cálculo del peso volumétrico húmedo o densidad húmeda, utilizando la ecuación 11.5.

$$\text{Para } \omega\% = 16\%$$

$$\text{Masa de molde de compactación} = 2038 \text{ g}$$

$$\text{Masa de espécimen compactado + molde} = 3576 \text{ g}$$

Sustituyendo datos se tiene:

$$\gamma_h = \frac{(3576 - 2038)}{923.72} = 1.665 \text{ g/cm}^3 = 1665 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Para } \omega\% = 18\% \quad \gamma_h = 1.761 \text{ g/cm}^3 = 1761 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Para } \omega\% = 20\% \quad \gamma_h = 1.808 \text{ g/cm}^3 = 1808 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad \gamma_h = 1.845 \text{ g/cm}^3 = 1845 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Para } \omega\% = 22\% \quad \gamma_h = 1.818 \text{ g/cm}^3 = 1818 \text{ Kg/m}^3$$

11.12.4 Cálculo del peso unitario seco o densidad seca de cada espécimen de ensayo compactado, según ecuación 11.6:

$$\text{Para } \omega\% = 16\%$$

$$\omega\% = 13.94\% \text{ ( humedad real del espécimen compactado)}$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$\gamma_d = \frac{1665}{1 + \frac{13.94}{100}} = 1461 \text{ Kg/m}^3$$

Para  $\omega\% = 18\%$        $\gamma_d = 1517 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 20\%$        $\gamma_d = 1534 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 22\%$        $\gamma_d = 1544 \text{ Kg/m}^3$

Para  $\omega\% = 22\%$        $\gamma_d = 1493 \text{ Kg/m}^3$

11.12.5 Cálculo del contenido de agua para el 100 % de saturación del suelo, según ecuación 11.7:

$$\text{Para } \gamma_d = 1461 \text{ Kg/m}^3 \quad \omega_{sat} = \frac{(1000)(2.55) - 1461}{(1461)(2.55)} \times 100 = 29.23\%$$

Para  $\gamma_d = 1517 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 26.70 \%$

Para  $\gamma_d = 1534 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 25.97 \%$

Para  $\gamma_d = 1544 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 25.55 \%$

Para  $\gamma_d = 1493 \text{ Kg/m}^3$        $\omega_{sat}\% = 26.76 \%$

11.12.4 Construcción de la curva de compactación y de saturación:

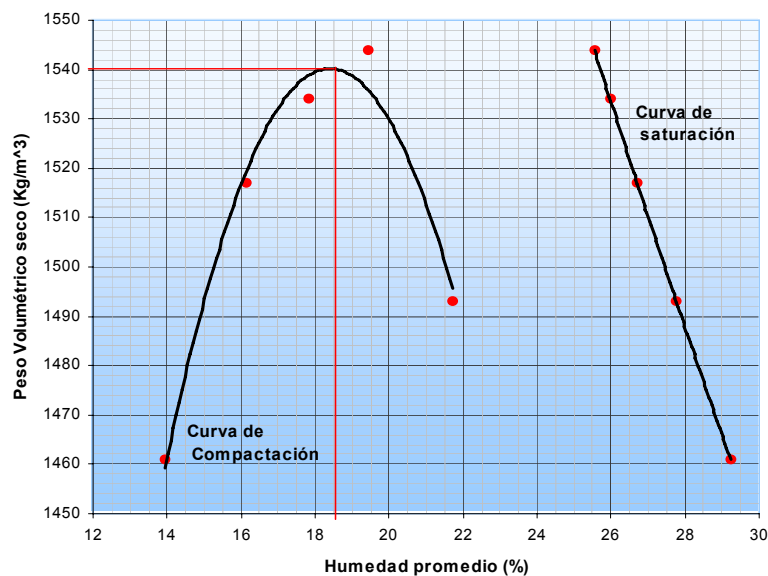


Figura 11.8 Curva de compactación y de saturación del suelo ensayado.

De la curva de compactación se obtiene:

$$\gamma_{d \text{ máx}} = 1542 \text{ Kg/m}^3$$

$$\omega_{\text{opt}} = 18.5 = 19 \%$$

### 11.13 Cuestionario:

- ❖ Defina el término contenido de humedad óptimo.
- ❖ Mencione dos alcances del método de ensayo T 180-01
- ❖ Mencione dos aplicaciones del método de ensayo AASHTO T 180-01.
- ❖ ¿Cuál es el número de capas a colocar dentro del molde de compactación en el ensayo T 180?
- ❖ ¿Cuál es el peso y la altura de caída del apisonador de compactación utilizado en el ensayo T 180?

### 11.14 Contenido del reporte:

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Procedencia del material utilizado en el ensayo, como: proyecto, localización y profundidad.
- ❖ El método de compactación usado (Método A, B, C o D)
- ❖ El contenido de humedad óptimo cercano al número entero próximo, %.
- ❖ El peso unitario seco máximo cercano hasta los próximos  $10 \text{ kg/m}^3$  o  $\text{lb/pe}^3$  hasta el número entero próximo.
- ❖ Si fueron utilizados los métodos C o D, indicar si el material retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " fue removido o reemplazado.
- ❖ Descripción o clasificación del material utilizado en el ensayo.
- ❖ Gravedad específica del suelo y método de determinación.
- ❖ Curva de compactación del suelo y curva del 100% de saturación.
- ❖ En los métodos C y D, si el material de 19 mm fue removido o reemplazado.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS  
DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS  
(BASADA EN AASHTO T 180-01)**

Proyecto:	: Iglesia del 7° día	Fecha:	: 11/11/2005
Ubicación:	: Mejicanos	No. de golpes:	: 25
Método de ensayo:	: A	No. de molde:	: 4
Masa del martillo:	: 10 lb	D inferior de molde:	: 101.20 mm
No. de capas:	: 5	D superior de molde:	: 101.50 mm
Altura de molde:	: 114.50 mm	Gs:	: 2.55
Humedad del suelo:	: 6.21 %	Descripción del suelo:	: SM, 25% de finos, color café claro

**DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD**

No. de Muestra	1		2		3		4		5	
No. de tara	24	5	87	18	92	0-1	50	68	47	49
Masa de tara ( $M_t$ )	g 10.60	10.60	8.90	9.20	10.62	17.86	9.19	9.55	9.70	9.70
Masa de suelo húmedo+tara ( $M_{h+t}$ )	g 99.28	99.65	95.43	86.13	115.35	121.10	99.85	104.05	119.83	102.85
Masa de suelo seco + tara ( $M_{s+t}$ )	g 88.44	88.75	83.40	75.44	99.43	105.52	85.00	88.77	100.05	86.35
Masa de agua ( $M_w$ )	g 10.84	10.90	12.03	10.69	15.92	15.58	14.85	15.28	19.78	16.50
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g 77.84	78.15	74.50	66.24	88.81	87.66	75.81	79.22	90.35	76.65
Contenido de agua	% 13.93	13.95	16.15	16.14	17.93	17.77	19.59	19.29	21.89	21.53
	%	13.94	16.14	17.85	19.44	21.71				

**DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD - HUMEDAD**

No. de muestra	1	2	3	4	5
Masa de la muestra de ensayo	g 3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de ensayo	% 16	18	20	22	24
Volumen de agua a agregar	ml 276.53	333.02	389.51	446.00	502.50
Masa de molde	g 2038	2038	2038	2038	2038
Masa de suelo húmedo + molde	g 3576	3665	3708	3742	3717
Volumen del molde	g 923.73	923.73	923.73	923.73	923.73
Peso volumétrico húmedo	Kg/m <sup>3</sup> 1665	1761	1808	1845	1818
Humedad promedio	% 13.94	16.14	17.85	19.44	21.71
Peso volumétrico seco	Kg/m <sup>3</sup> 1461	1517	1534	1544	1493
Humedad de saturación	% 29.22	26.72	25.97	25.53	27.74

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Humedad óptima : 19 %  
Peso volum. seco máximo: 1542 Kg/m<sup>3</sup>

## ENSAYO N° 12

### DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL SUELO EN EL SITIO POR EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA (BASADA EN AASHTO T 191-02)

#### 12.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de la densidad del suelo en el sitio por el método del cono de arena, conforme a la norma AASHTO T 191-02.
- ❖ Determinar correctamente la densidad de un suelo en el sitio por medio del método de ensayo descrito en la Norma AASHTO T 191-02.

#### 12.2 Documentos de referencia:

Normas AASHTO

T 191 Método de ensayo para la determinación de la densidad del suelo en el sitio por el método del cono de arena.

T 19/T 19M Densidad en masa (Peso Unitario) y vacíos en agregados.

T 217 Determinación del contenido de humedad de los suelos por medio del ensayo de presión a gas de carburo de calcio.

T 265 Determinación en laboratorio del contenido de humedad de los suelos.

Normas ASTM

D 4959 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento directo.

D 4643 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento con horno microonda.

#### 12.3 Definiciones:

##### ***Peso Unitario ( $\gamma$ ):***

Es el peso por unidad de volumen (el uso del término peso significa fuerza).

##### ***Peso Unitario seco ( $\gamma_d$ ):***

Se define como el peso de los sólidos del suelo o roca por unidad del volumen total de la masa de suelo o roca.

***Peso Unitario húmedo ( $\gamma_m$ ):***

Es el peso por unidad del volumen total de un suelo o masa de roca (sólidos más agua), independientemente del grado de saturación.

***Contenido de humedad ( $\omega\%$ ):***

Es la proporción de la masa de agua contenida en los poros o agua libre, en una masa dada de material, respecto a la masa de los sólidos de las partículas de ese material, expresada como porcentaje.

***Arena:***

Son partículas de roca que pasan el tamiz No 4 (4.75 mm) y se retienen en el tamiz No 200 (75  $\mu\text{m}$ ).

**12.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad del suelo en el sitio, utilizando el cono de arena.
- El aparato utilizado en este método de ensayo esta limitado para ensayos en suelos que contengan partículas no mayores de 2 pulgadas de diámetro.
- Este método de ensayo no es conveniente para suelos orgánicos, suelos saturados o suelos altamente plásticos, ya que éstos se deformarían o comprimirían durante la excavación del agujero, además de suelos con materiales granulares, los cuales no mantendrían los lados estables del agujero de ensayo y suelos granulares con una alta relación de vacíos.

**12.5 Resumen del método:**

- Se coloca y fija una placa base sobre la superficie plana del suelo a ser ensayado, posteriormente se excava en forma manual un agujero y el material extraído es guardado en un recipiente con tapa. Posteriormente el agujero es llenado con un flujo libre de arena de densidad conocida y se determina su volumen. La densidad húmeda del suelo en el sitio, es calculada dividiendo la masa húmeda del material extraído del agujero entre el volumen de éste. El contenido de humedad del material del agujero es determinado y la

masa seca del material, así como la densidad seca en el sitio se calculan empleando la masa húmeda del suelo, el contenido de humedad y el volumen del agujero.

#### **12.6 Aplicación e importancia del método:**

- Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de suelos compactados durante la construcción de terraplenes, rellenos de carreteras y rellenos estructurales posteriores. A menudo es empleado como una base de aceptación para suelos compactados a una densidad especificada o porcentaje de densidad máxima determinados por un método de ensayo (Métodos Proctor).
- Este método de ensayo puede usarse para determinar la densidad en el sitio de depósitos de suelo natural, mezclas de suelo u otro material similar.
- El uso de este método de ensayo generalmente se limita para suelos en una condición no saturada. No es recomendable para suelos blandos o desmenuzables o en suelos cuya condición de humedad provoque filtraciones de agua al realizar la excavación del agujero. La exactitud del ensayo puede verse afectada en suelos que se deforman fácilmente o que pueden sufrir cambios en el volumen del agujero excavado, debido a la vibración al estar de pie o caminar cerca del agujero durante el ensayo.

#### **12.7 Material y equipo:**

- *Arena:*  
Seca, limpia, libre de impurezas y no cementada, que posea pocas partículas que pasen la malla No 200 o se retengan en la No 10.
- *Aparato de densidad cono - arena:*  
Consiste en un recipiente de 1 galón y un aparato desmontable que posee una válvula cilíndrica con un orificio de 12.7 mm (1/2") de diámetro junto a un embudo pequeño en un extremo que se ensambla al recipiente unido a otro embudo de mayor tamaño en el otro extremo.

Nota: La válvula del aparato deberá tener tope para evitar su rotación después de las posiciones totalmente abierta o cerrada.



- *Placa base:*  
Metálica con un agujero en el centro, empleada para colocar al embudo grande (cono) del aparato descrito anteriormente. La placa de base puede ser redondo o cuadrado y será como mínimo 75 mm más grande que el embudo del aparato (cono - arena).
- *Balanza:*  
Con una precisión de 0.01 g y 0.1 g.
- *Equipo de secado:*  
Estufa, horno o cualquier otro equipo conveniente para el secado de las muestras de suelo.
- *Recipiente calibrador:*  
Es un recipiente cilíndrico rígido de volumen conocido, éste deberá ser de mayores dimensiones que el agujero de ensayo que será excavado.  
Nota: El diámetro interno del recipiente deberá ser igual o levemente menor que el diámetro de la abertura de la placa base usada con el aparato (cono - arena).
- *Misceláneos:*  
Cucharas, cinceles u otros equipos pequeños para cavar el agujero del ensayo; clavos, almádana, recipientes, bolsas, brochas, cinta métrica, franela, etc.



**Figura 12.1** Equipo utilizando en la determinación de la densidad in situ.

## 12.8 Procedimiento:

### 12.8.1 Calibración del aparato cono - arena:

1. Coloque el aparato vacío en posición vertical sobre una superficie firme y nivelada, posteriormente cierre la válvula.
2. Llene con arena el embudo, abra la válvula y mantenga el embudo por lo menos a la mitad con arena hasta llenar el aparato.
3. Cierre la válvula en forma apropiada cuando la arena deje de fluir en el aparato y vacíe el exceso de arena.

Nota: El vibrado de la arena durante cualquier determinación de masa - volumen puede aumentar la densidad en masa de la arena y disminuir la precisión de la determinación. Los intervalos apreciables de tiempo entre la determinación de densidad en masa de la arena y su uso en el campo pueden originar cambios en la densidad en masa causada por un cambio en el contenido de humedad o la graduación efectiva.

4. Determine la masa del aparato lleno con arena y regístrela como  $m_1$ .
5. Coloque la placa base sobre una superficie limpia, plana y nivelada, posteriormente invierta el aparato lleno con arena y asíéntelo en el agujero de la placa base.
6. Abra completamente la válvula hasta que la arena deje de fluir, posteriormente ciérrela en forma apropiada.
7. Retire el aparato y determine la masa de éste con la arena restante, registrándola como  $m_2$ .
8. Determine la masa de arena requerida para llenar el embudo y la placa base, restando a la masa inicial ( $m_1$ ) la masa final ( $m_2$ ). Regístrela como la corrección del cono ( $C_c = m_1 - m_2$ ).

#### Notas:

- Por cada contenedor de arena se debe calcular un factor único de calibración de arena y la correspondiente corrección del cono. Cada aparato cono - arena y placa base también tendrán un sistema de correcciones únicas del cono y de densidades en masa de la arena.
- Si se posee más de un aparato de cono - arena disponible, éste y la placa base deben ser marcados con los factores de corrección de densidad correspondiente.

### ***12.8.2 Determinación de la densidad en masa de la arena ( $D_A$ ):***

9. Sustituya la arena removida en la determinación de la corrección del cono, cierre la válvula y determine su masa, registrándola como  $m_3$ .
10. Sitúe el recipiente de calibración en una superficie limpia, plana y nivelada. Coloque la placa base en el recipiente de calibración. Invierta el aparato y asiente el embudo en el agujero de la placa base.
11. Abra completamente la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.
12. Cierre la válvula de forma adecuada, retire el aparato y determine la masa del aparato y arena remanente, registrándola como  $m_4$ .
13. Determine la masa de arena necesaria para llenar el recipiente, embudo y placa base, restándole a la masa final ( $m_4$ ) la masa inicial ( $m_3$ ).

Nota: La masa de arena necesaria para llenar el recipiente debe ser únicamente determinada, restando la masa de la corrección del cono ( $C_c = m_1 - m_2$ ) de la masa total requerida para llenar el recipiente, embudo y la placa base, calculada en el paso anterior.

### ***12.8.3 Determinación de la densidad del suelo en el sitio:***

14. Inspeccione el cono del aparato por cualquier daño y verifique la rotación libre de la válvula. Posteriormente llene el recipiente con arena, la cual ha sido calibrada previamente en el apartado 12.8.2, determine y registre su masa total como  $m_5$ .
15. Seleccione un lugar que sea representativo del área a ensayar y prepare la superficie de éste de manera que sea una superficie plana.
16. Asiente la placa base en la superficie preparada, fijela al suelo alrededor de su borde exterior con clavos o pines, sin alterar el suelo a ser ensayado.
17. Excave el agujero de ensayo dentro de la abertura de la placa base, considerando los datos proporcionados en la tabla 12.1 (para determinar el volumen mínimo del agujero y la cantidad mínima de suelo para contenido de humedad), utilizando un cincel y almádana. Al mismo tiempo, deposite todo el suelo extraído del agujero en un recipiente o bolsa plástica teniendo cuidado para evitar la pérdida de material y humedad de éste durante la excavación.



**Figura 12.2** Excavación del agujero de ensayo.

**Tabla 12.1** Volúmenes mínimos de agujeros de ensayo y muestras mínimas para contenidos de humedad basados en el tamaño máximo de las partículas.

Tamaño máximo de la partícula		Volúmenes mínimos del agujero de ensayo		Muestra mínima para el contenido de humedad, g
mm	Tamiz	cm <sup>3</sup>	pie <sup>3</sup>	
4.75	No 4	710	0.025	100
12.5	1/2"	1415	0.050	250
25.0	1"	2125	0.075	500
50.0	2"	2830	0.100	1000

Fuente: Norma AASHTO, Parte 2A , ensayos (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Nota: Al excavar el agujero, se debe evitar desestabilizar las paredes del suelo; especialmente en suelos granulares los cuales requieren un cuidado extremo.

18. Limpie el agujero excavado, procurando que no quede ninguna partícula suelta adherida a las paredes del mismo.
19. Coloque el aparato cono – arena sobre la placa base, abra la válvula y cuando la arena deje de fluir, cierre ésta y retire el aparato cuidadosamente.

Nota: Durante esta operación, es recomendable eliminar o reducir cualquier vibración en el área de ensayo debida al personal o equipo; ya que afectaría la exactitud de los resultados.



**Figura 12.3** Llenado con arena del agujero de ensayo.

20. Determine la masa del aparato con la arena restante y regístrela como  $m_6$ .
21. Determine y registre la masa del material húmedo que fue extraído del agujero de ensayo ( $M_{hA}$ ).
22. Mezcle completamente el material húmedo excavado y tome una muestra representativa para la determinación del contenido de humedad utilizando los métodos de ensayo ASTM D 4959 (ensayo 2) o D 4643 (ensayo 3), con una precisión de 0.1 %.

## 12.9 Cálculos:

- 12.9.1 Determine la densidad en masa de la calibración de la arena (factor de calibración de arena),  $D_A$ , dividiendo la masa de la arena necesaria para llenar el recipiente entre el volumen del recipiente de calibración, utilizando la siguiente ecuación y registre el valor obtenido como factor para futuros ensayos:

$$D_A = \frac{m_3 - m_4 - C_c}{V_c} \quad \text{Ec. 12.1}$$

Donde:

$D_A$  = Densidad en masa de arena,  $\text{g/cm}^3$

$m_3$  = Masa inicial del aparato y arena, g

$m_4$  = Masa final del aparato y arena, g

$C_c$  = Corrección del cono, g

$V_c$  = Volumen del recipiente de calibración,  $\text{cm}^3$ , determinado con el procedimiento siguiente:

1. Llene la medida con agua a temperatura ambiente y cúbralo con una pieza de placa de vidrio para eliminar las burbujas y excesos de agua.
2. Determine el peso neto del agua en la medida a una precisión de  $\pm 0.1\%$ .
3. Determine la temperatura del agua y su peso unitario.
4. Calcule el factor para la medida dividiendo el peso unitario del agua entre el peso requerido para llenar la medida.

**Tabla 12.2 Peso unitario del agua.**

Temperatura		lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
°F	°C		
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.53
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23	62.274	997.53
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.60
85	29.4	62.166	995.80

Fuente: Norma AASHTO T 19, (American Association of State Highway and Transportation Officials)

12.9.2 Calcule el volumen del agujero de ensayo ( $V_A$ ):

$$V_A = \frac{(m_5 - m_6 - C_c)}{D_A} \quad \text{Ec. 12.2}$$

Donde:

$V_A$  = Volumen del agujero de ensayo, cm<sup>3</sup>

$m_5$  = Masa inicial del aparato y arena, g

$m_6$  = Masa final del aparato y arena, g

$C_c$  = Corrección del cono, g

$D_A$  = Densidad en masa de la arena, g/cm<sup>3</sup>

Nota: El volumen del agujero de ensayo debe ser registrado con una aproximación de 1 cm<sup>3</sup> (0.01 pie<sup>3</sup>).

12.9.3 Calcule la masa seca del material extraído del agujero de ensayo como sigue:

$$M_{SA} = \frac{M_{hA}}{1 + \left(\frac{\omega\%}{100}\right)} \quad \text{Ec. 12.3}$$

Donde:

$M_{SA}$  = Masa seca del material extraído del agujero de ensayo, g

$M_{hA}$  = Masa húmeda del material extraído del agujero de ensayo, g

$\omega$  = Contenido de humedad del material extraído del agujero de ensayo, en %.

Nota: La masa seca del material extraído del agujero deberá ser calculada cercana con una aproximación de 1 g (0.01 lb).

12.9.4 Calcule la densidad seca en el terreno del material extraído del agujero de ensayo como sigue:

$$D_S = \frac{M_{SA}}{V_A} \quad \text{Ec. 12.4}$$

Donde:

$D_S$  = Densidad seca en el terreno del material extraído del agujero de ensayo, g/cm<sup>3</sup>

$M_{SA}$  = Masa seca del material extraído del agujero de ensayo, g

$V_A$  = Volumen del agujero de ensayo, cm<sup>3</sup>.

Notas:

- La densidad seca debe ser reportada con una precisión de 1 kg/m<sup>3</sup> ó 0.1 lb/pie<sup>3</sup> (0.001 g/cm<sup>3</sup> = 1 kg/m<sup>3</sup>).
- Si desea puede expresar la densidad en el sitio como un porcentaje de alguna otra densidad, por ejemplo; la densidad máxima de laboratorio determinada de acuerdo a la norma AASHTO T-99. Esta relación puede ser determinada dividiendo la densidad en el sitio entre la densidad máxima multiplicándola por 100.

## 12.10 Ejemplo:

12.10.1 Determine la densidad en masa de la arena, utilizando la ecuación 12.1 como sigue:

Datos:

Masa del aparato lleno con arena	(m <sub>1</sub> ) = 5476 g
Masa del aparato con arena remanente	(m <sub>2</sub> ) = 4915 g
Corrección del cono	(C <sub>c</sub> ) = 561 g
Masa inicial del aparato y arena	(m <sub>3</sub> ) = 5476 g
Masa final del aparato y arena (m <sub>4</sub> )	= 2833 g
Diámetro inferior del recipiente de calibración	= 101.3 mm
Diámetro superior del recipiente de calibración	= 101.2 mm
Altura promedio del recipiente de calibración	= 114.5 mm
Volumen de cono y plato	= 368.4 cm <sup>3</sup>

– Calculo del volumen del recipiente de calibración:

$$V_c = 3.1416 \times \frac{114.5 \times (101.2 + 101.3)^2}{16 \times 1000}$$
$$V_c = 923.72 \text{ cm}^3$$

– Densidad en masa de la arena:

$$D_A = \frac{5476 - 2833 - 561}{923.72 + 368.4}$$
$$D_A = 1.61 \text{ g/cm}^3$$

12.10.2 Calcule el volumen del agujero de ensayo (V<sub>A</sub>), utilizando la ecuación 12.2:

Masa inicial del aparato y arena	(m <sub>5</sub> ) = 5476 g
Masa final del aparato y arena	(m <sub>6</sub> ) = 3495.6 g
Densidad en masa de la arena	(D <sub>A</sub> ) = 1.61g/cm <sup>3</sup>

Sustituyendo valores, se tiene:

$$V_A = \frac{(5476 - 3495.6 - 561)}{1.61}$$
$$V_A = 880.9 \text{ cm}^3$$

12.10.3 Calcule la masa seca del material extraído del agujero de ensayo, en base a la ecuación 12.3.

Masa húmeda del material extraído del agujero	(M <sub>hA</sub> ) = 1500.8 g
Contenido de humedad del material extraído del agujero (ω)	= 20.35%.



Sustituyendo en la ecuación 12.3 tenemos:

$$M_{SA} = \frac{1500.8}{1 + \left(\frac{20.35}{100}\right)}$$

$$M_{SA} = 1247 \text{ g}$$

12.10.4 Calcule la densidad seca en el terreno del material extraído del agujero utilizando la ecuación 12.4:

Masa seca del material extraído del agujero ( $M_{SA}$ ) = 1247 g

Volumen del agujero de ensayo ( $V_A$ ) = 880.9 cm<sup>3</sup>

Sustituyendo datos en la ecuación 12.4 se tiene:

$$D_s = \frac{1247.1}{880.9} = 1.42 \text{ g / cm}^3$$

### 12.11 Cuestionario:

- ❖ Mencione uno de los alcances del ensayo para la determinación de la densidad del suelo en el sitio por el método cono de arena.
- ❖ Escriba la ecuación que se utiliza para determinar la densidad seca en el terreno.
- ❖ Mencione dos aplicaciones del ensayo para la determinación de la densidad del suelo en el sitio por el método cono de arena.
- ❖ Describa el aparato del cono de arena utilizado en la determinación de la densidad del suelo en el sitio.
- ❖ Defina el termino peso unitario seco de un suelo.

### 12.12 Contenido del reporte:

- ❖ Volumen del agujero de ensayo, cm<sup>3</sup> o pie<sup>3</sup>
- ❖ Densidad húmeda del suelo en el sitio ( $\rho_h$ ), g/cm<sup>3</sup> o lb/ pie<sup>3</sup>
- ❖ Densidad seca del suelo en el sitio ( $\rho_s$ ), g/cm<sup>3</sup> o lb/ pie<sup>3</sup>
- ❖ Peso unitario seco en el sitio, kN/m<sup>3</sup> ( $\rho_s \times 9.807$ ) o lb/ pie<sup>3</sup> ( $\rho_s \times 62.43$ ), con una aproximación de 0.1 KN/m<sup>3</sup> o 1 lb/ pie<sup>3</sup>.
- ❖ Contenido de humedad del suelo en el sitio expresado como porcentaje de masa seca y el método de ensayo utilizado para su determinación.

- ❖ Identificación y calibración del volumen del aparato de ensayo.
- ❖ Densidad de masa de la arena utilizada en el ensayo,  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{lb/ pie}^3$ .
- ❖ Descripción visual del suelo o del material.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL SUELO EN EL SITIO  
 POR EL METODO DEL CONO DE ARENA  
 (BASADA EN AASHTO T 191-02)**

Ubicación : Mejicanos Fecha : 10/12/2005  
 Descripción visual del suelo: limo arenoso, café claro Laboratorio : SLGT, MORL  
 Metodo para determinar  $\omega$  : Calentamiento Calculó : SLGT, MORL  
directo

*Calibración del aparato cono de arena*

No. de aparato		14			
Masa de aparato lleno con arena (m1)	g	5476			
Masa de aparato + arena restante (m2)	g	4915			
Corrección del cono (Cc)	g	561			

*Determinación de la densidad en masa de la arena (D<sub>A</sub>)*

Masa de aparato lleno con arena (m3)	g	5476			
Masa de aparato + arena restante (m4)	g	2833.00			
Volumen del recipiente de calibración	cm <sup>3</sup>	923.72			
Volumen de cono y plato	cm <sup>3</sup>	368.40			
Densidad en masa de la arena	g/cm <sup>3</sup>	<b>1.61</b>			

*Determinación de la humedad del material extraído del agujero*

No. de tara		1	1					
Masa de tara (M <sub>t</sub> )	g	26.5	26.5					
Masa de suelo húmedo+tara (M <sub>h+t</sub> )	g	83.9	130					
Masa de suelo seco + tara (M <sub>s+t</sub> )	g	74.2	112.5					
Masa de agua (M <sub>w</sub> )	g	9.7	17.5					
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> )	g	47.7	86					
Contenido de agua		20.3	20.3					
Contenido de humedad promedio	%	<b>20.3</b>						
Masa húmeda del material extraído del agujero	g	1500.80						
Masa seca del material extraído del agujero	g	1247.11						

*Determinación de la densidad del suelo en el sitio*

Masa de aparato lleno con arena (m5)	g	5476.0			
Masa de aparato + arena restante (m6)	g	3495.6			
Volumen del agujero de ensayo	cm <sup>3</sup>	880.90			
Densidad húmeda del suelo in situ	g/ cm <sup>3</sup>	1.704			
Densidad seca in situ	g/ cm <sup>3</sup>	<b>1.416</b>			
Peso unitario seco en el sitio	kN/ m <sup>3</sup>	13.9			

Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ENSAYO N° 13

### **DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL SUELO Y SUELO-AGREGADO EN EL LUGAR POR MÉTODOS NUCLEARES (A UNA BAJA PROFUNDIDAD) (BASADA EN ASTM D 2922 - 01)**

#### **13.1. Objetivos:**

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de la densidad del suelo y mezclas suelo-agregado en el lugar por métodos nucleares, conforme a la norma ASTM D 2922 - 01.
- ❖ Determinar la densidad húmeda o total de un suelo (a una baja profundidad), utilizando el densímetro nuclear.

#### **13.2. Documentos de referencia:**

Normas ASTM

- D 2922 Norma de los métodos de ensayo para la densidad de suelos y suelo-agregado en el lugar por métodos nucleares (baja profundidad).
- D 2216 Método de ensayo para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 4959 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento directo.
- D 4643 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo por calentamiento con horno microonda.
- D 4944 Método de ensayo para la determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en campo, por medio del método de presión a gas de carburo de calcio, Speedy.

#### **13.3. Definiciones:**

##### ***Densidad de campo:***

Es la densidad del suelo en el terreno que permite verificar los resultados obtenidos en faenas de compactación de suelos, en las que existen especificaciones en cuanto a la humedad y la densidad.

#### **13.4. Alcances:**

- Estos métodos de ensayo cubren la determinación de la densidad húmeda o total del suelo y de mezclas de suelo-roca por la atenuación de la radiación gamma, donde la fuente y los detectores permanecen sobre la superficie (Método Backscatter) o son posicionados a una profundidad conocida, hasta de 300 mm (12 pulg), mientras permanecen en la superficie (Método de Transmisión Directa).
- La densidad en masa por unidad de volumen de material sometido a ensayo, es determinada por la comparación de rangos detectados de radiación gamma con datos de calibración establecidos previamente.

#### **13.5. Resumen del método:**

Seleccionado un lugar de ensayo, en el cual se desea determinar la densidad del suelo, se deberá inicialmente preparar dicho lugar, removiendo todo material suelto y disgregado. Posteriormente se procederá a aplanar y pulir una superficie del lugar hasta que sea uniforme, con el fin de lograr el máximo contacto entre el aparato densímetro y el suelo a ensayar. Finalmente, el densímetro es asentado y estabilizado tomando las lecturas correspondientes para la determinación de la densidad húmeda del suelo.

#### **13.6. Aplicación e importancia del método:**

- Los métodos de ensayo descritos (Método Backscatter y Método de Transmisión Directa) son prácticos por su rapidez y por ser técnicas no destructivas para la determinación de la densidad del suelo y roca en el lugar.
- El Método Backscatter es aplicado en suelos granulares o suelos tratados, mientras que el Método de Transmisión Directa es utilizado en carpetas asfálticas o de concreto.
- Los métodos de ensayo descritos son adecuados para la evaluación en el control de calidad y en la construcción, así como en la investigación y desarrollo de aplicaciones.
- La naturaleza no destructiva de estos métodos permiten realizar medidas repetitivas para una ubicación de un solo ensayo.

### 13.7. Material y equipo:

– *Densímetro nuclear:*

Es un instrumento de conteo electrónico capaz de colocarse sobre la superficie del material a ensayar. Contiene una fuente sellada de alta energía de radiación gamma como el cesio o radio, además de poseer un indicador gamma.

Nota: El indicador gamma puede ser de cualquier tipo tal como un tubo Geiger – Muller.



**Figura 13.1** Densímetro nuclear, utilizado para la determinación de la densidad del suelo en el lugar.

– *Patrón de referencia:*

Es un bloque de material utilizado para verificar la operación del instrumento y establecer las condiciones de referencia para un rango de conteo reproducible.

– *Dispositivo para preparación del sitio:*

Una placa, regla enrazadora u otra herramienta apropiada para nivelar, que pueda ser utilizada para la preparación de una superficie llana requerida en el lugar de ensayo.

En el método de transmisión directa, este dispositivo dirigirá la barra para hacer un agujero perpendicular.

– *Varilla de perforación:*

Es un pasador de un diámetro ligeramente mayor que la barra utilizada en el instrumento de transmisión directa, es usada para hacer un agujero en el material a ensayar y clavar la barra.

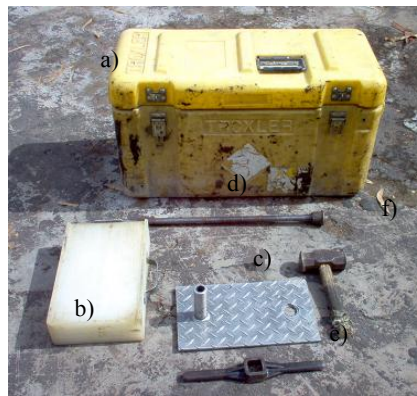
– *Extractor de la varilla de perforación:*

Es una herramienta a utilizarse para remover la varilla de perforación en dirección vertical, de tal manera que el pasador no deforme el agujero en el proceso de extracción.

Nota: Para la preparación del agujero en el material a ensayar puede ser usado un martillo deslizante con una varilla fija de perforación y para extraer la varilla del agujero sin deformarlo.

– *Misceláneos:*

Almádana o martillo, franelas, etc.



**Figura 13.2** Equipo empleado para la determinación de la densidad del suelo por el método nuclear. a) Caja de transporte, b) Patrón de referencia, c) Placa para raspado, d) varilla de perforación, e) Extractor, f) Almádana

**13.8. Precauciones generales del ensayo:**

- Este dispositivo (densímetro nuclear) utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los usuarios, a menos que se tomen precauciones adecuadas. Por tal razón, el usuario deberá familiarizarse con los procedimientos de seguridad aplicables y conocer las regulaciones de manejo.
- Las instrucciones efectivas del usuario junto con las rutinas de procedimientos de seguridad tales como ensayos de fuga de la fuente, evaluación y registro de datos propios de la capa, son parte recomendada del funcionamiento y almacenamiento de este instrumento.
- Es importante que en todo momento se reduzca la radioexposición mediante tres factores como son: disminuir el tiempo de exposición al densímetro, mantenerse

alejado del densímetro alrededor de  $1\text{m}^2$  durante el desarrollo del ensayo y utilizar blindajes o barreras para lograr minimizar la absorción de la radiación.

- Se deberá llevar un control de la radiación a la que ha sido expuesto el operador, utilizando cualquier tipo de detector gamma (dosímetro) el cual debe ser de uso personal.

### **13.9. Interferencias:**

- Rocas sobredimensionadas o vacíos grandes en el trayecto de la fuente detectora, pueden originar valores altos o bajos de densidad. Cuando la falta de uniformidad en el suelo debido a los estratos, rocas o vacíos sea supuesta, el volumen de ensayo del sitio deberá ser excavado hacia arriba y examinado visualmente para determinar si el material de ensayo es representativo de todo el material en general y si la corrección de la roca es requerida.
- El volumen de la muestra debe ser de aproximadamente  $0.0028\text{ m}^3$  ( $0.10\text{ pies}^3$ ) para el método Backscatter y  $0.0057\text{ m}^3$  ( $0.20\text{ pies}^3$ ) para el método de Transmisión Directa cuando la profundidad del ensayo sea de  $15\text{ cm}$  ( $6\text{ pulg}$ ).

Nota: El volumen real de la muestra es indeterminado y varía con los aparatos y la densidad del material. En general, entre más alta es la densidad más pequeño es el volumen.

### **13.10. Procedimiento:**

#### *13.10.1 Calibración y verificación de referencia del dispositivo nuclear:*

1. Realice la calibración colocando el densímetro nuclear a una distancia mínima de  $8\text{ m}$  ( $25\text{ pies}$ ) de otras fuentes de material radioactivo y limpie cualquier material u otros elementos que puedan afectar la velocidad de conteo de referencia.

Notas:

- Los densímetros nucleares están sujetos a envejecimiento a largo plazo de las fuentes radioactivas, detectores y sistemas eléctricos, los que pueden cambiar la relación entre la velocidad de conteo y la densidad del material. Para compensar este deterioro, el densímetro puede ser calibrado con la relación de la velocidad de conteo medida para una velocidad de conteo hecha en un patrón de referencia o a un conteo de perforación.



- La calibración del dispositivo deberá ser realizada al inicio de cada día de trabajo y se deberán registrar permanentemente los datos obtenidos.
  - Si es recomendado por el fabricante del aparato, realice lo siguiente: a) active el botón de encendido del densímetro antes de usarlo para permitirle estabilizarse, b) deje activado el botón de encendido durante el uso del densímetro por ese día. Todo lo anterior con el fin de proporcionar mayor estabilidad y resultados coincidentes.
2. Tome por lo menos cuatro lecturas de forma repetida, en el periodo normal de medida, utilizando el patrón de referencia y determine su promedio.
- Nota: Si se dispone en el densímetro, un periodo de medida de cuatro o más veces del periodo normal es aceptado, lo que constituye una verificación normalizada.
3. Calcule los límites de comparación de la calibración, utilizando la siguiente ecuación:

$$|N_s - N_o| = 2.0 \sqrt{\frac{N_o}{F}} \quad \text{Ec. 13.1}$$

Donde:

$N_s$  = Valor de conteo de la calibración actual.

$N_o$  = Promedio de los cuatro valores de  $N_s$  (del paso anterior) tomados antes de uso del densímetro.

$F$  = Valor prescrito. El valor prescrito ( $F$ ) es un divisor que reduce el valor real para el propósito de visualizarlo. Los fabricantes proporcionarán este valor, en caso de que sea otro diferente de 1. Algunos instrumentos pueden tener provisiones para calcular y visualizar este valor.

4. Verifique que el valor obtenido en el paso 2 se encuentre dentro de los límites calculados en el paso 3 y considere lo siguiente:
- 4.1 En caso que el valor obtenido se encuentre dentro de los límites establecidos, el densímetro es considerado en condición satisfactoria y el valor puede ser utilizado para determinar las relaciones de conteo para el día de uso.
- 4.2 Si el valor esta fuera de los límites, permita un tiempo adicional para que el densímetro se estabilice, asegúrese que el área este limpia de fuentes de

interferencia y luego realice otra verificación de calibración. Si la segunda verificación está dentro de los límites, el densímetro puede ser usado, en caso contrario; éste deberá ser ajustado o reparado como lo recomiende el fabricante.

Notas:

- Si el instrumento de calibración no ha sido verificado dentro de los tres meses previos al ensayo, realice por lo menos cuatro nuevas verificaciones de calibración y utilice el promedio como el valor para  $N_0$ .
- Utilice el valor  $N_s$  para determinar las relaciones de conteo en los usos diarios del instrumento. Si por cualquier razón, la medida de la densidad llega a ser dudosa durante el día en uso del densímetro, realice otra verificación de calibración.

#### *13.10.2 Procedimiento para uso del densímetro en campo:*

1. Seleccione el lugar a ensayar y remueva todo el material suelto y alterado hasta alcanzar el material que represente una muestra válida de la zona o del estrato a ser ensayado.

Notas:

- Si el densímetro nuclear estará cercano a 250 mm (10 pulg) a cualquier masa vertical que influya fuertemente en los resultados, como en una zanja o junto a una cañería, continúe con el procedimiento de corrección del fabricante.
  - Debido a que las condiciones de la superficie del suelo pueden afectar mucho la precisión de una medición, es importante localizar un lugar plano, sin grandes agujeros, grietas o restos de cualquier naturaleza.
  - Superficies secas y espacios polarizados deberán ser considerados en la determinación de la profundidad del material a ser removido.
2. Aplane o raspe una superficie lisa horizontal, utilizando la placa de raspado, de manera de obtener un máximo contacto entre el densímetro y el material a ser ensayado.



**Figura 13.3** Aplanado o raspado de la superficie del suelo a ensayar para la determinación de la densidad del suelo y suelo agregado en el lugar, por métodos nucleares.

Notas:

- La colocación del densímetro sobre la superficie del material a ensayar siempre es importante, pero es especialmente crítica para la determinación exitosa de la densidad cuando es utilizado el método Backscatter.
  - En todos los casos, la condición óptima es el contacto total entre el área de la base del densímetro y la superficie del material a ser ensayado.
  - Para corregir las irregularidades de la superficie, utilice arena fina o finos del lugar tanto como sea necesario para rellenar. Esta profundidad de llenado no deberá exceder aproximadamente los 3 mm (1/8") y su área total no excederá el 10% del área de la base del densímetro. La profundidad máxima que puede tolerarse de cualquier vacío sin llenar bajo el densímetro no debe exceder aproximadamente 3 mm (1/8"). Varios ensayos de colocación pueden ser requeridos para alcanzar estas condiciones.
3. Seleccione uno de los métodos de ensayo a desarrollar para determinar el valor de la densidad húmeda en el lugar (método Backscatter o método de Transmisión Directa).

3.1 MÉTODO BACKSCATTER:

- 3.1.1 Coloque firmemente el densímetro nuclear sobre el sitio preparado para el ensayo.
- 3.1.2 Mantenga todas las fuentes radiactivas alejadas del densímetro para evitar que afecten las lecturas del densímetro.

- 3.1.3 Fije y registre una o más lecturas para el periodo normal de medida en la posición Backscatter.
- 3.1.4 Determine la relación de la lectura para el conteo del patrón o para el conteo de la perforación.
- 3.1.5 Determine la densidad húmeda en el sitio, en base a la relación de conteo del paso anterior, la calibración apropiada y el ajuste de los datos.

### 3.2 MÉTODO DE TRANSMISIÓN DIRECTA:

- 3.2.1 Coloque nuevamente la placa de raspado sobre la superficie y encima de ésta la herramienta de extracción.
- 3.2.2 Sujete la placa con el pie y haga un agujero perpendicular a la superficie preparada, golpeando con una almádana (o martillo) el extremo de la varilla de perforación insertada en la herramienta de extracción hasta alcanzar la profundidad necesaria, tal como se muestra en la figura 13.4.



**Figura 13.4** Perforación del agujero utilizando la placa de raspado, el extractor de la varilla de perforación y la varilla de perforación por el Método de Transmisión Directa.

Notas:

- El agujero deberá ser de una profundidad y alineación tal, que la inserción de la barra del densímetro no cause una inclinación a éste en el plano del área preparada.
- La profundidad del agujero tiene que ser mayor que la profundidad a la cual se hará el ensayo.
- La placa de raspado será del mismo tamaño que la base del densímetro, con el agujero de la placa en la misma ubicación que la barra del densímetro.

Marque las esquinas de la placa de raspado rayando la superficie del suelo y remueva la varilla de perforación girando el extractor y halando hacia arriba (Ver figura 13.5)



**Figura 13.5** Remoción de la varilla de perforación utilizando el extractor.

Nota: No se debe aflojar la varilla de perforación por medio de golpes laterales proporcionados por un martillo, ya que esto provoca que se deforme el orificio o se llene éste de suelo.

Levante cuidadosamente la placa de raspado y luego coloque el densímetro nuclear sobre la superficie del suelo, alineándolo con la marcas de las esquinas de la placa, de tal forma que la barra del densímetro este directamente sobre el agujero previamente preparado.



**Figura 13.6** Colocación del densímetro nuclear sobre la superficie preparada en el Método de Transmisión Directa para la determinación de la densidad del suelo por métodos nucleares.

Inserte la barra del densímetro en el agujero y fije el densímetro, girándolo alrededor de la barra.

Deslice suavemente el densímetro hacia el lado derecho en la dirección en que se encuentra el teclado, de manera que la barra del densímetro haga contacto con la pared del agujero.

Nota: Se deberán mantener todas las demás fuentes radiactivas alejadas del densímetro nuclear para evitar que afecten las medidas.

Determine y registre en la hoja de datos correspondiente a este ensayo, una o más lecturas para el periodo normal de medida.

Determine la relación de la lectura para el conteo patrón, así como la densidad húmeda en el sitio, en base a la relación de conteo, una calibración apropiada y el ajuste de los datos.

Notas:

- Algunos instrumentos tienen incorporados suministros para calcular la relación, densidad húmeda. Adicionalmente algunos instrumentos pueden calcular y registrar contenidos de humedad y densidad seca.
- Si el volumen ensayado contiene material de sobretamaño en exceso con respecto a las limitaciones en los métodos de ensayo: ASTM D- 698, D-1557, D-

4253, entonces deberá ser aplicada una corrección para la densidad húmeda (peso unitario) (Práctica D 4718) y el contenido de humedad.

- Si es requerida la densidad seca, el contenido de agua deberá ser determinado en el sitio, utilizando cualquier muestra gravimétrica y ensayo de laboratorio (métodos D 2216, D4959, D 4643, D4944).
- Si el contenido de humedad es determinado por otros métodos y es expresado en porcentaje, calcule la densidad seca del suelo ensayado, como sigue:

$$\rho_s = \frac{100 \times \rho_h}{100 + W} \quad \text{Ec. 13.2}$$

Donde:

$\rho_s$  = Densidad seca en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

$\rho_h$  = Densidad húmeda kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

$W$  = Agua como un porcentaje de la masa seca.

### 13.11. Cuestionario:

- ❖ Mencione dos aplicaciones del método de ensayo ASTM D 2922.
- ❖ Mencione por lo menos dos alcances del ensayo para la determinación de la densidad del suelo y agregados en el lugar por métodos nucleares.
- ❖ ¿Qué factores pueden causar interferencias en el desarrollo de este ensayo?

### 13.12. Contenido del reporte:

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Calibración y regulación de datos para el período de ensayo.
- ❖ Nombre del operador (es).
- ❖ Marca, modelo y número de serie del instrumento de ensayo.
- ❖ Identificación del sitio de ensayo.
- ❖ Descripción visual del material ensayado.
- ❖ Método de ensayo (Backscatter o Transmisión Directa) y la profundidad de ensayo, si es aplicable.
- ❖ Densidades húmeda y seca en Kg/m<sup>3</sup> o pesos unitarios en lb/ft<sup>3</sup>.
- ❖ Contenido de agua en porcentaje de la masa seca o peso unitario seco.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE SUELO Y SUELO-AGREGADO EN EL  
 LUGAR POR MÉTODOS NUCLEARES (A UNA BAJA PROFUNDIDAD)  
 (BASADA EN ASTM D 2922 - 01)**

Lugar de procedencia	: <u>Guazapa</u>	Fecha	: <u>25/08/2006</u>
Marca del instrumento	: <u>Troxler</u>	Operadores	: <u>E.L., C.B</u>
Modelo	: <u>3430 - M</u>	Método de ensayo	: <u>Transmisión directa</u>
No de serie	: _____	Densidad Proctor	: <u>1412 kg/m<sup>3</sup></u>
Descripción visual del suelo	: <u>ML con arena de pómez, gris café</u>	Humedad óptima	: _____

No.	Ubicacion de ensayo	Contenido de humedad, %	Densidad seca, (kg/m <sup>3</sup> )	% de compactación
1	carril derecho	21.5	1392	98.6
2	carril derecho	19.6	1400	99.2
4	carril derecho	21.9	1371	97.1
5	carril derecho	19.6	1410	99.9
6	carril derecho	22.4	1407	99.6
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Observaciones: El tipo de aparato utilizado requiere le sean introducidos los datos de contenido de humedad y Densidad seca obtenida del Proctor. Este aparato proporciona el valor de la densidad seca del suelo ensayado.



## ENSAYO N° 14

### ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA PARA SUELOS COHESIVOS (BASADA EN ASTM D 2850-95, REAPROBADA EN 1999)

#### 14.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para realizar el ensayo de compresión triaxial no consolidada-no drenada en suelos cohesivos, conforme a la norma ASTM D 2850-95.
- ❖ Determinar la Ley de Resistencia al corte de un suelo cohesivo, utilizando el método de ensayo triaxial rápido.

#### 14.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 2850 Ensayo de compresión triaxial no consolidado- no drenado en suelos cohesivos.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 854 Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo a través del picnómetro con agua.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 2488 Práctica para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento Visual Manual).

#### 14.3 Definiciones:

##### ***Suelo cohesivo:***

Es un suelo que al encontrarse en estado seco presenta una considerable resistencia en estado seco y posee una significativa cohesión cuando se encuentra sumergido en un fluido.

##### ***Ensayo no consolidado-no drenado (método rápido):***

Es un ensayo en que el contenido de agua de un espécimen de suelo prácticamente no cambia durante la aplicación de la presión de confinamiento y la adición de la fuerza axial (o corte).

***Falla:***

Es la condición de esfuerzo a la falla para un espécimen de ensayo y corresponde a la máxima diferencia de esfuerzos principales alcanzada (esfuerzo desviador) o la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador) correspondiente al 15% de la deformación axial, cualquiera que se obtenga primero durante la realización de este ensayo.

***Resistencia (esfuerzo):***

Es la máxima tensión que un material puede resistir sin fallar para cualquier tipo de carga aplicada.

***Esfuerzo de compresión no consolidado-no drenado:***

Es el valor que corresponde a la diferencia de los esfuerzos principales (esfuerzos desviadores a la falla).

***Esfuerzo efectivo (Presión efectiva),  $\sigma$ :***

Es el promedio de la fuerza normal por unidad de área transmitida de partícula a partícula en una masa de suelo. Es el esfuerzo efectivo necesario para movilizar la fricción interna.

***Esfuerzo neutro (Presión de poros o Presión de agua en los poros),  $\mu$ :***

Es el esfuerzo transmitido a través del agua a los poros (el agua llena los vacíos en el suelo).

***Esfuerzo total:***

Es la fuerza total por unidad de área actuante dentro de la masa de suelo. Es la suma de los esfuerzos efectivos y neutros.

***Esfuerzo principal:***

Existen tres esfuerzos normales y recíprocamente perpendiculares a un plano de intersección en un punto, en el cual el esfuerzo cortante es cero.

Esfuerzo principal mayor: es el máximo esfuerzo principal. (considerando su sentido).

Esfuerzo principal menor: es el mínimo esfuerzo principal (considerando su sentido).

***Circulo de Mohr:***

Es una representación gráfica de los esfuerzos que actúan en varios planos de un punto dado.

***Envolvente de Mohr:***

Es la envolvente de una serie de círculos de Mohr que representan las condiciones de esfuerzos a la falla para un suelo dado.

***Fracción sobredimensionada (fracción gruesa),  $F_g$  (%):***

Es la fracción de la muestra total no utilizada en la realización del ensayo de compactación, ésta podría ser la fracción de la muestra total retenida en la malla No 4 (4.75 mm) ó  $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

**14.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia y relaciones esfuerzo-deformación de un espécimen cilíndrico inalterado o remoldeado de un suelo cohesivo.
- Los especímenes son sometidos a una presión de confinamiento por medio de un fluido en la cámara triaxial, en la cual durante la realización de este ensayo no es permitido ningún drenaje en el espécimen. Este se corta en compresión, sin drenaje a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada).
- Este método de ensayo proporciona datos para la determinación de las propiedades de la resistencia sin drenar y de la relación esfuerzo-deformación para los suelos. Además provee la medida de los esfuerzos totales aplicados al espécimen, es decir; los esfuerzos corregidos por la presión de agua en los poros.

**14.5 Resumen del método:**

Para realizar este método de ensayo se requiere labrar especímenes cilíndricos de suelo con una relación diámetro / altura de 2 a 2.5. El espécimen es cubierto con una delgada membrana de hule y se coloca dentro de una cámara de presión, la cual es llenada con agua. Posteriormente, el espécimen queda sometido a una presión de confinamiento por compresión de un fluido en la cámara, aplicando un esfuerzo axial a cierta velocidad hasta generar la falla cortante en el espécimen. Se registran las lecturas de carga y los valores de deformación axial obtenidos del indicador de deformación, luego el espécimen se retira de la cámara y se dibuja un esquema mostrando la falla que éste presenta.

#### **14.6 Aplicación e importancia del método:**

- En este método de ensayo la resistencia a la compresión de un suelo es determinada en términos de esfuerzos totales, por esta razón, el esfuerzo resultante depende de la presión generada por el fluido en los poros durante el proceso de carga.

Nota: En este método de ensayo a medida que se aplican las cargas no es permitido el drenaje de un fluido, ya sea desde o hacia el espécimen de suelo, por lo tanto, la presión resultante en los poros y la fuerza difieren de las generadas en el caso que el drenaje sea permitido.

- Si los especímenes de ensayo están 100% saturados, la consolidación no puede ocurrir cuando la presión de confinamiento es aplicada, ni durante la etapa de corte, debido a que el drenaje no es permitido. Por tal razón, si varios especímenes del mismo material son ensayados y poseen valores cercanos de contenido de humedad y relación de vacíos, éstos tendrán aproximadamente la misma resistencia al corte no drenada. Es por ello, que la envolvente de falla de Mohr para el ensayo triaxial no consolidado-no drenado para suelos 100% saturados usualmente es una línea horizontal de deformación, trazada sobre los rangos completos de esfuerzos confinados aplicados al espécimen.
- Si los especímenes de ensayo están parcialmente saturados o compactados, donde el grado de saturación es menor que el 100%, la consolidación podría ocurrir cuando la presión de confinamiento es aplicada y durante la etapa de corte, inclusive cuando el drenaje no es permitido. Por lo tanto, si se ensayan varios especímenes del mismo material parcialmente saturados a diferentes esfuerzos de confinamiento, éstos no tendrán la misma resistencia al corte no drenado. Es por ello, que la envolvente de falla de Mohr para el ensayo triaxial no consolidado- no drenado para suelos parcialmente saturados sea curva.
- La resistencia triaxial no consolidada-no drenada es aplicable a situaciones donde se asume que las cargas se aplican rápidamente, de tal manera, que no existe tiempo suficiente para que se disipe la presión inducida del agua en los poros, es decir, (no ocurre drenaje) no se produzca la consolidación durante el proceso de carga.

#### **14.7 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*  
En condición alterada o inalterada.

– *Aparato de carga axial:*

Consiste en un dispositivo de carga hidráulico, gato de tornillo conducido por un motor eléctrico o cualquier otro aparato de compresión capaz de proporcionar las cargas al espécimen.

Nota: El índice de avance del aparato no deberá desviarse más de  $\pm 5$  % del valor seleccionado.

Además, las vibraciones generadas por éste deberán ser lo suficientemente pequeñas como para no causar cambios en las dimensiones del espécimen de ensayo.

– *Aparato de medición de carga axial:*

Es un dispositivo capaz de medir la carga axial con una exactitud de 1% de la carga axial a la falla, el cual puede ser parte del aparato de carga axial.

– *Cámara de compresión triaxial:*

Consiste de una placa superior y una placa base inferior, separadas por un cilindro preferentemente transparente. La placa superior deberá poseer una válvula de ventilación que sirva para expulsar el aire fuera de la cámara a medida que ésta se llena y la placa base una tubería que permita la entrada del líquido a presión a la cámara.



**Figura 14.1** Cámara de compresión triaxial.

– *Pistón de carga axial:*

Diseñados de manera que la variación en la carga axial producida por la fricción no exceda el 0.1 % de la carga axial de la falla, evitando que durante la carga se origine un doblez lateral del pistón.

Notas:

- Para minimizar el doblado lateral se ha utilizado de manera satisfactoria un pistón con diámetro mínimo de 1/6" del diámetro del espécimen labrado.
- Se recomienda el uso de dos rieles o ejes lineales de bola para guiar el pistón, disminuir la fricción y mantenerlo alineado.

– *Aparato de control de presión:*

Consiste de un depósito conectado a la cámara triaxial y parcialmente lleno con el fluido de ésta (generalmente agua), conectado a un suministro de gas comprimido, el cual está controlado por un regulador de presión y medido por un indicador de presión. Es un dispositivo capaz de aplicar y controlar la presión en la cámara hasta un rango de  $\pm 2$  kPa (0.25 Psi) para presiones menores que 200 KPa (28 Psi) y de  $\pm 1\%$  para presiones mayores que 200 kPa (28 Psi).



**Figura 14.2** Aparato de control de presión para el ensayo triaxial.

– *Cabezal y base del espécimen:*

Construidos de material impermeable no corrosivo, rígido y con una superficie transversal circular y plana de contacto con el espécimen.

Nota: El diámetro del cabezal y base debe ser igual al diámetro inicial del testigo, además de ser lisas y no poseer ninguna clase de rasguños en la superficie que entra en contacto con el espécimen.



**Figura 14.3** Cabezal del espécimen para ensayo triaxial

- *Indicador de deformación:*  
Es un aparato de medición de la deformación vertical del testigo que puede ser un extensiómetro o un indicador dial.
  
- *Membrana de hule o goma:*  
Es utilizada para proteger el espécimen de suelo labrado de posibles derrames y al utilizarla se deberán tomar las siguientes consideraciones:
  - a) El diámetro de la membrana sin estirar debe estar entre 90 y el 95 % del diámetro del espécimen labrado.
  - b) El grosor de la membrana no deberá exceder el 1% del diámetro del espécimen.
  - c) La membrana deberá estar adherida a la base y en la parte superior del espécimen con anillos circulares de hule, donde sus diámetros internos se encuentren entre el 75% y 85% del diámetro de la base y la parte superior del espécimen.
  
- *Balanza:*  
Con una legibilidad de 0.01 g.
  
- *Horno de Secado:*  
Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.

- *Expansor de membrana* (ver figura 14.4)



**Figura 14.4** Expansor de membrana.

- *Misceláneos:*

Equipo para labrar probetas (sierra de alambre), desecador, cronómetro, vernier, regla de acero, recipientes para contenido de humedad, cuchara, franelas.

## **14.8 Procedimiento:**

### **14.8.1 Consideraciones generales:**

Estime para el labrado de los especímenes (inalterados o remoldeados) los siguientes requerimientos:

- El espécimen debe ser de forma cilíndrica con un diámetro mínimo de 3.3 cm (1.3 pulg).
- La relación altura / diámetro deberá estar entre 2 a 2.5.
- El diámetro de la muestra deberá ser 6 veces mayor que el tamaño máximo de la partícula encontrada en la muestra.

Nota: Si después de realizar el ensayo se encuentran ( basadas en una observación visual) en el espécimen partículas de sobretamaño, éstas deberán ser reportadas en la hoja de datos correspondientes.

### **14.8.2 Preparación de especímenes de ensayo:**

#### **14.8.2.1 Especímenes de muestras inalteradas (cortadas a mano en forma de cubo):**

1. Corte un fragmento prismático de la muestra inalterada de suelo, utilizando sierras de alambre u otro equipo de labrado.



2. Labre el prisma de suelo girando éste hasta moldear el espécimen según los requisitos establecidos en el apartado 14.8.1, (ver figura 14.5). Posteriormente ajuste sus superficies usando una regla enrasadora.



**Figura 14.5** Labrado del espécimen para ensayo triaxial.

Notas:

- Si al realizar el labrado del espécimen se dejan huecos visibles en la superficie de éste, rellénelos cuidadosamente con suelo remanente del tallado.
  - Maneje cuidadosamente el espécimen para minimizar alteraciones, cambios en la sección transversal o en el contenido de humedad.
  - El labrado debe ser realizado en un ambiente de humedad controlada, donde se reduzca al mínimo el cambio del contenido de agua en el suelo.
3. Coloque en el desecador el espécimen labrado y luego determine su contenido de humedad, utilizando el suelo remanente del labrado, según el método de ensayo D 2216 (ensayo No.1).
  4. Retire el espécimen del desecador y mida tres veces la altura de éste a una separación de  $120^\circ$ , utilizando un vernier. Calcule el valor promedio de las tres medidas tomadas y regístrelo como la altura promedio del espécimen ( $h_{prom}$ ) en el correspondiente formato.
  5. Tome tres medidas del diámetro del espécimen, en la parte superior, media e inferior de la altura total de éste, empleando un vernier. Calcule el valor promedio de las medidas tomadas y regístrelo como el diámetro promedio del espécimen ( $d_{prom}$ ) en el correspondiente formato.

Nota: Para la toma de las lecturas del diámetro, se deberá dividir inicialmente la altura total del espécimen en cuatro partes iguales, tomando dichas lecturas en los límites de la división.

6. Determine y registre la masa del espécimen labrado con una precisión de 0.01 g.
7. Coloque nuevamente el espécimen preparado, ya sea en un desecador, en un recipiente hermético o bolsa plástica, para impedir cualquier pérdida de humedad hasta el momento de ensayarlos (ver figura 14.6).



**Figura 14.6** Especímenes de ensayo colocados en un desecador.

8. Repita el mismo procedimiento para dos especímenes adicionales.

#### *14.8.2.2 Especímenes de muestras inalteradas (extraídas con tubo muestreador):*

1. Tome cuidadosamente un espécimen evitando en lo posible cualquier pérdida de humedad y cambios en sus dimensiones.
2. Corte los extremos de las superficies planas perpendiculares al eje longitudinal del espécimen, procurando que se mantengan las características del contenido de humedad y de la sección transversal de éste.
3. Verifique la existencia de vacíos en las superficies cortadas del espécimen, si éste fuera el caso, rellene cuidadosamente los huecos con suelo remanente del labrado.
4. Realice los pasos del 3 al 8 del apartado anterior, referido a la preparación del “especímen de muestras inalteradas cortadas a mano en forma de cubo”.

#### *14.8.2.3 Especímenes de muestras alteradas (especímen compactado):*

1. Tome una cantidad del suelo a ensayar entre 2 y 3 Kg.

2. Disgregue el suelo y tamícelo en la malla No 4. Posteriormente colóquelo en un recipiente con su respectiva identificación y desmenuce completamente los grumos en el suelo del material que paso la malla No 4, teniendo el cuidado de no reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
3. Tome una cantidad entre 1 y 1.5 Kg de suelo para la compactación, agregue agua y mezcle completamente hasta producir el contenido de agua deseado.
4. Almacene el material en un recipiente hermético o en bolsas plásticas y déjelo reposar durante un tiempo mínimo de 16 horas.
5. Seleccione un molde partido que posea las dimensiones según los requisitos establecidos en el apartado 14.8.1.
6. Coloque el suelo preparado dentro del molde (en por lo menos 6 capas) y compactelo a la densidad deseada utilizando un apisonador que posea un diámetro igual o menor a la mitad del diámetro del molde.

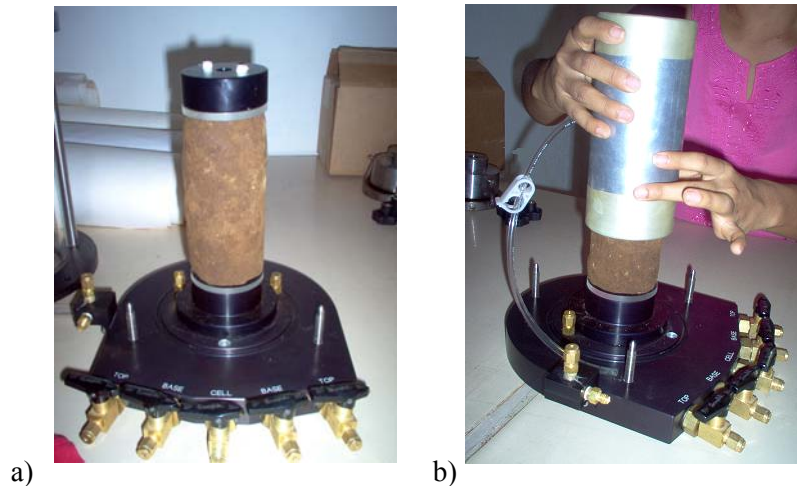
Notas:

- Escarifique la superficie de cada capa de suelo compactada, con el objetivo de lograr la adherencia entre las capas.
  - Los especímenes pueden ser compactados a la densidad deseada por uno de los siguientes métodos: 1) apisonando cada capa de suelo colocada en el molde hasta llevar la masa acumulada a un volumen conocido, 2) ajustando el número de capas, el número de golpes por capas y la fuerza de apisonamiento para compactar cada capa.
7. Corte los extremos del espécimen compactado de manera que las superficies sean perpendiculares al eje longitudinal del molde.
  8. Retire el molde y posteriormente determine la masa del espécimen y sus dimensiones según los pasos 4 y 5 del apartado 14.8.2.1.
  9. Coloque el espécimen preparado ya sea en un desecador, en un recipiente hermético o bolsa plástica, para impedir cualquier pérdida de humedad hasta el momento de ensayarlos.
  10. Realice nuevamente los pasos del 3 al 10 de este procedimiento para la elaboración de dos especímenes adicionales.

### 14.8.3 Colocación del espécimen de ensayo en la cámara de compresión triaxial:

1. Coloque la membrana al espécimen de suelo, mediante la selección de una de las alternativas siguientes:

Coloque el espécimen en la base del pedestal de la cámara de presión y sobre éste el cabezal (que será el que transmitirá la carga axial a la muestra), como se muestra en la figura 14.7a. Posteriormente, introduzca una membrana en el expansor deslizándola sobre el espécimen hasta cubrirlo en su totalidad (ver figura 14.7b).



**Figura 14.7** a) Espécimen colocado en la base del pedestal de la cámara, b) Colocación de la membrana al espécimen, utilizando el expansor.

Coloque la membrana en la base de la cámara de presión, luego ubique el espécimen sobre ésta con el cabezal y deslice la membrana hacia arriba hasta cubrir el espécimen totalmente.

2. Coloque en ambos extremos del espécimen con ayuda del expansor, anillos de hule o sellos, con la finalidad de prevenir el humedecimiento del espécimen cuando se aplique la presión de confinamiento.



**Figura 14.8** Colocación de anillos de hule en ambos extremos del espécimen.

Nota: Una alternativa para un sello seguro de la membrana es colocarle una capa de grasa de silicón en las superficies verticales del cabezal y la base.

3. Instale la cámara triaxial sobre el espécimen, asegurándose que el pistón de carga axial este en contacto con el cabezal.



**Figura 14.9** Instalación de la cámara triaxial sobre el espécimen.

Nota: Durante este proceso se debe tener el cuidado de no aplicar un esfuerzo axial al espécimen que exceda aproximadamente 0.5% de la resistencia a compresión estimada. Si el peso del pistón es suficiente como para aplicar un esfuerzo mayor de 0.5 % de la resistencia a compresión, entonces, coloque el pistón sobre el espécimen.

4. Verifique el alineamiento del pistón con el espécimen, ajustando cuantas veces sea necesario para evitar que se produzca excentricidad durante la aplicación de la carga axial.
5. Asegure la cámara triaxial por medio del giro de los tornillos de ésta, la colocamos en el aparato y descienda el marco del aparato de carga hasta que haga contacto con el pistón de la cámara triaxial.
6. Registre y anote en el formato correspondiente a este ensayo la lectura del indicador de deformación al finalizar dicho contacto.
7. Abra la válvula de agua hacia la cámara triaxial hasta llenarla y ajuste la presión de confinamiento deseada, manteniéndola hasta la aplicación de la carga axial.



**Figura 14.10** Aplicación de la carga axial al espécimen durante el ensayo triaxial

8. Ajuste el dispositivo de medición de carga axial y espere aproximadamente 10 min antes de la aplicación de dicha carga.

Notas:

- El periodo de espera podría ser incrementado para suelos suaves o parcialmente saturados.
- Asegúrese que el pistón se cierre o se mantenga en el lugar por medio del dispositivo de carga axial antes de la aplicación de la presión en la cámara.
- Si el dispositivo de medición de carga axial es localizado fuera de la cámara triaxial, la presión en ésta producirá una fuerza ascendente sobre el pistón que reaccionará nuevamente en el dispositivo de carga axial. En este caso, inicie el ensayo con el pistón ligeramente sobre la parte superior del cabezal y antes que haga contacto con éste realice cualquiera de los siguientes procesos: 1) mida y registre la fricción inicial del pistón y el

empuje hacia arriba del mismo producido por la presión de la cámara y posteriormente corrija la medición la carga axial registrada o 2) ajuste el dispositivo de medición de carga axial para compensar la fricción y el empuje.

- Si el dispositivo de medición de carga axial es localizado dentro de la cámara, no será necesario compensar o corregir para la fricción del pistón ni para la fuerza de empuje accionando el dispositivo de carga axial.
- En ambos casos, cuando el pistón se encuentre fuera o dentro de la cámara triaxial, se deberá registrar la lectura inicial en el indicador de deformación cuando el pistón haga contacto con el cabezal del espécimen.

9. Aplique la carga axial al espécimen a una velocidad de deformación con relación al tipo de material a ensayar, según la siguiente tabla:

**Tabla 14.1 Velocidad de aplicación de la carga axial dependiendo del tipo de suelo.**

Velocidad	Tipo de material
1 %/min	Suelos plásticos
0.3 %/min	Suelos quebradizos, los cuales alcanzan esfuerzos desviadores máximos de aproximadamente entre 3% y 6 %.

Fuente: Norma ASTM D 2850, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

Notas:

- A estas velocidades, el tiempo transcurrido para llegar al esfuerzo desviador máximo es de aproximadamente 15 a 20 minutos.
- La aplicación de la carga axial con las velocidades expuestas en la tabla 14.1 son para lograr un esfuerzo desviador máximo de aproximadamente un 3 a 6% de la deformación.

10. Continúe la aplicación de la carga axial hasta un 15% de la deformación axial, y disminuya cuando el esfuerzo desviador en el punto máximo caiga a un 20 % o la deformación axial llegue a un 5% más que la deformación con la que se alcanza el punto máximo de esfuerzo desviador.
11. Registre las lecturas de carga y los valores de deformación aproximadamente a 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5% de la deformación, luego en incrementos de 0.5% hasta un 3%, posteriormente en incrementos de 1% hasta que ocurra la falla.

Notas:

- Tome suficientes lecturas para definir claramente la curva esfuerzo-deformación, en especial en las etapas iniciales del ensayo y cercanas a la falla.
- Pueden usarse intervalos alternos para las lecturas de carga y deformación, de manera que sean obtenidos suficientes puntos para definir la curva esfuerzo-deformación.

12. Retire el espécimen de suelo de la cámara triaxial luego de ocurrida la falla y esboce un esquema de éste o tome una fotografía mostrando la superficie de falla (tales como: plano de corte, en forma de barril, etc).



**Figura 14.11** Superficie de falla ocurrida en el espécimen durante el proceso de carga en el ensayo triaxial.

13. Determine el contenido de humedad del espécimen ensayado, según el método de ensayo ASTM D 2216 (ensayo 1).

Nota: Si es posible se recomienda utilizar todo el espécimen ensayado.

14. Ensaye nuevamente 2 especímenes adicionales, sometiéndolos a otras presiones de confinamiento requeridas.

#### 14.9 Cálculos:

- 14.9.1 Calcule el área promedio de la sección transversal, como sigue:

$$A_{prom} = \pi \frac{(d_{prom})^2}{4} \quad \text{Ec. 14.1}$$

Donde:

$$A_{prom} = \text{Área promedio de la sección transversal del espécimen, cm}^2$$



$d_{prom}$  = Diámetro promedio del espécimen, cm.

14.9.2 Calcule el volumen del espécimen de suelo utilizando la siguiente ecuación:

$$V_e = A_{prom} \times h_{prom} \quad \text{Ec. 14.2}$$

Donde:

$V_e$  = Volumen del espécimen,  $\text{cm}^3$

$A_{prom}$  = Área promedio de la sección transversal del espécimen,  $\text{cm}^2$

$h_{prom}$  = Altura promedio del espécimen, cm.

14.9.3 Calcule el peso volumétrico de la muestra, como sigue:

$$\gamma_e = \frac{M_e}{V_e} \quad \text{Ec. 14.3}$$

Donde:

$\gamma_e$  = Peso volumétrico del espécimen,  $\text{g/cm}^3$

$M_e$  = Masa del espécimen, g

$V_e$  = Volumen del espécimen,  $\text{cm}^3$

14.9.4 Calcule la carga aplicada al espécimen utilizando la siguiente ecuación:

$$P = K_a \times \delta_a \quad \text{Ec. 14.4}$$

Donde:

$P$  = Carga axial aplicada al espécimen de suelo, Kg

$K_a$  = Constante del anillo de carga, Kg/u

$\delta_a$  = Lecturas del deformímetro del anillo de carga axial, u

Nota: Este cálculo con la ecuación 14.4, se hará únicamente si en la realización del ensayo ha sido utilizado un anillo de carga para la aplicación de la carga axial.

14.9.5 Calcule las deformaciones axiales de la probeta, como sigue:

$$\Delta H = K_d \times \delta_d \quad \text{Ec. 14.5}$$

Donde:

$\Delta H$  = Deformación axial, mm

$K_d$  = Precisión del deformímetro de deformación axial, mm/u

$\delta_d$  = Lecturas del deformímetro de deformación axial, u

Nota: Este cálculo se hará de esta forma únicamente si en la realización del ensayo ha sido utilizado un marco con anillo de carga.

14.9.6 Calcule la deformación unitaria uniaxial para cada carga axial aplicada, utilizando la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{h_{prom}} \quad \text{Ec. 14.6}$$

Donde:

$\epsilon$  = Deformación unitaria uniaxial para cada carga axial aplicada, expresada en decimales.

$\Delta H$  = Deformación axial, mm

$h_{prom}$  = Altura promedio del espécimen, mm.

14.9.7 Calcule el área corregida de la sección transversal promedio del espécimen para una carga axial aplicada, como sigue:

$$A_c = \frac{A_{prom}}{(1 - \epsilon)} \quad \text{Ec. 14.7}$$

Donde:

$A_c$  = Área corregida de la sección transversal promedio para una carga axial aplicada,  $\text{cm}^2$

$A_{prom}$  = Área promedio de la sección transversal del espécimen,  $\text{cm}^2$

$\epsilon$  = Deformación unitaria uniaxial para cada carga axial aplicada, %

14.9.8 Calcule la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador), para cada carga axial aplicada utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A_c} \quad \text{Ec. 14.8}$$

Donde:

$\sigma_1 - \sigma_3$  = Esfuerzo desviador a la falla,  $\text{Kg}/\text{cm}^2$

$P$  = Carga axial aplicada al espécimen de suelo, Kg

$A_c$  = Área corregida de la sección transversal promedio para una carga axial aplicada,  $\text{cm}^2$ .

- 14.9.9 Construya la curva esfuerzo-deformación trazando la diferencia de los esfuerzos principales (esfuerzo desviador) en el eje de las ordenadas y la deformación axial en el eje de las abscisas.
- 14.9.10 Trace una tangente a la curva construida en el punto de inicio de carga y calcule el módulo de elasticidad del suelo (E), obteniendo la pendiente de la tangente a la curva.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{Ec. 14.9}$$

Donde:

$E$  = Módulo de elasticidad del suelo, Kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$  = Esfuerzo desviador aplicado al suelo ensayado, Kg/cm<sup>2</sup>

$\epsilon$  = Deformación unitaria uniaxial para cada carga axial aplicada.

- 14.9.11 Seleccione la diferencia de esfuerzos principales y la deformación unitaria axial en la falla.
- 14.9.12 Calcule los esfuerzos principales máximo y mínimo totales a la falla, como sigue:  
 $\sigma_3$  = Esfuerzo principal menor = Presión en la cámara  
 $\sigma_1$  = Esfuerzo principal mayor = Esfuerzo desviador a la falla + Presión en la cámara.
- 14.9.13 Construya los círculos de esfuerzo de Mohr a la falla en una escala aritmética, colocando en el eje de las ordenadas los esfuerzos de corte y en las abscisas los esfuerzos normales.

Notas:

- Al graficar un círculo de un espécimen de ensayo, coloque el centro  $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$  en el eje de los esfuerzos normales y un radio igual a  $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$  en el mismo eje.
- Si se ensayan especímenes de suelo a diferentes presiones de cámara, deberán plotearse los círculos de esfuerzos de Mohr, representando las resistencias de cada uno de los especímenes.

- 14.9.14 Trace una tangente a los círculos construidos que intercepte el eje de las ordenadas, definiendo la envolvente “*La resistencia al corte del suelo*”.
- 14.9.15 Reporte la distancia de cero al intercepto de la tangente con el eje de los esfuerzos de corte como la cohesión aparente del suelo ensayado (C) y el ángulo de la

tangente con respecto al eje de las abscisas como el ángulo aparente de la resistencia al corte del suelo ensayado ( $\varphi$ ).

- 14.9.16 Establezca la Ley de Resistencia al Esfuerzo Cortante del suelo, utilizando la ecuación de Coulomb:

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi \quad \text{Ec. 14.10}$$

Donde:

$\tau$  = Ley de Resistencia al Esfuerzo Cortante del suelo, Kg/cm<sup>2</sup>

$C$  = Cohesión aparente del suelo ensayado, Kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$  = Esfuerzo desviador aplicado al suelo ensayado, Kg/cm<sup>2</sup>

$\varphi$  = Angulo de fricción interna del suelo, en grados.

#### 14.10 Ejemplo:

Los datos utilizados para el ejemplo de cálculo serán los obtenidos del espécimen No. 1.

Datos:

Diámetro del espécimen = 7.1 cm

Altura promedio del espécimen = 15.07cm

Masa del espécimen = 1016.5 g

- 14.10.1 Cálculo del área promedio de la sección transversal del espécimen No.1, según la ecuación 14.1:

$$A_{prom} = \pi \times \frac{(7.1)^2}{4}$$

$$A_{prom} = 39.59 \text{ cm}$$

- 14.10.2 Cálculo del volumen del espécimen de suelo utilizando la ecuación 14.2:

$$V_e = 39.59 \times 15.07$$

$$V_e = 596.7 \text{ cm}^3$$

- 14.10.3 Cálculo del peso volumétrico de la muestra según la ecuación 14.3:

$$\gamma_e = \frac{1016.5 \text{ g}}{596.7 \text{ cm}^3}$$

$$\gamma_e = 1.704 \text{ g/cm}^3$$

14.10.4 Cálculo de la deformación unitaria uniaxial para cada carga aplicada de acuerdo a la ecuación 14.6:

$$\epsilon = \frac{0.4826}{150.7}$$

$$\epsilon = 0.003$$

14.10.5 Cálculo del área corregida de la sección transversal promedio del espécimen para una carga axial aplicada, según la ecuación 14.7:

$$A_c = \frac{39.59}{(1 - 0.003)}$$

$$A_c = 39.72 \text{ cm}^2$$

14.10.6 Cálculo de la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador) para una carga axial aplicada al espécimen, utilizando la ecuación 14.8:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{8.18}{39.72}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 0.21 \text{ Kg/cm}^2$$

14.10.7 Módulo de elasticidad del suelo, el cual se determina calculando la pendiente de la curva, utilizando la ecuación 14.9:

$$E = \frac{(1.86 - 0.91)}{(0.011 - 0.007)}$$

$$E = 237.5 \text{ Kg/cm}^2$$

14.10.8 Diferencia de esfuerzos principales y deformación unitaria axial a la falla, obtenidos en la probeta:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 3.26 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Deformación unitaria axial} = 0.022$$

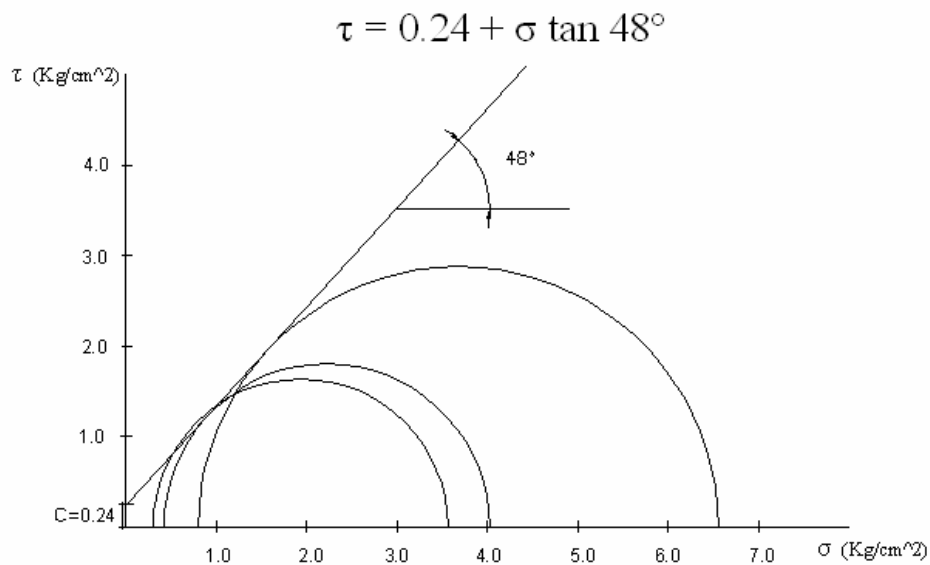
14.10.9 Determinación de los esfuerzos principales máximo y mínimo totales a la falla:

$$\sigma_3 = 0.30 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 3.26 + 0.30 = 3.56 \text{ Kg/cm}^2$$

14.10.10 Construcción de los círculos de Mohr con los datos obtenidos de las tres probetas ensayadas y determinación de Ley de Resistencia al Esfuerzo Cortante del suelo (ver figura 14.12).

$$\begin{array}{ll} \sigma_3 = 0.30 \text{ Kg/cm}^2 & \sigma_1 = 3.56 \text{ Kg/cm}^2 \\ \sigma_3 = 0.42 \text{ Kg/cm}^2 & \sigma_1 = 4.02 \text{ Kg/cm}^2 \\ \sigma_3 = 0.80 \text{ Kg/cm}^2 & \sigma_1 = 6.55 \text{ Kg/cm}^2 \end{array}$$



**Figura 14.12** Círculos de Mohr.

De los círculos de Mohr presentados en la figura anterior se obtiene:

$$\text{Cohesión} = 0.24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Angulo de fricción interna } \phi = 48^\circ$$

$$\text{Ley de resistencia al corte } \tau = 0.24 + \sigma \tan 48^\circ$$

#### 14.11 Cuestionario:

- ❖ Defina el término “falla en un suelo”, según la norma ASTM D 2850.
- ❖ Mencione dos aplicaciones del método de ensayo ASTM D 2850-00.
- ❖ Mencione por lo menos dos alcances del ensayo de compresión triaxial no consolidado- no drenado en suelos cohesivos.
- ❖ Escriba la ecuación de la Ley de Resistencia al Esfuerzo Cortante de un suelo.

#### **14.12 Contenido del reporte:**

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación y descripción de los especímenes ensayados, como: lugar de procedencia, número de muestra, número de ensayo, clasificación del suelo ensayado, etc.
- ❖ Diámetros y alturas iniciales del espécimen.
- ❖ Valores de límite líquido y límite plástico de la muestra de suelo ensayado.
- ❖ Valor de la gravedad específica de los sólidos del suelo.
- ❖ Peso unitario seco inicial del espécimen, relación de vacíos, contenido de agua y grado de saturación.
- ❖ Tensión axial a la falla.
- ❖ Valor de la fuerza de compresión y esfuerzos máximo y mínimo durante la falla.
- ❖ Curva de esfuerzo-deformación.
- ❖ Valores de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo ensayado.
- ❖ Esquema o fotografía de la falla del espécimen.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



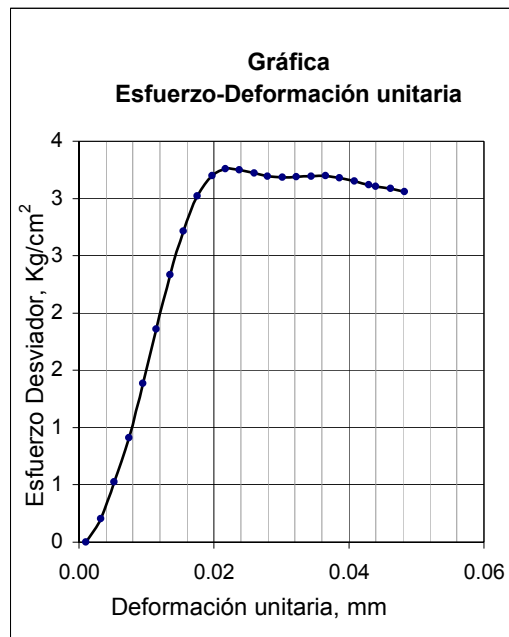
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL  
 NO CONSOLIDADO- NO DRENADO PARA SUELOS COHESIVOS  
 (BASADA EN ASTM D 2850-95, REAPROBADA EN 1999)**

Proyecto : Edificio de laboratorio No. de muestra : 1  
 Lugar de procedencia : UCA No. de probeta : 1  
 Clasificación : SM Fecha : 19/06/2006

**DATOS INICIALES**

$D_{prom} = 7.1$  cm       $M_{he} = 1016.5$  g       $S_s = 2.7$   
 $H_{prom} = 15.07$  cm       $V_e = 596.65$  cm<sup>3</sup>       $\omega = 26.75$  %  
 $A_{prom} = 39.59$  cm<sup>2</sup>       $\gamma_e = 1.704$  g/cm<sup>3</sup>       $G_w = 71.72$  %

t, s	Carga kg	Deformac. axial, mm	Deformac. Unitaria, mm	Area corregida, cm <sup>2</sup>	Esfuerzo desviador, kg/cm <sup>2</sup>
15	0	0.1524	0.001	39.63	0.00
30	8.18182	0.4826	0.003	39.72	0.21
60	20.9091	0.7874	0.005	39.80	0.53
90	36.3636	1.1176	0.007	39.89	0.91
120	55.4545	1.4224	0.009	39.97	1.39
150	74.5455	1.7272	0.011	40.05	1.86
180	93.6364	2.0320	0.013	40.13	2.33
210	109.091	2.3368	0.016	40.22	2.71
270	121.818	2.6416	0.018	40.30	3.02
300	129.091	2.9718	0.020	40.39	3.20
330	131.818	3.2766	0.022	40.47	3.26
360	131.818	3.5814	0.024	40.56	3.25
390	130.9	3.9116	0.026	40.65	3.22
420	130.0	4.2164	0.028	40.73	3.19
450	130.0	4.5466	0.030	40.82	3.18
480	130.5	4.8514	0.032	40.91	3.19
510	130.9	5.1816	0.034	41.00	3.19
540	131.4	5.5118	0.037	41.10	3.20
570	130.9	5.8166	0.039	41.18	3.18
600	130.0	6.1468	0.041	41.28	3.15
630	129.1	6.4770	0.043	41.37	3.12
660	128.6	6.6294	0.044	41.41	3.11
690	128.2	6.9596	0.046	41.51	3.09
720	127.273	7.2644	0.048	41.60	3.06



**ESQUEMA DE FALLA**



$\sigma_3 = 0.30$  Kg/cm<sup>2</sup>      Esfuerzo de falla = 3.26 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_1 - \sigma_3 = 3.26$  Kg/cm<sup>2</sup>      Def. Unitaria a la falla = 0.022 %  
 $\sigma_1 = 3.56$  Kg/cm<sup>2</sup>      Limite Liquido = 27.5 %  
 $W_s = 801.48$  g      Limite Plástico = 24.3 %  
 $V_w = 215.0$  cm<sup>3</sup>       $e = 1.01$   
 $V_s = 296.84$  cm<sup>3</sup>       $\gamma_d = 1.3433$  g/cm<sup>3</sup>  
 $V_v = 299.81$  cm<sup>3</sup>



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



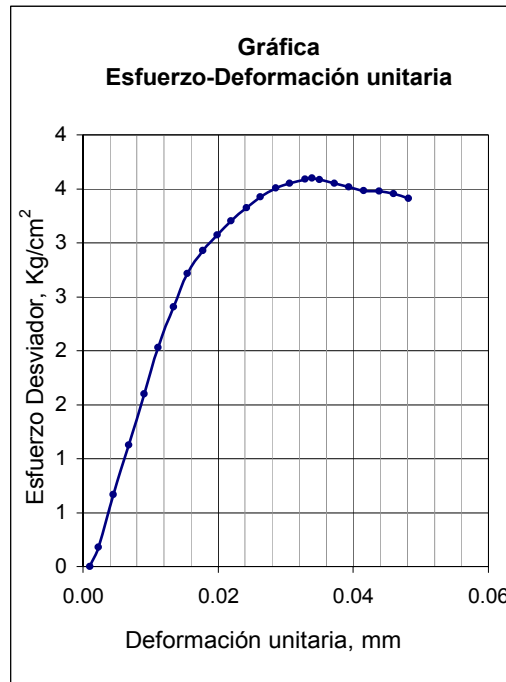
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL  
 NO CONSOLIDADO- NO DRENADO PARA SUELOS COHESIVOS  
 (BASADA EN ASTM D 2850-95, REAPROBADA EN 1999)**

Proyecto	:Edificio de laboratorio	No. de muestra	:	1
Lugar de procedencia	:UCA	No. de probeta	:	2
Clasificación	:SM	Fecha	:	19/06/2006

**DATOS INICIALES**

$D_{prom}$	=	<u>6.7</u> cm	$M_{he}$	=	<u>902.2</u> g	$S_s$	=	<u>2.7</u>
$H_{prom}$	=	<u>14.6</u> cm	$V_e$	=	<u>514.75</u> cm <sup>3</sup>	$\omega$	=	<u>29.89</u> %
$A_{prom}$	=	<u>35.26</u> cm <sup>2</sup>	$\gamma_e$	=	<u>1.7527</u> g/cm <sup>3</sup>	$G_\omega$	=	<u>82.15</u> %

t, s	Carga, kg	Deformac. axial, mm	Deformac. Unitaria, mm	Area corregida, cm <sup>2</sup>	Esfuerzo desviador, kg/cm <sup>2</sup>
15	0	0.1524	0.001	35.29	0.00
30	6.4	0.3302	0.002	35.34	0.18
60	23.6	0.6604	0.005	35.42	0.67
90	40.0	0.9906	0.007	35.50	1.13
120	56.8	1.3208	0.009	35.58	1.60
150	72.3	1.6256	0.011	35.65	2.03
180	85.9	1.9558	0.013	35.74	2.40
210	97.3	2.2606	0.015	35.81	2.72
240	105.0	2.5908	0.018	35.89	2.93
270	110.5	2.8956	0.020	35.97	3.07
300	115.5	3.2004	0.022	36.05	3.20
330	120.0	3.5306	0.024	36.13	3.32
360	124.1	3.8354	0.026	36.21	3.43
390	127.3	4.1656	0.029	36.29	3.51
420	129.1	4.4704	0.031	36.37	3.55
450	130.9	4.8006	0.033	36.46	3.59
480	131.4	4.9530	0.034	36.49	3.60
510	130.9	5.1054	0.035	36.53	3.58
540	130.0	5.4356	0.037	36.62	3.55
570	129.1	5.7404	0.039	36.70	3.52
600	128.2	6.0706	0.042	36.79	3.48
630	128.2	6.4008	0.044	36.87	3.48
660	127.7	6.7056	0.046	36.95	3.46
690	126.4	7.0358	0.048	37.04	3.41



**ESQUEMA DE FALLA**



$\sigma_3$	=	<u>0.42</u> Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de falla	=	<u>3.60</u> Kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_1 - \sigma_3$	=	<u>3.60</u> Kg/cm <sup>2</sup>	Def. Unitaria a la falla	=	<u>0.034</u> %
$\sigma_1$	=	<u>4.02</u> Kg/cm <sup>2</sup>	Limite Liquido	=	<u>27.5</u> %
$W_s$	=	<u>689</u> g	Limite Plástico	=	<u>24.3</u> %
$V_w$	=	<u>213.3</u> cm <sup>3</sup>	$e$	=	<u>1.02</u>
$V_s$	=	<u>255.2</u> cm <sup>3</sup>	$\gamma_d$	=	<u>1.338</u> /cm <sup>3</sup>
$V_v$	=	<u>259.6</u> cm <sup>3</sup>			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



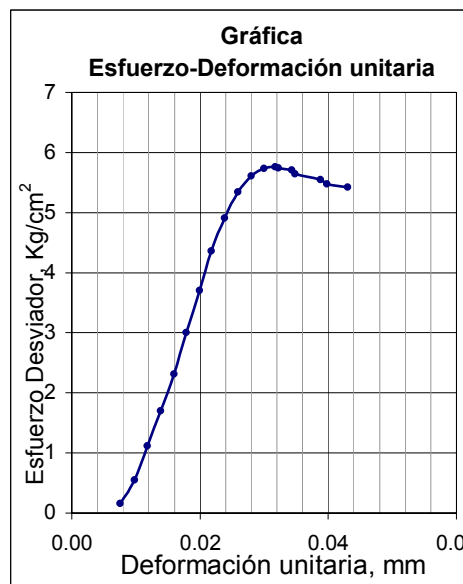
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL  
 NO CONSOLIDADO- NO DRENADO PARA SUELOS COHESIVOS  
 (BASADA EN ASTM D 2850-95, REAPROBADA EN 1999)**

Proyecto	:Edificio de laboratorio	No. de muestra	:	1
Lugar de procedencia	:UCA	No. de probeta	:	3
Clasificación y descripción	:SM	Fecha	:	19/06/2006

**DATOS INICIALES**

$D_{prom}$	=	<u>6.8</u> cm	$M_{he}$	=	<u>960.6</u> g	$S_s$	=	<u>2.7</u>
$H_{prom}$	=	<u>14.8</u> cm	$V_e$	=	<u>537.49</u> cm <sup>3</sup>	$\omega$	=	<u>26.88</u> %
$A_{prom}$	=	<u>36.32</u> cm <sup>2</sup>	$\gamma_e$	=	<u>1.787</u> g/cm <sup>3</sup>	$G_w$	=	<u>79.21</u> %

t, s	Carga, kg	Deformac. axial, mm	Deformac. Unitaria, mm	Area corregida	Esfuerzo desviador
90	5.9	1.1176	0.008	36.59	0.16
120	20.0	1.4478	0.010	36.68	0.55
150	40.9	1.7526	0.012	36.75	1.11
180	62.7	2.0574	0.014	36.83	1.70
210	85.5	2.3622	0.016	36.91	2.32
240	110.9	2.6416	0.018	36.98	3.00
270	137.3	2.9464	0.020	37.05	3.70
300	161.8	3.2258	0.022	37.13	4.36
330	182.7	3.5306	0.024	37.20	4.91
360	199.1	3.8354	0.026	37.28	5.34
390	209.5	4.1402	0.028	37.36	5.61
420	214.5	4.4450	0.030	37.44	5.73
450	215.9	4.6990	0.032	37.51	5.76
460	215.5	4.7752	0.032	37.53	5.74
480	214.5	5.0800	0.034	37.61	5.70
510	212.3	5.1562	0.035	37.63	5.64
540	209.5	5.7404	0.039	37.78	5.55
570	207.3	5.8928	0.040	37.82	5.48
600	205.9	6.3754	0.043	37.95	5.43



**ESQUEMA DE FALLA**



$\sigma_3$	=	<u>0.80</u> Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de falla	=	<u>5.76</u> Kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_1 - \sigma_3$	=	<u>5.75</u> Kg/cm <sup>2</sup>	Def. Unitaria a la falla	=	<u>0.032</u> %
$\sigma_1$	=	<u>6.55</u> Kg/cm <sup>2</sup>	Limite Liquido	=	<u>27.5</u> %
$W_s$	=	<u>756.9</u> g	Limite Plástico	=	<u>24.3</u> %
$V_w$	=	<u>203.7</u> cm <sup>3</sup>	e	=	<u>0.92</u>
$V_s$	=	<u>280.3</u> cm <sup>3</sup>	$\gamma_d$	=	<u>1.408</u> g/cm <sup>3</sup>
$V_v$	=	<u>257.1</u> cm <sup>3</sup>			

## ENSAYO No. 15

### MÉTODO DE ENSAYO PARA CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES DRENADAS Y CONSOLIDADAS (BASADA EN ASTM D 3080-98)

#### 15.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación de la resistencia al corte de un suelo, conforme a la norma ASTM D 3080-98.
- ❖ Definir la Ley de resistencia al corte de un suelo, por medio de la realización del ensayo de corte directo.

#### 15.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 698 Método de ensayo de laboratorio para las características de compactación de un suelo, utilizando un esfuerzo normado de  $600 \text{ KN-m}^3$  (12,400 lb-pie / pie<sup>3</sup>).
- D 854 Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo a través del picnómetro con agua.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 2488 Práctica para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento Visual Manual)
- D 3080 Método de ensayo para corte directo de suelos bajo condiciones drenadas y consolidadas.

#### 15.3 Definiciones:

##### ***Desplazamiento lateral relativo:***

Se define como el desplazamiento horizontal de la mitad superior respecto a la mitad inferior de la caja de corte.

##### ***Falla:***

Es la condición de esfuerzo a la falla para un espécimen de ensayo. La falla corresponde al valor del esfuerzo de corte máximo logrado o al esfuerzo de corte para el 15 o 20% del

desplazamiento lateral relativo. Dependiendo del comportamiento del suelo y la aplicación del campo, otros criterios apropiados podrían ser definidos.

***Ensayo de corte directo:***

Es un ensayo en el cual un suelo o roca bajo una carga normal aplicada, es llevado a la falla por el movimiento relativo de una sección de la muestra o de la caja de corte respecto a la otra sección.

***Resistencia al corte (S):***

Se define como la resistencia máxima al esfuerzo cortante de un suelo o roca.

***Pico de resistencia al corte:***

Esta definido por el máximo esfuerzo de corte a lo largo de la superficie de falla.

***Contenido de humedad:***

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

***Muestra inalterada:***

Es una muestra de suelo que ha sido obtenida por métodos en los cuales se han tomado todas las precauciones para minimizar alteraciones en la muestra.

***Tamaño máximo de la partícula:***

Es la abertura de la malla más pequeña a través de la cual debe pasar el 100% del agregado.

**15.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia de corte consolidada y drenada de un suelo en corte directo. El ensayo es realizado deformando un espécimen a una velocidad de deformación controlada en un plano simple de corte, determinado por la configuración del aparato.

Nota: Generalmente, se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente, para determinar los efectos en la resistencia de corte, desplazamiento y propiedades de resistencia tales como las envolventes de esfuerzo de Mohr.

- Los esfuerzos de corte y desplazamientos son distribuidos dentro del espécimen de una manera no uniforme. Una altura apropiada no puede definirse para el cálculo de deformaciones de corte. Por consiguiente, relaciones de esfuerzo-tensión o cualquier cantidad asociada como módulo no puede ser determinada con este ensayo.
- La determinación de envolventes de esfuerzos y el desarrollo del criterio para interpretar y evaluar resultados del ensayo, queda a cargo del ingeniero u oficina que solicite el ensayo.
- Las condiciones del ensayo, incluyendo el esfuerzo normal y la humedad del ambiente, son seleccionadas de manera que sean representativas de las condiciones de campo que se están investigando. La velocidad de corte debe ser lo suficientemente lenta para asegurar las condiciones drenadas.

### **15.5 Resumen del método:**

Este método de ensayo consiste en colocar un espécimen de suelo en el dispositivo de corte directo y aplicar una tensión normal predeterminada, proporcionándole humedad o drenaje al espécimen o ambos, consolidando éste bajo la tensión normal. Posteriormente se liberan los marcos que contienen al espécimen desplazando horizontalmente una mitad de la caja con respecto a la otra, a una velocidad constante de deformación, midiendo la resistencia de corte y los desplazamientos horizontales, según como es cortado el espécimen.

### **15.6 Aplicación e importancia del método:**

- El ensayo de corte directo es apropiado para la determinación relativamente rápida de las propiedades consolidadas y drenadas de resistencia, porque las trayectorias del drenaje a través del espécimen de ensayo son cortas, por lo que permiten disipar la presión excesiva de poros más rápidamente que con otros ensayos de esfuerzos drenados. El ensayo puede hacerse en todos los materiales de suelos no alterados, remoldeados o compactados.
- Los resultados del ensayo son aplicables para la evaluación de la resistencia en una situación de campo, donde la consolidación completa ha ocurrido bajo las tensiones normales existentes. La falla es alcanzada lentamente bajo condiciones drenadas para que las presiones excesivas de poros sean disipadas. Pueden emplearse los resultados

de varias pruebas para expresar la relación entre el esfuerzo de consolidación y la resistencia de corte drenada.

- Durante la prueba de corte directo, existe rotación de esfuerzos principales que pueden o no modelar las condiciones de campo. Es más, la falla podría no generarse en el plano débil, debido a que ésta es forzada a ocurrir en o cerca de un plano horizontal en la mitad del espécimen. La localización fija del plano en el ensayo puede ser una ventaja en la determinación de la resistencia de corte a lo largo de planos débiles reconocibles dentro del material de suelo y para interfaces de ensayos entre materiales no similares.
- Los esfuerzos de corte y desplazamientos son distribuidos de una manera no uniforme dentro del espécimen y una altura apropiada no es definida para los cálculos de deformaciones de corte u otros valores de ingeniería asociados. La velocidad lenta de desplazamiento, provee una disipación de las presiones de poro excesivas, pero también permite el flujo plástico de suelos cohesivos suaves. Debe tenerse el cuidado de asegurar que las condiciones del ensayo representen aquellas que se están investigando.
- El rango en los esfuerzos normales, velocidad de corte y condiciones generales del ensayo, deben ser seleccionadas para aproximarse a las condiciones específicas del suelo en estudio.

### **15.7 Material y equipo:**

- *Muestra de suelo:*  
Alterada o inalterada
- *Aparato de corte:*  
Aparato para sostener el espécimen firmemente entre dos placas porosas de manera que un torque no sea aplicado al espécimen. El aparato debe ser capaz de aplicar una fuerza de corte al espécimen a lo largo de un plano de corte predeterminado (corte simple) paralelo a sus caras, así como también aplicar una fuerza de corte al espécimen en agua (ver figura 15.1).

Las partes que conforman el aparato de corte deberán ser de materiales no corrosivos por la humedad (acero inoxidable, bronce, aluminio, etc.) o por sustancias del suelo.

Notas:

- El aparato de corte proporcionará un medio para la aplicación de un esfuerzo normal a las caras del espécimen, medir los cambios en su espesor, permitir el drenaje de agua a través de las placas porosas a los límites superior e inferior del espécimen y para sumergir éste en agua.
- Los marcos del aparato de corte que sostienen el espécimen, deberán ser lo suficientemente rígidos como para prevenir su distorsión durante el proceso de corte.



**Figura 15.1** Aparato para la realización del ensayo de corte directo.

- *Caja de corte:*

Una caja de corte, ya sea circular o cuadrada, de acero inoxidable, bronce o aluminio; que permita el drenaje a través de la parte superior e inferior. La caja deberá estar verticalmente dividida por un plano horizontal en dos mitades de igual espesor que se ajustarán con tornillos de alineación (tornillos pasantes) o con tornillos separadores que controlarán el espacio entre las mitades superior e inferior de la caja de corte (ver figura 15.2).



**Figura 15.2** Caja de corte de forma circular y placas ranuradas para el ensayo de corte directo.

- *Placas porosas:*

Capaces de permitir el drenaje del espécimen de suelo a través de sus caras superior e inferior, así como de transferir los esfuerzos de corte horizontales desde las placas hasta los límites superior e inferior del espécimen. Las placas porosas deberán ser fabricadas de materiales como: carburo de silicón, óxido de aluminio o de metales que no sean sujetos a la corrosión, debida ya sea a la humedad o sustancias del suelo.

El diámetro o ancho de las placas porosas deberá ser de 0.2 a 0.5 mm (0.01 a 0.02 pulg) menor que el diámetro o ancho interno del anillo. (ver figura 15.3)

Notas:

- La permeabilidad de las placas deberá ser substancialmente mayor que la del suelo, pero deberán tener una textura lo suficientemente fina como para prevenir la intrusión excesiva de suelo en los poros de las mismas.
- Es importante que la permeabilidad de las placas porosas no sea reducida por la acumulación de partículas de suelo en los poros de éstas, por ello; se debe realizar un chequeo y una limpieza de forma frecuente (ya sea por medio de soplado, ebullición o por limpieza ultrasónica), lo cual se exige con el fin de asegurar la permeabilidad necesaria.
- Si la función de las placas porosas es la de transferir el esfuerzo horizontal al suelo, éstas deberán ser lo suficientemente rugosas para desarrollar una adherencia por fricción, dicha rugosidad se puede conseguir con una pequeña capa de arena o un maquinado de las placas, sin embargo, la superficie de las mismas no deberá ser tan irregular como para causar una concentración de esfuerzos en el suelo.





**Figura 15.3** Placas porosas para permitir el drenaje del espécimen en el ensayo de corte.

- *Dispositivo para aplicación y medida de la fuerza normal:*

La fuerza normal será aplicada por un marco de carga, el cual se activará por masas muertas o por un dispositivo neumático de carga. Este deberá ser capaz de mantener rápidamente la fuerza normal dentro de  $\pm 1\%$  de la fuerza especificada, sin excederla.

- *Dispositivo de corte del espécimen:*

Capaz de cortar el espécimen con una velocidad uniforme de desplazamiento y con un porcentaje de desviación menor a  $\pm 5\%$ . Debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento de 0.0001 a 0.04 pul/min (0.0025 a 1.0 mm/min); aun cuando la velocidad a ser aplicada dependerá de las características de consolidación del suelo.

Notas:

- La velocidad del dispositivo de corte es normalmente mantenida con un motor eléctrico y la fuerza de corte es determinada por dispositivos indicadores de carga tales como una celda o anillo de carga.
- El cortar los especímenes del ensayo a una velocidad mayor que la especificada, hace que se puedan producir resultados de corte parcialmente drenados que diferirán de la resistencia drenada del material.

- *Dispositivo de medida de la fuerza de corte:*

Un anillo o celda de carga con precisión de 0.5 lbf (2.5N) o 1% de la fuerza de corte a la falla (el que sea mayor).

- *Carro deslizante de la caja de corte:*

Una caja metálica que soporte la caja de corte y proporcione ya sea una reacción contra la cual una mitad de la caja de corte sea restringida o una base sólida que

proporcione el alineamiento de una mitad de la caja de corte la cual este en libertad de un movimiento coincidente con la fuerza de corte aplicada en un plano horizontal.

- *Cuarto con alta humedad controlada:*

Para la preparación del espécimen, con el objetivo de minimizar la ganancia o pérdida del contenido de agua durante su preparación.

- *Anillo cortante:*

Para recortar muestras de sobretamaño a las dimensiones interiores de la caja de corte con la mínima alteración posible. Una placa exterior puede ser requerida para mantener el alineamiento de la caja de corte (figura 15.4).



**Figura 15.4** Anillo cortante para el labrado del espécimen en el ensayo de corte.

- *Balanzas:*

Su precisión variará dependiendo de la cantidad de la muestra a ensayar, según lo indicado en la tabla 15.1:

**Tabla 15.1** Precisión de balanzas, de acuerdo al tamaño de muestra a ensayar.

<b>Cantidad de muestra a ensayar (g)</b>	<b>Precisión de balanza (g)</b>
< 200	0.01
200 - 2000	0.1
>2000	1

Fuente: Norma ASTM D 4753, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

- *Indicador de deformación:*  
Capaz de medir el cambio en el espesor del espécimen con una sensibilidad de al menos 0.0025 mm (0.0001 pulg) y una medida del desplazamiento horizontal con sensibilidad de al menos 0.025 mm (0.001 pulg).
- *Aparatos para la determinación del contenido de agua.*
- *Equipo para el remoldeo y compactación de especímenes (si fuese necesario).*
- *Equipo misceláneo:*  
Cronómetro, agua destilada o desmineralizada, espátula, cuchillos, regla enrasadora, sierras, vernier, etc.

## **15.8 Consideraciones generales para el espécimen de ensayo**

- 15.8.1 La muestra usada para la preparación del espécimen debe ser lo suficientemente grande para que un mínimo de tres especímenes similares de ensayo puedan ser preparados, a una temperatura controlada y en un ambiente húmedo para minimizar la pérdida o ganancia de humedad.
- 15.8.2 El diámetro mínimo para los especímenes circulares o ancho para los especímenes cuadrados será de 50 mm (2.0 pulg) o no menor de 10 veces el tamaño máximo del diámetro de la partícula (el que sea mayor), conforme a una relación mínima ancho-espesor o diámetro-espesor de 2:1.
- 15.8.3 El espesor mínimo inicial del espécimen será de 12 mm (0.5 pul), pero no menor de seis veces el diámetro máximo de la partícula.

Nota: Si se observan partículas grandes en el suelo después del ensayo, debe realizarse un análisis granulométrico de acuerdo con la norma ASTM D 422, para confirmar tales indicaciones y el resultado debe registrarse en el informe.

## **15.9 Procedimiento**

### ***15.9.1 Preparación del espécimen***

Dependiendo del tipo de muestra con el cual se realizará el ensayo proceda como se describe en 15.9.1.1 (muestras inalteradas) o 15.9.1.2 (especímenes compactados).

*15.9.1.1 Muestras Inalteradas( calicatas u obtenidas en tubos de pared delgada) :*

1. Tome las dimensiones de ancho y altura del anillo cortante y registre.
2. Coloque la muestra obtenida de campo (muestra en bloque o en tubo de pared delgada), sobre una superficie horizontal y posteriormente tome una porción de ésta, teniendo precaución de que sus dimensiones excedan en 2 ó 3 cm las dimensiones del anillo cortante.
3. Alise una de las bases de la porción de suelo tomada de la muestra e introduzca el anillo en dicha porción, haciéndolo que rebasa una parte de la muestra y al mismo tiempo talle sus superficies laterales, manteniéndola horizontal.

Notas:

- Maneje las muestras cuidadosamente para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida en el contenido de humedad.
  - En el caso de muestras extraídas con tubo de pared delgada, si hay lugar a compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria, parta longitudinalmente el tubo de muestreo o córtelo en pequeñas secciones para facilitar la remoción del espécimen con un mínimo de alteración.
4. Corte el material que rebasa en ambos extremos del anillo, utilizando sierras o cuchillos afilados y luego engrase ambas caras del espécimen.



**Figura 15.5** Corte del material que rebasa en uno de los extremos del anillo cortante.

Nota: En el caso de ser necesario, rellene con material sobrante posibles oquedades producidas durante el tallado, evitando realizar un suavizado final en ambas caras.

5. Tome una muestra del material sobrante del tallado del espécimen y determine el contenido de humedad, siguiendo el procedimiento indicado en el método expuesto en el ensayo N° 1 (ASTM D 2216).
6. Arme y asegure la caja de corte, empleando los tornillos alineadores o pasantes y los tornillos separadores (en algunos equipos habrá que colocar la placa base en el fondo de ésta).
7. Sitúe en los extremos del espécimen de ensayo las placas porosas húmedas y luego proceda a colocar éste sobre la caja de corte, manteniéndolo alineado y con los bordes cortantes del anillo hacia arriba.
8. Empuje posteriormente el espécimen, introduciéndolo en la caja de corte hasta que descansa sobre el fondo de ésta, como se observa en la figura 15.6.



**Figura 15.6** Colocación del espécimen a ensayar en la caja de corte.

9. Determine la masa de la caja de corte conteniendo el espécimen húmedo y las placas porosas. Registre en la hoja de datos.
10. Proceda como se describe en el apartado 15.9.2

#### *15.9.1.2 Especímenes Compactados:*

1. Seque al aire el material recibido de campo o en un horno a una temperatura no excedente de 60 °C.

- Desmenuce completamente los grumos y prepare el material para compactar mezclando completamente el suelo con suficiente agua para producir el contenido de humedad deseado.

Nota: Los especímenes serán preparados utilizando el método de compactación, el contenido de agua y el peso unitario prescrito por el cliente que solicite el ensayo.

- Deje reposar el material antes de la compactación de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 15.2 Tiempo mínimo requerido para el reposo la muestra a compactar.**

<b>Clasificación D 2487</b>	<b>Tiempo mínimo de reposo, h</b>
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

Fuente: Norma ASTM D3080-98, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials)

- Arme y asegure la caja de corte, empleando los tornillos alineadores o pasantes y los tornillos separadores (en algunos equipos habrá que colocar la placa base en el fondo de ésta), luego coloque una placa porosa húmeda.

Nota: Puede utilizarse un ligero recubrimiento de grasa aplicado al perímetro interior de la caja de corte, con el fin de reducir la fricción entre ésta y el espécimen durante la compactación (en algunos aparatos la mitad superior de la caja de corte necesita alguna fricción que la sostenga después de que sean separadas las dos mitades) así también, puede emplearse grasa entre las mitades de la caja, para reducir la fricción entre ellas durante el ensayo.

- Determine la masa de suelo húmedo para una capa individual a compactar y colóquela en la caja de corte.
- Apisona la capa de suelo con el compactador, continúe colocando y apisonando más suelo en la caja de corte, hasta que todo el espécimen esté compactado y se obtenga el peso unitario deseado. Escarifique la parte superior de cada capa antes de la adición del material para la próxima capa.

Notas:

- El compactador utilizado para densificar el material debe tener un área de contacto con el suelo igual o menor al 50% del área del molde.
  - Los especímenes pueden ser moldeados por amasado o compactando cada capa, ya sea ajustando el número de capas, número de golpes por capa y la fuerza por golpe; hasta que la masa acumulada de suelo colocada en la caja de corte compactada reproduzca un volumen conocido.
  - Los especímenes compactados también pueden ser preparados mediante la compactación de suelos usando los procedimientos y el equipo utilizados para determinar las relaciones de humedad-densidad de los suelos (Normas D698 y D1557) y recortando el espécimen para el ensayo de corte directo de la muestra, como si se tratara de una muestra inalterada.
  - El espesor requerido de la altura a compactar puede ser determinado directamente, midiendo el espesor de la altura o de las marcas dejadas en la varilla de compactación, que corresponden al espesor de cada capa que se está colocando.
  - Deberá tenerse el cuidado de que los límites entre las capas compactadas no coincidan con el plano de corte definido por las mitades de la caja de corte, a menos que éste sea el propósito establecido para un ensayo en particular.
7. Determine la masa del conjunto (caja de corte, placa porosa y espécimen) y registre en la hoja de datos.
  8. Determine el espesor del espécimen, midiendo la altura desde el borde superior de la caja de corte hasta la superficie del espécimen compactado en el medio de cada lado (caja de sección cuadrada) o alrededor de su perímetro (caja de sección circular).
  9. Tome una cantidad del material sobrante de la compactación y determine su contenido de humedad.
  10. Coloque una placa porosa húmeda en la superficie del espécimen y proceda como se describe en el apartado 15.9.2.

### 15.9.2 Montaje y realización del ensayo de corte directo

1. Coloque la caja de corte perfectamente ensamblada con el espécimen (inalterado o compactado) en el carro deslizable.



**Figura 15.7** Colocación de la caja de corte en el carro deslizable.

2. Coloque y ajuste el sistema de la fuerza de corte de manera que no transmita fuerza sobre el instrumento de medición de carga.
3. Fije adecuadamente el indicador de medida de la fuerza de corte y haga una lectura inicial o colóquelo en cero.
4. Coloque la placa de transferencia de carga en la parte superior del espécimen en la caja de corte, verificando que quede perfectamente centrada.
5. Sitúe el marco de carga normal, haciéndolo descansar sobre la placa de transferencia y ajústelo de forma que la barra de carga quede horizontal.

Notas:

- Si se utiliza un sistema de carga por palancas, nivele la palanca. Si es empleado un sistema de carga neumático ajuste el marco, hasta que asiente suavemente en la placa de transferencia de carga, o coloque una esfera metálica sobre la placa de transferencia y ajuste el marco hasta que haga un suave contacto.
  - Verifique que durante la colocación del marco de carga normal, la placa de transferencia de carga no se haya desplazado, de lo contrario céntrela nuevamente.
6. Coloque una pequeña carga normal y verifique nuevamente que todos los componentes del sistema de carga estén ajustados y alineados de tal manera que no



quede restringido el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de corte.

Nota : La carga normal aplicada al espécimen debe ser aproximadamente 1 lbf/pulg (7 kPa).

7. Registre en la hoja de datos la carga vertical aplicada y la fuerza de corte (si se indica alguna lectura) en el espécimen.

8. Coloque y ajuste los indicadores de medición de desplazamiento lateral y vertical. Posteriormente obtenga las lecturas iniciales o coloque en cero dichos indicadores.

Nota: Si se requiere, llene la caja de corte con agua y manténgala llena durante la ejecución del ensayo.

9. Calcule y registre la carga normal requerida para obtener el esfuerzo normal deseado así como los incrementos subsiguientes.

Notas:

- La carga normal así como los incrementos subsiguientes utilizados para un espécimen dependerán de los datos requeridos. La aplicación de una carga normal en un solo incremento puede ser apropiada para suelos relativamente firmes.
- Para suelos relativamente blandos, puede ser necesaria la aplicación de la carga normal en varios incrementos para prevenir el daño al espécimen.

10. Determine el tiempo mínimo requerido para el ensayo (desde el principio del ensayo hasta la falla), utilizando la siguiente ecuación:

$$t_f = 50t_{50} \quad \text{Ec. 15.1}$$

Donde:

$t_f$  = tiempo total estimado hasta la falla, en minutos.

$t_{50}$  = tiempo requerido para que el espécimen alcance el 50% de la consolidación bajo el esfuerzo normal especificado (o los incrementos subsiguientes), en minutos.

Nota: Si se tiene una gráfica de desplazamiento normal vrs  $\sqrt{t}$ ; puede calcularse el  $t_{50}$  a partir del tiempo del 90% de la consolidación, utilizando la siguiente expresión:

$$t_{50} = \frac{t_{90}}{4.28} \quad \text{Ec. 15.2}$$

Donde:

$t_{90}$  = tiempo requerido para que el espécimen alcance el 90% de la consolidación bajo el esfuerzo normal especificado (o los incrementos subsiguientes), en minutos.

4.28 = Constante que relaciona el desplazamiento y los factores de tiempo para alcanzar el 50 y 90% de la consolidación.

Notas:

- Si el material presenta una tendencia a expandirse, el suelo debe ser saturado con agua y dejar que alcance el equilibrio bajo un incremento de esfuerzo normal suficientemente grande, como para contrarrestar la tendencia a la expansión antes de que pueda determinarse el tiempo mínimo para la ruptura. La curva tiempo consolidación más los incrementos subsiguientes de esfuerzos normales pueden utilizarse en la determinación de  $t_r$ .
- Algunos suelos como las arenas densas y arcillas sobreconsolidadas pueden no presentar curvas bien definidas de tiempo-asentamiento. Consecuentemente el cálculo de  $t_r$  puede producir una estimación inapropiada del tiempo requerido para que el espécimen falle en condiciones drenadas.
- Para arcillas sobreconsolidadas que se analizan bajo cargas normales menores que la presión de pre-consolidación, se sugiere que el tiempo hasta la falla se estime utilizando un valor de  $t_{50}$  o equivalente al que se obtendría del comportamiento tiempo-asentamiento en un proceso de consolidación normal.
- Para arenas densas limpias que drenan rápidamente, puede usarse un tiempo  $t_r$  de 10 minutos. Para arenas densas con más de 5% de finos, puede utilizarse un  $t_r$  igual a 60 minutos. Si se selecciona un valor alternativo de  $t_r$  debe explicarse el criterio de selección en los resultados del ensayo.

11. Determine la velocidad apropiada del desplazamiento horizontal apropiada del espécimen durante el ensayo, a partir de la siguiente ecuación:

$$d_r = \frac{d_f}{t_f} \quad \text{Ec. 15.3}$$

Donde:

$d_r$  = Velocidad de desplazamiento ( pulg/min, mm/min)

$d_f$  = Desplazamiento horizontal estimado en el momento de la falla, en mm o pulg.

$t_f$  = tiempo total estimado hasta la falla, en minutos (calculado en el paso 10).

Nota: La magnitud del desplazamiento estimado hasta la falla, depende de muchos factores incluyendo el tipo y la historia de esfuerzos en el suelo. Como guía utilice  $d_f = 12$  mm (0.5 pulg) si es suelo fino granular normalmente o ligeramente sobreconsolidado; de lo contrario utilice

$d_r = 5 \text{ mm}$ .

12. Fije la velocidad de desplazamiento calculada en el paso anterior en la máquina de ensayo y remueva los tornillos de alineación (pasantes) de la caja de corte, luego de que se haya producido la consolidación primaria.

Nota: Para algunos tipos de máquinas la velocidad de desplazamiento se logra utilizando combinaciones de piñones y posiciones de palancas, en otros tipos; la velocidad se consigue ajustando la velocidad del motor.

13. Abra un espaciamiento entre las mitades de la caja de corte de aproximadamente 0.64 mm (0.025 pulg), utilizando los tornillos separadores y luego retírelos.

Nota : Puede haber ocasiones en las que las separaciones entre las mitades de la caja de corte deben aumentarse para acomodar tamaños de arena mayores que la separación especificada. Actualmente no hay información suficientemente disponible para especificaciones del tamaño de la separación basado en una distribución del tamaño de partículas.

14. Registre el tiempo inicial, las lecturas de los desplazamientos vertical, horizontal y las lecturas de fuerzas normal y de corte.



**Figura 15.8** Lectura del deformímetro vertical durante la realización del ensayo

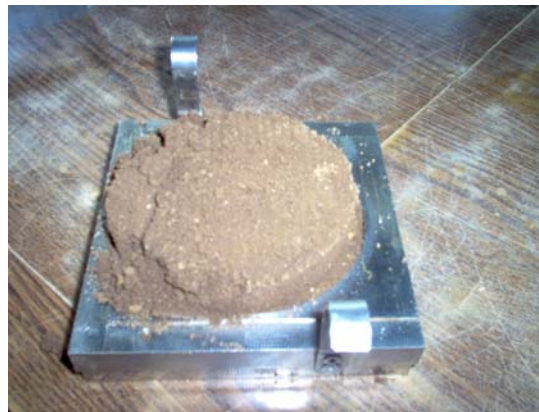
15. Aplique el esfuerzo normal deseado colocando las masas apropiadas en el extremo de la palanca o incrementando la presión neumática.

Nota: Para todos los incrementos de carga verifique que la consolidación primaria ha tenido lugar completamente antes de continuar (ver Norma ASTM D2435).

16. Ponga en marcha el motor con la velocidad seleccionada, eche a andar el cronómetro e inicie el corte.
17. Tome la lectura de los datos de tiempo, desplazamiento vertical, horizontal y la fuerza de corte a intervalos definidos de desplazamiento.

Notas:

- Las lecturas de datos deben tomarse a intervalos de desplazamientos iguales al 2% del diámetro del espécimen, o de su anchura; para definir con precisión una curva de esfuerzo-desplazamiento.
  - Puede ser útil el hacer lecturas adicionales para identificar el valor del esfuerzo de corte máximo de materiales sobreconsolidados.
  - El desplazamiento horizontal correspondiente a la condición de falla, puede encontrarse entre el 10 y el 20% del diámetro o longitud del espécimen.
  - Puede ser necesario suspender el ensayo y separar nuevamente las mitades de la caja de corte para mantener el espacio entre las mismas.
18. Detenga el aparato una vez ocurra la falla de la muestra y retire las masas colocadas durante la aplicación de la fuerza normal al espécimen.
  19. Desmonte el marco de carga normal y retire la caja de corte del carro deslizante. Posteriormente separe las mitades de la caja de corte, sin dejar las mitades de ésta, perpendicularmente a la superficie de falla ya que esto puede dañar el espécimen.  
Nota: En el caso de suelos cohesivos, la separación de las mitades de la caja de corte, se harán con un movimiento deslizante a lo largo del plano de falla.
  20. Fotografíe, dibuje o describa por escrito la superficie de falla observada en el espécimen.



**Figura 15.9** Superficie de falla del espécimen sometido al ensayo de corte.

Nota: En los especímenes de suelos no cohesivos, esto no es aplicable.

21. Retire el espécimen de la caja de corte y determine el contenido de humedad de acuerdo con el método de ensayo expuesto en la Norma ASTM D 2216.

### 15.10 Cálculos

- 15.10.1 Calcule el área del espécimen de ensayo, utilizando una de las siguientes ecuaciones:

$$A_e = \pi \times \frac{(d_e)^2}{4}, (\text{para especímenes de sección circular}) \quad \text{Ec. 15.4}$$

$$A_e = 4 \times B, (\text{para especímenes de sección cuadrada}) \quad \text{Ec. 15.5}$$

Donde:

$A_e$  = Área del espécimen de ensayo, mm<sup>2</sup> (pulg<sup>2</sup>)

$d_e$  = diámetro del espécimen, mm (pulg)

$B$  = ancho del espécimen, mm (pulg)

- 15.10.2 Calcule las fuerzas de corte que actúan sobre el espécimen, utilizando la siguiente ecuación:

$$F = K_a \times \text{lecturas del dispositivo de la fuerza de corte} \quad \text{Ec. 15.7}$$

Donde:

$F$  = Fuerza de corte, Kg

$K_a$  = constante del anillo de fuerza de corte

- 15.10.3 Determine el esfuerzo de corte nominal que actúa sobre el espécimen como sigue:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 15.9}$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo de corte nominal, kPa o lbf/pulg<sup>2</sup>

$F$  = Fuerza de corte, N o lbf

$A$  = Área inicial del espécimen, mm o pulg<sup>2</sup>

15.10.4 Determine el esfuerzo normal actuante sobre el espécimen como sigue:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad \text{Ec. 15.6}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal, Kpa o lbf/pulg<sup>2</sup>

N = Fuerza vertical normal sobre el espécimen, N o lbf

$A_e$  = Área inicial del espécimen, mm o pulg<sup>2</sup>

15.10.5 Calcule la velocidad real de desplazamiento, dividiendo el desplazamiento lateral relativo entre el tiempo transcurrido durante el ensayo o registre la velocidad utilizada durante el ensayo.

$$d_r = \frac{d_l}{t_e} \quad \text{Ec. 15.10}$$

Donde:

$d_r$  = Velocidad de desplazamiento, mm/min o pulg/min

$d_l$  = desplazamiento lateral relativo, mm o pulg

$t_e$  = Tiempo transcurrido durante el ensayo, min

15.10.6 Calcule el desplazamiento normal, utilizando la siguiente ecuación:

$$d_n = K_a \times \text{lecturas de deformación normal} \quad \text{Ec. 15.11}$$

Donde:

$d_n$  = Desplazamiento normal, mm

$K_a$  = constante del anillo de desplazamiento normal.

15.10.7 Grafique el desplazamiento normal contra el logaritmo del tiempo o contra la raíz cuadrada del tiempo (en minutos).

15.10.8 Grafique el esfuerzo de corte nominal versus desplazamiento lateral relativo.

15.10.9 Calcule la relación de vacíos inicial, el contenido de humedad, el peso unitario seco y el grado de saturación basado en la gravedad específica y la masa total del espécimen. El volumen del espécimen es determinado por la medición de las dimensiones de la caja de corte y el espesor del espécimen.

### 15.11 Ejemplo

Datos de probeta No. 1:

Diámetro del espécimen = 9.975 mm

Carga normal aplicada = 147.09 N

Humedad del espécimen = 33.7 %

Masa seca del espécimen = 363.53 g

Nota: Se muestra un ejemplo de cálculo, los restantes se presentan en la hoja de registro correspondiente a este ensayo.

- 15.11.1 Cálculo del área del espécimen de ensayo, utilizando la ecuación 15.4, debido a que la sección de la caja de corte es circular:

*Diámetro del espécimen = 9.975 mm*

$$A_e = \pi \times \frac{(9.975)^2}{4}$$

$$A_e = 78.15 \text{ cm}^2$$

- 15.11.2 Determinación del esfuerzo normal actuante sobre el espécimen según la ecuación 15.6:

$$\sigma = \frac{147.09}{78.15}$$

$$\sigma = 18.82 \text{ kPa}$$

- 15.11.3 Cálculo de las fuerzas de corte que actúan sobre el espécimen, utilizando la ecuación 15.7:

$$F = 2 \times 35$$

$$F = 70 \text{ N}$$

- 15.11.4 Cálculo del desplazamiento lateral relativo, utilizando la ecuación 15.8:

$$d_l = 0.01 \times 55$$

$$d_l = 0.55 \text{ mm}$$

- 15.11.5 Determinación del esfuerzo de corte nominal que actúa sobre el espécimen utilizando la ecuación 15.9:

$$\tau = \frac{70}{78.15} * 10$$

$$\tau = 8.96 \text{ kPa}$$

- 15.11.6 Cálculo de la velocidad real de desplazamiento, dividiendo el desplazamiento lateral relativo entre el tiempo transcurrido durante el ensayo o registre la velocidad utilizada durante el ensayo.

$$d_r = \frac{7.6}{5.01}$$

$$d_r = 1.52 \text{ mm/min}$$

- 15.11.7 Cálculo del desplazamiento normal, utilizando la ecuación 15.11:

$$d_n = 0.01 \times 0.5 = 0.005 \text{ mm}$$

- 15.11.8 Determinación de la Ley de Resistencia al Corte de la gráfica Esfuerzo cortante vrs Esfuerzo normal (ver formato):

$$C = 9.89 \text{ kPa}$$

$$\phi = 45.8^\circ$$

$$\tau = 9.89 + \sigma \tan 45.8^\circ$$

#### 15.12 Cuestionario:

- ❖ Defina el término desplazamiento lateral relativo según la norma ASTM D 653-02.
- ❖ Mencione uno de los alcances expuestos por el método de ensayo de resistencia al corte según la norma ASTM D 3080-98.
- ❖ Mencione el nombre de tres dispositivos que son utilizados durante la realización del ensayo de resistencia al corte según la norma ASTM D3080-98.
- ❖ Escriba la ecuación que se utiliza para la determinación del esfuerzo de corte nominal que actúa sobre el espécimen y defina cada uno de sus términos.
- ❖ Mencione una de las aplicaciones del método de ensayo de resistencia al corte según la Norma ASTM D 3080-98.

#### 15.13 Contenido del reporte:

- ❖ Identificación de la muestra, proyecto y localización.
- ❖ Descripción del tipo de aparato de corte utilizado en el ensayo.



- ❖ Descripción de la apariencia del espécimen basado en la norma D 2488 (Puede utilizarse la norma D 2487 como una alternativa), los límites de Atterberg (norma D 4318) y los datos granulométricos (norma D 422) si se obtuvieron.
- ❖ Descripción de la estructura del suelo: inalterado, remoldeado, compactado o preparado de otra manera.
- ❖ Contenidos de agua inicial y final.
- ❖ Masa seca inicial y final.
- ❖ Peso unitario seco inicial y final.
- ❖ El espesor y el diámetro inicial (ancho para las cajas de corte cuadradas).
- ❖ El esfuerzo normal, la velocidad de deformación, el desplazamiento de corte y los correspondientes valores de esfuerzo de corte nominal y los cambios en el espesor de cada espécimen.
- ❖ Un gráfico de logaritmo de tiempo o de la raíz cuadrada del tiempo vrs la deformación para los incrementos de carga en los que se determino  $t_{50}$ .
- ❖ Un gráfico del esfuerzo de corte nominal vrs el porcentaje relativo del desplazamiento lateral.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**MÉTODO DE ENSAYO PARA CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO  
 CONDICIONES DRENADAS Y CONSOLIDADAS  
 (BASADA EN ASTM D 3080-98)**

**Datos generales de la muestra**

Proyecto	: <u>Edificio de laboratorio</u>	Fecha de ensayo	: <u>24/04/2006</u>
Localización	: <u>UCA</u>	Estructura del suelo	: <u>Inalterada</u>
Tipo de aparato de corte	: <u>caja redonda</u>	No de probeta	: <u>1</u>

**Datos del ensayo**

Diametro de probeta	: <u>9.975 cm</u>	Masa seca	: <u>363.53 g</u>
Espesor de probeta	: <u>3.02 cm</u>	Velocidad de carga	: <u>1.00 mm/min</u>
Area de probeta	: <u>78.15 cm<sup>2</sup></u>	Veloc. real de desplaz.	: <u>1.52 mm/min</u>
Humedad inicial	: <u>33.7 %</u>	Peso unitario seco inicial	: <u>1.540 g/cm<sup>3</sup></u>
Humedad final	: <u>33.7 %</u>	Carga normal	: <u>147.09 N</u>
K anillo de carga	: <u>2.00 N/u</u>	Esfuerzo normal	: <u>18.82 kPa</u>
K deformímetro horizontal	: <u>0.01 mm/u</u>	Gravedad específica	: <u>2.7</u>
K deformímetro vertical	: <u>0.01 mm/u</u>		

√tiempo, min	Carga, u	Lectura de Def. Horizontal, u	Lectura de Def. Vertical, u	Desplaz. lateral, mm	Desplaz. vertical, mm	Fuerza de corte horizontal, N	Esfuerzo cortante, kPa
0.00	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.71	35	55	0.5	0.55	0.01	70.00	8.96
1.00	69	122	1.0	1.22	0.01	138.00	17.66
1.22	92	206	1.5	2.06	0.02	184.00	23.55
1.41	105	281	2.5	2.81	0.03	210.00	26.87
1.58	114	349	2.5	3.49	0.03	228.00	29.18
1.73	121	415	2.0	4.15	0.02	242.00	30.97
1.87	124	490	2.0	4.90	0.02	248.00	31.73
2.00	125	570	2.0	5.70	0.02	250.00	31.99
2.12	120	665	2.0	6.65	0.02	240.00	30.71
2.24	116	760	2.0	7.60	0.02	232.00	29.69

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**MÉTODO DE ENSAYO PARA CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO  
 CONDICIONES DRENADAS Y CONSOLIDADAS  
 (BASADA EN ASTM D 3080-98)**

**Datos generales de la muestra**

Proyecto	: Edificio de laboratorio	Fecha de ensayo	: 24/04/2006
Localización	: UCA	Estructura del suelo	: Inalterada
Tipo de aparato de corte	: caja redonda	No de probeta	: 2

**Datos del ensayo**

Diametro de probeta	: 9.975 cm	Masa seca	: 348.44 g
Espesor de probeta	: 3.02 cm	Velocidad de carga	: 1.00 mm/min
Area de probeta	: 78.15 cm <sup>2</sup>	Veloc. real de desplaz.	: 1.70 mm/min
Humedad inicial	: 33.51 %	Peso unitario seco inicial	: 1.476 g/cm <sup>3</sup>
Humedad final	: 33.51 %	Carga normal	: 343.23 N
K anillo de carga	: 2.00 N/u	Esfuerzo normal	: 43.92 kPa
K deformímetro horizontal	: 0.01 mm/u	Gravedad específica	: 2.7
K deformímetro vertical	: 0.01 mm/u		

Tiempo, min	Carga, u	Lectura de Def. Horizontal, u	Lectura de Def. Vertical, u	Desplaz. lateral, mm	Desplaz. vertical, mm	Fuerza de corte horizontal, N	Esfuerzo cortante, kPa
0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00
0.71	87	78	0.50	0.78	0.01	174	22.27
1.00	117	150	0.50	1.50	0.01	234	29.94
1.22	149	231	1.00	2.31	0.01	298	38.13
1.41	175	310	1.50	3.10	0.02	350	44.79
1.58	188	390	2.00	3.90	0.02	376	48.11
1.73	202	475	1.50	4.75	0.02	404	51.70
1.87	210	563	2.50	5.63	0.03	420	53.74
2.00	215	645	2.50	6.45	0.03	430	55.02
2.12	218	740	2.50	7.40	0.03	436	55.79
2.24	215	838	2.50	8.38	0.03	430	55.02
2.35	210	928	2.50	9.28	0.03	420	53.74
2.45	210	1020	2.50	10.20	0.03	420	53.74

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**MÉTODO DE ENSAYO PARA CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO  
 CONDICIONES DRENADAS Y CONSOLIDADAS  
 (BASADA EN ASTM D 3080-98)**

**Datos generales de la muestra**

Proyecto	: Edificio de laboratorio	Fecha de ensayo	: 24/04/2006
Localización	: UCA	Estructura del suelo	: Inalterada
Tipo de aparato de corte	: Caja redonda	No de probeta	: 3

**Datos del ensayo**

Diametro de probeta	: 9.975 cm	Masa seca	: 341.23 g
Espesor de probeta	: 3.02 cm	Velocidad de carga	: 1.00 mm/min
Area de probeta	: 78.15 cm <sup>2</sup>	Veloc. real de desplaz.	: 1.57 mm/min
Humedad inicial	: 34.57 %	Peso unitario seco inicial	: 1.446 g/cm <sup>3</sup>
Humedad final	: 34.57 %	Carga normal	: 441.29 N
K anillo de carga	: 2.00 N/u	Esfuerzo normal	: 56.47 kPa
K deformímetro horizontal	: 0.01 mm/u	Gravedad específica	: 2.7
K deformímetro vertical	: 0.01 mm/u		

√Tiempo, min	Carga, u	Lectura de Def. Horizontal, u	Lectura de Def. Vertical, u	Desplaz. lateral, mm	Desplaz. vertical, mm	Fuerza de corte, N	Esfuerzo cortante, kPa
0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00
0.71	83	65	0.50	0.65	0.01	166	21.24
1.00	120	128	1.00	1.28	0.01	240	30.71
1.22	148	185	1.00	1.85	0.01	296	37.88
1.41	170	254	1.50	2.54	0.02	340	43.51
1.58	191	326	2.00	3.26	0.02	382	48.88
1.73	201	385	2.50	3.85	0.03	402	51.44
1.87	214	453	3.00	4.53	0.03	428	54.77
2.00	228	528	3.50	5.28	0.04	456	58.35
2.12	242	603	3.50	6.03	0.04	484	61.93
2.24	253	700	3.00	7.00	0.03	506	64.75
2.35	263	798	3.00	7.98	0.03	526	67.31
2.45	267	893	3.00	8.93	0.03	534	68.33
2.55	269	1000	3.00	10.00	0.03	538	68.84
2.65	269	1100	3.00	11.00	0.03	538	68.84

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



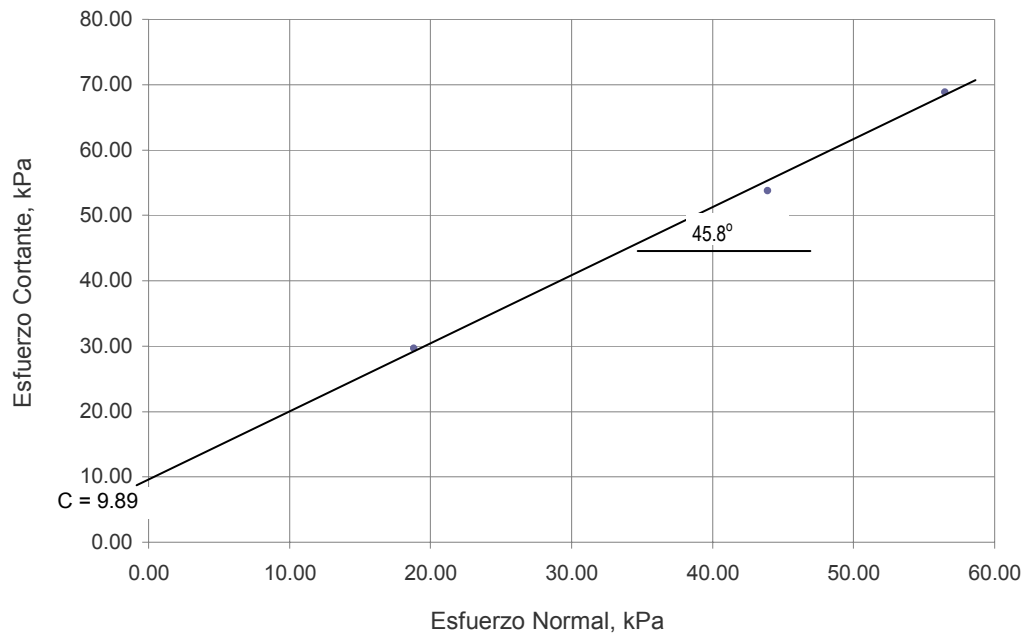
**MÉTODO DE ENSAYO PARA CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO  
 CONDICIONES DRENADAS Y CONSOLIDADAS  
 (BASADA EN ASTM D 3080-98)**

**GRAFICA ESFUERZO CORTANTE vrs ESFUERZO NORMAL**

Proyecto	: <u>Edificio de laboratorio</u>	Fecha de ensayo	: <u>24/04/2006</u>
Localización	: <u>UCA</u>	Estructura del suelo	: <u>Inalterada</u>
Tipo de aparato de corte	: <u>caja redonda</u>		

Esfuerzo Normal, kPa	Esfuerzo Cortante, kPa
18.82	29.69
43.92	53.74
56.47	68.84

**GRAFICA  $\tau$  vrs  $\sigma$**



Ley de resistencia al corte  
 $\tau = (9.89 + \tan 45.8^\circ) \text{ kPa}$

## ENSAYO N° 16

### ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)

#### 16.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para realizar el ensayo de consolidación unidimensional en una muestra de suelo, conforme a la norma ASTM D 2435-96.
- ❖ Determinar el decremento de volumen y la velocidad con que ese decremento se produce en un suelo, utilizando el método de ensayo ASTM D-2435.
- ❖ Determinar los parámetros de la consolidación como son: el coeficiente de consolidación y la presión de preconsolidación.

#### 16.2 Documentos de Referencia:

Normas ASTM

- D 2435 Ensayo de consolidación unidimensional de los suelos.
- D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.
- D 854 Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo a través del picnómetro con agua.
- D 1587 Práctica para muestreo de suelos con tubos de pared delgada.
- D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.
- D 2488 Práctica para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual-manual).
- D 4220 Práctica para la preservación y transporte de muestras de suelo.
- D 4318 Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

#### 16.3 Definiciones:

##### ***Compresibilidad:***

Es la propiedad que posee un suelo o roca para alcanzar su susceptibilidad a decrecer en volumen cuando está sujeto a carga.

***Ensayo de consolidación:***

Es un ensayo en el que un espécimen de suelo es confinado lateralmente por medio de un anillo y es comprimido entre discos porosos.

***Consolidación:***

Es la reducción gradual en volumen de una masa de suelo, producida por incrementos de esfuerzos de compresión.

***Consolidación inicial (compresión inicial):***

Es una relativamente súbita reducción de volumen de una masa de suelo, bajo una aplicación de carga; debida principalmente a la expulsión y compresión del gas en los vacíos del suelo, precediendo a la consolidación primaria.

***Consolidación primaria:***

Es la reducción en volumen de una masa de suelo, causada por la aplicación de una carga mantenida en ella y debida principalmente a una expulsión del agua en los espacios vacíos de la masa, acompañada por una transferencia de la carga desde el agua del suelo a los sólidos del mismo.

***Consolidación secundaria:***

Es la reducción en volumen de una masa de suelo, causada por la aplicación de una carga mantenida en ella y debida principalmente al ajuste de la estructura interna de la misma, luego que la mayor parte de carga que ha sido transferida del agua del suelo a los sólidos del mismo.

***Curva tiempo – consolidación:***

Es una curva que muestra la relación entre el grado de consolidación y el tiempo transcurrido, después de la aplicación de un incremento de carga dado.

***Coefficiente de consolidación ( $C_v$ ):***

Es un coeficiente utilizado en la teoría de consolidación, que contiene las constantes físicas de un suelo, afectando la velocidad de cambio de volumen.

***Presión de preconsolidación ( $p_e$ ):***

Es la mayor presión efectiva a la cual un suelo ha sido sometido.

***Curva presión - relación de vacíos (curva de compresión):***

Es una curva que representa la relación entre la presión efectiva y la relación de vacíos de un suelo, tal como es obtenida de un ensayo de consolidación. La curva tiene una forma característica cuando es trazada en papel semilogarítmico, colocando la presión en la escala logarítmica. Varias partes de la curva, extensiones de éstas han sido indicadas como recompresión, compresión, compresión virgen, expansión y otros nombres descriptivos por varias autoridades.

***Grado de consolidación( Porcentaje de consolidación U):***

Es la relación expresada como porcentaje de 1) La cantidad de consolidación a un tiempo dado dentro de una masa de suelo, 2) La cantidad total de la consolidación obtenible bajo una condición de esfuerzo dado.

**16.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre procedimientos para la determinación de la magnitud y velocidad de consolidación de un suelo, cuando éste es confinado lateralmente y drenado axialmente; mientras es sometido a la aplicación de incrementos de carga de esfuerzos controlados.
- Este método proporciona dos procedimientos alternativos los cuales son: Método A y B. El método A es realizado con incrementos de carga constante durante 24 horas o múltiplos de éste y requiere lecturas de tiempo-deformación en un mínimo de dos incrementos de carga. En el método B, los incrementos de carga son aplicados después de alcanzar el 100% de la consolidación primaria o en incrementos de tiempo constante como en el método A.
- Este método de ensayo es más comúnmente realizado a muestras inalteradas de suelos de grano fino naturalmente sedimentados en agua; sin embargo, también es aplicable a muestras de suelos compactados y muestras de suelos inalterados formados por otros procesos como la erosión ó alteración química, aunque éstas pueden requerir técnicas de evaluación especial.
- Es responsabilidad del solicitante del ensayo especificar la magnitud y secuencia de cada incremento de carga, incluyendo el empleo de un ciclo de descarga, si fuere



necesario y para el método A, definir los incrementos de carga para los que se desean las lecturas de tiempo-deformación.

Nota: Son requeridas lecturas de tiempo-deformación, para determinar el tiempo en el que se completa la consolidación primaria y para la evaluación del coeficiente de consolidación,  $C_v$ . Debido a que  $C_v$ , varía con el nivel de esfuerzos e incrementos de carga (cargando o descargando), éstos últimos con las lecturas fijadas deben seleccionarse con referencia específica al proyecto individual. Alternativamente, el solicitante puede especificar el método B, en donde las lecturas de tiempo-deformación se registrarán en todos los incrementos de carga.

### **16.5 Resumen del método:**

En este método de ensayo un espécimen de suelo de forma circular con dimensiones específicas es colocado en un consolidómetro, donde es restringido lateralmente y cargado axialmente con incrementos de esfuerzo total. Cada incremento de esfuerzo es mantenido hasta que los excesos de presión de agua en los poros sean completamente disipados. Durante el proceso de consolidación, medidas de los cambios en la altura del espécimen son realizados, donde estos valores son utilizados para determinar la relación entre el esfuerzo efectivo y la relación de vacíos o deformación, además de conocer la velocidad en que la consolidación puede ocurrir por la evaluación del coeficiente de consolidación.

### **16.6 Aplicación e importancia del método:**

- Los datos obtenidos del ensayo de consolidación son utilizados para estimar la magnitud y la velocidad diferencial de ambos, así como también conocer el asentamiento total de una estructura o relleno, las cuales son de gran importancia en el diseño de estructuras ingenieriles y en su desempeño.
- Los resultados de este ensayo pueden ser afectados grandemente debido a la alteración de la muestra, por lo que se deberá realizar una selección y preparación cuidadosa de los especímenes a ensayar.
- Los resultados obtenidos del ensayo de consolidación dependen de la magnitud de los incrementos de carga. Normalmente la carga es doblada para cada incremento, produciendo una relación de carga-incremento de 1. En el caso de las muestras inalteradas, esta forma de cargado ha proporcionado datos de los que se estima la presión de preconsolidación (presión máxima en el pasado) usando técnicas de

evaluación establecidas y comparadas directamente con medidas en campo. Sin embargo otros programas de carga pueden ser usados para un modelo en particular de las condiciones de campo o que se encuentre requerimientos especiales.

- Los resultados del ensayo de consolidación dependen de la duración de cada incremento de carga. Usualmente, la duración de la aplicación de la carga es la misma para cada incremento e igual a 24 horas, aunque para algunos suelos, la velocidad de consolidación es tal que la consolidación completa (la disipación del exceso de la presión en los poros) requerirá mayor tiempo.

Nota: Dado que con los aparatos en uso no se logra verificar la disipación de presión en los poros, es necesario emplear una técnica de interpretación con la cual indirectamente se determine que la consolidación se ha completado. Este método especifica dos técnicas; sin embargo, el solicitante puede especificar una técnica alternativa y aún estar conforme con este método de ensayo.

- Los aparatos generalmente usados para este método de ensayo no están provisto para verificar la saturación del espécimen. Sin embargo, la velocidad del tiempo de deformación es muy sensible al grado de saturación y deberán realizarse cuidadosamente las estimaciones para la duración de los asentamientos cuando prevalezcan las condiciones de parcialmente saturado. Como una alternativa, el ensayo puede realizarse utilizando un aparato equipado para saturar el espécimen.
- Este método utiliza la teoría de consolidación convencional basada en la ecuación de consolidación de Terzaghi para calcular el coeficiente de consolidación ( $C_v$ ), fundamentado en las siguientes suposiciones:
  - a) El suelo está saturado y sus propiedades son homogéneas.
  - b) El flujo de agua que tienen los poros es en dirección vertical.
  - c) La compresibilidad de las partículas del suelo y el agua en los poros es despreciable comparado con la compresibilidad del esqueleto del suelo.
  - d) La relación esfuerzo-deformación es lineal en el incremento de carga.
  - e) La relación de la permeabilidad del suelo con la compresibilidad del mismo es constante en el incremento de carga; y
  - f) La ley de Darcy para fluidos a través de medios porosos es aplicable.

## 16.7 Material y equipo:

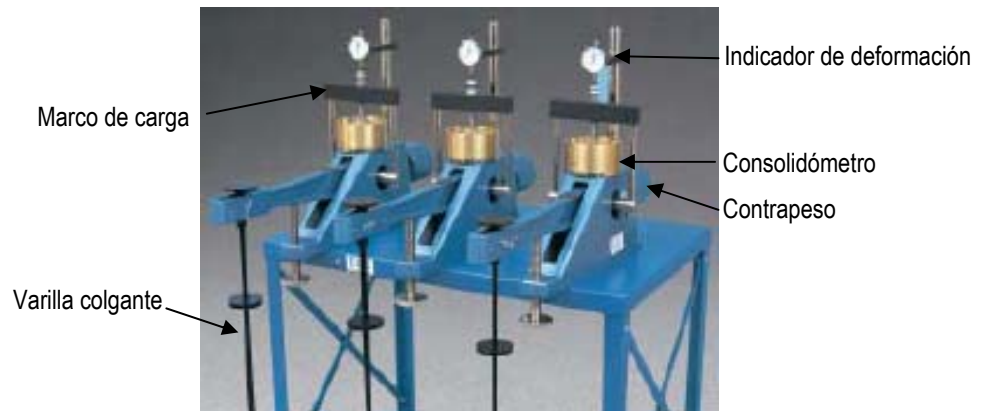
- *Muestra de suelo:*

En condición inalterada o alterada.

- *Agua destilada o desmineralizada*

- *Dispositivos de carga:*

Apropiados para la aplicación de cargas verticales o esfuerzos totales al espécimen y capaz de mantener dichas cargas por períodos largos de tiempo con una precisión de  $\pm 0.5\%$  (de la carga aplicada) y permitir una aplicación rápida de un incremento de carga dado sin un impacto significativo. Debe de estar dotado de un banco de consolidación el cual es un banco rígido donde es colocado el consolidómetro y de una varilla colgante, que es una barra vertical donde se colocan las pesas utilizadas en el cargado (ver figura 16.1).



**Figura 16.1** Equipo utilizado en la determinación de la consolidación de un suelo.

Nota: Generalmente la aplicación de carga debe ser completada en un tiempo correspondiente a  $0.01 t_{100}$  o menos. Para suelos donde la consolidación primaria es completada en 3 min, la aplicación de carga debe ser en menos de 2 seg.

- *Consolidómetro:*

Es un dispositivo capaz de sostener el espécimen de suelo dentro de un anillo. El espécimen puede estar fijo en la base o flotante (sostenido por la fricción en el contorno del espécimen) y confinado en cada cara por dos discos porosos. Deberá

poseer medios para sumergir el espécimen, transmitir cargas verticales puntuales a los discos porosos y medir los cambios de alturas en el mismo (ver figura 16.2).



**Figura 16.2** Consolidómetro de anillo fijo para la ejecución del ensayo de consolidación.

– *Anillo de consolidación:*

De material anticorrosivo con una superficie interna pulida o engrasado con un material de baja fricción (como grasa de silicón, politetrafluorileno para suelos no arenosos).

La rigidez del anillo deberá ser tal que, bajo las condiciones de esfuerzos hidrostáticos en el espécimen, el cambio en el diámetro del anillo no excederá el 0.03 % del diámetro bajo la aplicación de la carga máxima.

– *Discos porosos:*

De material anticorrosivo como el carburo de silicón, óxido de aluminio o similares, con una “textura” lo suficientemente fina como para prevenir la intrusión del suelo en los poros. El diámetro del disco a colocar en la parte superior del anillo deberá ser de 0.2 a 0.5 mm (0.01 a 0.02 pulg.) menor que el diámetro interno de éste, si es utilizado un anillo flotante, los dos discos (superior e inferior) deberán ser de igual diámetro. El espesor será lo suficiente para prevenir la ruptura, aunque el disco superior será cargado a través de una placa resistente a la corrosión de suficiente rigidez como para no romper el disco.

Nota: Si es necesario puede utilizarse papel filtro para prevenir la intrusión del suelo dentro de los discos, sin embargo; la permeabilidad de los discos y del papel deberá ser de un orden de magnitud mayor que la del espécimen.

– *Indicador de deformación:*

Capaz de medir los cambios en la altura del espécimen con una legibilidad de 0.0025mm (0.0001 pulg.).



**Figura 16.3** Indicador de lecturas de deformación para el ensayo de consolidación.

– *Dispositivo para recorte del espécimen:*

Pueden ser utilizados una “mesa giratoria de corte” o un “anillo cilíndrico cortante”, para recortar la muestra según el diámetro interior del anillo del consolidómetro, con un mínimo de alteración.

– *Balanza:*

Con una precisión de 0.01 g

– *Horno de Secado:*

Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.

– *Juego de pesas*

– *Papel filtro:*

Whatman No 54 es el papel filtro que reúne los requisitos de permeabilidad y durabilidad para realizar este ensayo.

– *Misceláneos:*

Cronómetro con legibilidad de 1 seg, termómetro, desecador, vernier, piseta, espátulas, cuchillos y sierra de alambre (usados en la preparación del espécimen), recipientes para contenidos de humedad, franelas.

## **16.8 Consideraciones generales:**

16.8.1 Las muestras inalteradas destinadas para este ensayo se manejarán y se transportarán de acuerdo con las prácticas D 4220 (grupo C y D) y para muestras alteradas (remoldeadas) se hará con el grupo B de la misma norma.

Nota: En el caso de una muestra alterada, la preparación del espécimen deberá realizarse por remoldeo, pudiéndose preparar con la densidad en masa de la muestra y las condiciones de humedad estipuladas por el solicitante que requiera el ensayo.

16.8.2 Al usar tubos de pared delgada, el diámetro interior de éste deberá ser por lo menos 5 mm (0.25 pulg) más grande que el diámetro interior de los anillos de consolidación.

16.8.3 Las muestras obtenidas de campo deberán sellarse previniendo cualquier pérdida de humedad, no mostrando ninguna evidencia de secado parcial en las esquinas o contracción en las muestras.

16.8.4 El diámetro mínimo del espécimen será de 50 mm (2.0 pulg).

16.8.5 La altura inicial mínima del espécimen será de 12 mm (0.5 pulg), siendo éste no menor de diez veces el diámetro máximo de la partícula.

16.8.6 La relación mínima diámetro / altura del espécimen será de 2.5.

Notas:

- En general es recomendable el uso de mayores relaciones de diámetro / altura.
- Una relación diámetro / altura mayor que 4 es preferible con el objetivo de minimizar los efectos de fricción entre los lados del espécimen y el anillo.

16.8.7 Este ensayo deberá realizarse en un ambiente donde las variaciones de temperatura sean menores que  $\pm 4$  °C ( $\pm 7$  °F) y que no este a una exposición directa con la luz del sol.

16.8.8 Al utilizar discos porosos nuevos, éstos deberán ser hervidos por lo menos durante 10 minutos y enfriarlos en agua a temperatura ambiente antes de usarlos.

Inmediatamente después de cada uso, los discos deberán limpiarse con un cepillo no abrasivo y hervirlos para remover las partículas de arcilla, las cuales pueden reducir su permeabilidad. Además; es recomendable guardarlos en un frasco con agua desairada entre la ejecución de cada ensayo.

## **16.9 Procedimiento:**

### ***16.9.1 Determinación de la corrección para las medidas de deformación vertical:***

1. Coloque el disco poroso inferior en la base del consolidómetro, seguidamente ensamble el consolidómetro colocando sobre éste un disco de acero o cobre en lugar de la muestra.

Notas:

- El disco de acero o cobre será de aproximadamente la misma altura del espécimen de ensayo y 1 mm (0.04 pulg) menor que el diámetro del anillo.
- Si es usado papel filtro, éstos deberán ser humedecidos por un tiempo mínimo de 2 min, para permitir que la humedad sea extraída de ellos durante cada incremento de carga en este proceso de determinación de corrección.

2. Coloque el disco poroso superior sobre el disco de acero o cobre y posteriormente aplique el mismo proceso de carga y descarga que en un ensayo normal, tomando y registrando las lecturas de deformación correspondientes.

Nota: Cuando es usado papel filtro es indispensable realizar la calibración siguiendo un programa exacto de carga y descarga, debido a que éste posee características de deformación inelástica. La recalibración para ensayos donde no es necesario papel filtro serán anuales o después de reemplazar y reensamblar los componentes del aparato.

3. Grafique o tabule para cada carga aplicada, las correcciones a ser asignadas a las mediciones de deformación del espécimen de ensayo.

### ***16.9.2 Determinación de la masa y dimensiones del anillo:***

4. Determine la masa del anillo de consolidación utilizando una balanza de 0.01 g de precisión.
5. Tome cuatro medidas de la altura del anillo de consolidación cercana a 0.025 mm (0.001 pulg), espaciadas uniformemente sobre la parte superior e inferior de éste y

calcule el valor promedio y regístrelo en el correspondiente formato, como la altura inicial del espécimen ( $H_i$ ).

6. Mida cuatro veces el diámetro del anillo de consolidación, en la parte superior e inferior de éste, empleando un vernier. Calcule el valor promedio de las medidas tomadas y regístrelo en el correspondiente formato como el diámetro inicial del espécimen ( $d_i$ ).

### **16.9.3 Preparación de los especímenes de ensayo:**

7. Labre el espécimen de la muestra de suelo (inalterada o remoldeada) utilizando una de las siguientes técnicas, según el dispositivo de corte a emplear:

Nota: Suelos fibrosos, como la turba y aquellos suelos que se dañan fácilmente al cortarlos, pueden transferirse directamente del tubo de muestreo al anillo, previniendo que éste posea el mismo diámetro que el tubo de muestreo.

#### *7.1 Mesa giratoria:*

- Corte el perímetro completo de la muestra de suelo, reduciendo su diámetro hasta obtener un espécimen con un diámetro aproximadamente igual al diámetro interior del anillo de consolidación.
- Inserte cuidadosamente el anillo de consolidación en el espécimen de suelo, con una fuerza mínima, hasta que éste penetre desde el fondo del anillo y sobresalga ligeramente.

#### *7.2 Anillo cortante cilíndrico:*

- Corte el suelo adelgazando su diámetro suavemente con el frente de los bordes cortantes del anillo.
- Avance el corte verticalmente una pequeña distancia para formar el diámetro final del espécimen y prosiga hasta que éste penetre en el anillo y sobresalga ligeramente.

Nota:

Nota: El corte de los especímenes de ensayo debe ser realizado en un ambiente donde el cambio de humedad del suelo sea mínimo, preferentemente en un ambiente de alta humedad.



8. Corte los bordes del espécimen nivelándolos con los extremos planos del anillo, ésto es; reduciendo ligeramente el espécimen desde abajo hacia arriba en la parte superior del anillo y posteriormente un recortado de la parte inferior de éste ( vea figura 16.4).



**Figura 16.4** Corte de los bordes del espécimen para el ensayo de consolidación.

Notas:

- Para el corte de la parte superior e inferior de especímenes de suelos blandos a medios, se deberá utilizar una sierra de alambre con la finalidad de minimizar el remoldeo y luego que se ha removido el exceso de suelo, puede ser empleada una regla enrasadora con un borde cortante afilado para el recorte final. Para el caso de suelos duros, se deberá utilizar solamente una regla enrasadora.
  - Si al cortar el espécimen se encuentra una pequeña partícula de suelo en cualquiera de las superficies, ésta deberá ser removida y el agujero se rellenará con suelo remante del corte.
  - Si en cualquier fase del ensayo, el espécimen de suelo se hincha más allá de su altura inicial, los requisitos de confinamiento lateral dictan el uso de un espécimen de menor espesor o el uso de un anillo con un collar de extensión de igual diámetro interno. En ningún momento la altura total del espécimen deberá ser mayor que la altura del anillo o del conjunto anillo-collar de extensión.
9. Determine la masa húmeda inicial del espécimen con el anillo de consolidación y réstele la masa del anillo obtenida en el literal 4 de este apartado. Registre este valor como la masa inicial del espécimen ( $M_{hi}$ ) y colóquelo en el desecador, previo al ensayo.



**Figura 16.5** Determinación de la masa húmeda del espécimen + anillo de consolidación.

10. Tome una muestra del material sobrante del labrado del espécimen y determine dos o tres contenidos de humedad natural (si el material disponible es suficiente), siguiendo el procedimiento indicado en el método expuesto en el ensayo N° 1 (ASTM D 2216).

Notas:

- Cuando las propiedades índices son requeridas por el solicitante, guarde en un recipiente sellado el material sobrante del labrado del espécimen para su determinación.
- Al ensayar suelos uniformes, las propiedades índices pueden ser determinadas del material sobrante del labrado del espécimen. Si los suelos son heterogéneas o el material sobrante del corte es poco, las propiedades índices podrían ser determinadas utilizando el material del espécimen al finalizar el ensayo.

#### **16.9.4 Colocación del espécimen en el consolidómetro:**

11. Ensamble el consolidómetro colocando el disco poroso inferior, un filtro (cuando sea necesario) en la base y sobre éste el anillo conteniendo el espécimen, posteriormente coloque el disco poroso superior sobre él, como se muestra en la figura 16.6 .



**Figura 16.6** Colocación del espécimen en el consolidómetro.

Notas:

- Al ensayar suelos secos altamente expansivos u otros tipos, se deben utilizar discos porosos secos y filtros; en el caso de suelos parcialmente saturados es necesario usar discos porosos húmedos y cuando sean suelos saturados y se conozca que poseen una baja afinidad por el agua, los discos porosos a utilizar deberán estar saturados.
- En relación a los objetivos establecidos por este método de ensayo, no se debe permitir que el espécimen se hinche en exceso antes de ser cargado más allá de su presión de preconsolidación. Los procedimientos detallados para la determinación del hinchamiento unidimensional o asentamiento potencial de suelos cohesivos, son cubiertos por el método de ensayo ASTM D 4546<sup>14</sup>.

#### ***16.9.5 Montaje del consolidómetro en el banco de consolidación:***

12. Sitúe el conjunto (consolidómetro + espécimen) en el banco de consolidación, teniendo el cuidado de que el marco de carga este elevado y permita una libre maniobra.
13. Coloque el indicador de deformación en su posición, de manera que el vástago tenga suficiente recorrido.
14. Apoye el marco de carga sobre el consolidómetro (figura 7) y al mismo tiempo verifique que el extremo de la palanca en el que se colocan las pesas quede ligeramente por encima de su posición horizontal, luego aproxime el indicador de deformación hasta que haga contacto con la cabeza del tornillo del marco de carga.



**Figura 16.7** Colocación del marco de carga sobre el consolidómetro.

---

<sup>14</sup> ASTM D 4546 "Metodos de ensayo para la determinación del hinchamiento unidimensional o asentamiento potencial de suelos cohesivos"

Nota: Lo más conveniente es que la inclinación de la palanca por encima de la horizontal al iniciar el ensayo, sea igual a la inclinación por debajo de la horizontal al finalizar el ensayo.

15. Aplique una presión de asentamiento de 5 kPa (100 lbf/pie<sup>2</sup>), colocando la pesa adecuada en la varilla colgante y ajuste el indicador de deformación a cero o registre la lectura inicial como  $d_o$ .

Nota: Si es necesario, agregue una carga adicional para impedir que el espécimen se expanda. Por el contrario, si se prevé que esa carga de 5 kPa (100 lbf / ft<sup>2</sup>) causará una consolidación significativa en el espécimen, reduzca la carga de asentamiento a 2 ó 3 kPa (aproximadamente 50 lbf / pie<sup>2</sup>) o menos.

#### **16.9.6 Realización del ensayo:**

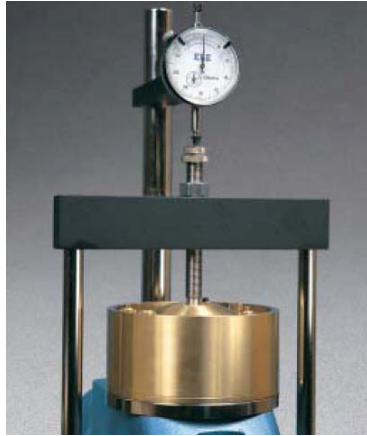
16. Anote la fecha y hora de inicio de la realización del ensayo.
17. Inunde el espécimen inmediatamente después de la aplicación de la carga de asentamiento, esto solamente si el espécimen a ensayar es una muestra inalterada que fue saturada bajo condiciones de campo u obtenida arriba del nivel freático.

Nota: Si el espécimen no se saturase inmediatamente después de la aplicación de la carga de asentamiento, aisle el consolidómetro con un plástico suelto adecuado o una membrana de hule para prevenir el cambio de volumen en el espécimen debido a la evaporación.

- 17.1 Incremente la carga (si es requerido) mientras ocurre la saturación y el humedecimiento del espécimen para prevenir el hinchamiento. Posteriormente registre la carga requerida.

Nota: Si la saturación del espécimen será demorada para simular las condiciones específicas, la inundación debería ocurrir a una presión que sea lo suficientemente grande para prevenir el hinchamiento, en tales casos, aplique la carga requerida y sature el espécimen.

- 17.2 Observe el indicador de deformación durante la inundación y registre las lecturas tiempo-deformación a los intervalos de tiempo de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, y 1, 2, 4, 8, y 24 horas (ó 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4, 9 minutos etc.).



**Figura 16.8** Lectura del indicador de deformación durante el ensayo de consolidación.

17.3 Tome la temperatura del agua contenida en el consolidómetro y la lectura de deformación resultante, luego registre dichos valores.

Nota:

El programa para las cargas especificadas dependerá del propósito del ensayo, debiendo conformarse de los modelos siguientes:

- Si la inclinación y forma de la curva de compresión virgen o la determinación de la presión de preconsolidación es requerida, la presión final debe ser igual o mayor a cuatro veces la presión de consolidación.
- En el caso de sobreconsolidación de las arcillas, una buena evaluación de los parámetros de recompresión puede ser obtenida, imponiendo un ciclo de descarga-recarga después de la presión de preconsolidación que ha sido definida.
- Los detalles con respecto a la colocación y magnitud de un ciclo de descarga-recarga es opción del solicitante, sin embargo, las descargas deberán ser siempre en períodos de por lo menos dos decrementos de presión.

***16.9.6.1. Etapa de carga de la muestra:***

18. Anote la fecha, hora, lectura del indicador de deformación y temperatura del agua contenida en el consolidómetro. Posteriormente llene con agua el consolidómetro de manera que quede cubierta el disco poroso superior.
19. Seleccione uno de los métodos de ensayo a aplicar siguientes, ya sea Método A o Método B.

**a) Método de ensayo A**

1. Coloque cuidadosamente una pesa en la varilla colgante e inmediatamente ponga en marcha el cronómetro.

Notas:

- El programa estándar para el cargado, podría consistir de una relación de incremento de carga de uno, que es obtenido duplicando la presión del suelo para obtener valores de aproximadamente 12, 25, 50, 100, 200 KPa, etc. (250, 500, 1000, 2000, 4000, etc. Lbf/pie<sup>2</sup>).
  - Pueden ser deseables pequeños incrementos de carga en especímenes altamente compresibles o cuando se requiera determinar la presión de preconsolidación con mayor precisión. Sin embargo, se deberá tener precaución de que las relaciones en los incrementos de carga sean menores que 0.7 y que los incrementos de carga muy cercanos a la presión de preconsolidación podrían evitar la estimación del coeficiente de consolidación  $C_v$  y el final de la consolidación primaria.
2. Registre los cambios en la altura del espécimen,  $d_f$ , aproximadamente a los intervalos de tiempo de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, y 1, 2, 4, 8, y 24 horas (ó 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4, 9 minutos etc.) para cada presión aplicada.

Notas:

- La duración del incremento de carga será de 24 horas, por lo menos para dos incrementos de carga, incluyendo como mínimo un incremento de carga después que la presión de preconsolidación se ha excedido.
- A menudo son requeridas duraciones de tiempo más largas durante los incrementos de carga especificados para definir la pendiente de la línea recta del gráfico del tiempo. Para incrementos semejantes deben tomarse suficientes lecturas cercanas al incremento de presión final para definir esta porción de la línea recta. No es necesario aumentar la duración de otros incrementos de presiones durante el ensayo.
- Tome las lecturas suficientes cercanas al final del periodo del incremento de presión para verificar que esta consolidación primaria se ha completado.
- Para algunos suelos, un periodo mayor de 24 horas puede ser requerido para alcanzar el final de la consolidación primaria. En estos casos, incrementos de carga mayores de 24 horas serán requeridos y deberán ser reportados en el informe.
- La duración del incremento de carga para este ensayo es usualmente tomado de un múltiplo de 24 horas y debe ser la duración estándar para todos los incrementos de

carga. Si existen dudas de si un periodo de 24 horas es adecuado, deberá hacerse un registro ordenado del cambio en la altura con el tiempo para los incrementos de carga inicial.

3. Coloque cuidadosamente la nueva carga en la varilla colgante, después de transcurridas 24 horas o cuando la variación entre dos lecturas sea bastante pequeña.
4. Repita el paso descrito anteriormente hasta completar todos los incrementos de carga. Posteriormente proceda a la etapa de descarga.

***b) Método de ensayo B***

1. Coloque cuidadosamente una pesa en la varilla colgante e inmediatamente ponga en marcha el cronómetro.
2. Registre la altura o cambio en la altura,  $d$ , para cada incremento de carga a intervalos de tiempo de aproximadamente 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas (ó 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4, 9 minutos, etc.), tomando desde inicio de aplicación de cada incremento de presión.

Notas:

- Para cada incremento donde es imposible verificar el final de la consolidación primaria, la duración del incremento de carga será constante y excederá el tiempo requerido para la consolidación primaria de un incremento aplicado después de la presión de preconsolidación y a lo largo de la curva de compresión virgen. Cuando la compresión secundaria ha de ser evaluada, aplique presiones por periodos de tiempo más largos.
  - Los intervalos de tiempo e incrementos de carga sugeridos para el registro de la altura o cambios en la altura son para suelos típicos. A menudo es deseable cambiar las frecuencias en las lecturas para una mejor interpretación de los datos. Las consolidaciones más rápidas requerirán de lecturas más frecuentes. Para la mayoría de suelos, la consolidación primaria durante el primer decremento de carga, estará completada en menos tiempo (típicamente en un-décimo) que se requeriría para un incremento de carga a lo largo de la curva de compresión virgen, sin embargo, a las presiones muy bajas el tiempo de recuperación puede ser más largo.
3. Coloque la nueva carga en la varilla colgante, después que se exceda el tiempo requerido para completar la consolidación primaria (100 %), tomando como lectura inicial del indicador de deformación, la final de la carga anterior.

4. Repita el paso descrito anteriormente hasta alcanzar el valor de la carga máxima seleccionada. Posteriormente proceda a la etapa de descarga.

#### **16.9.6.2 Etapa de descarga de la muestra:**

20. Seleccione el programa de descarga reduciendo la presión total aplicada al suelo a la mitad, retirando las pesas colocadas en la varilla colgante, partiendo del último valor de presión de consolidación aplicada. Registre las lecturas de tiempo y deformación correspondientes a cada carga retirada.

Notas:

- Al igual que en la etapa de carga, cada retiro de carga se realiza cada 24 horas.
  - Si se desea, cada carga sucesiva puede ser solo un cuarto mayor que la carga precedente, es decir, saltarse un decremento.
  - Al descargar totalmente se deja recuperar el espécimen de suelo hasta observar que la diferencia de lectura en el indicador de deformación sea mínima.
21. Retire el consolidómetro rápidamente del banco de consolidación, luego de liberar la pequeña carga final en el espécimen.
  22. Vacíe el agua del consolidómetro y desmóntelo, retirando el anillo con el espécimen en su interior. Luego, elimine las gotas de agua que queden adheridas al anillo y al espécimen, utilizando material absorbente.
  23. Determine y registre la masa del espécimen en el anillo, restándole la masa del anillo, para obtener la masa final saturada del espécimen,  $M_{sf}$ .
  24. Extraiga el espécimen de suelo del anillo de consolidación y determine el contenido de agua final de éste ( $\omega_f$ ), de acuerdo con el método D 2216, así como la masa seca de los sólidos,  $M_d$ , usando el espécimen completo y evitando cualquier pérdida de partículas del suelo.

Notas:

- La determinación más exacta de la masa seca del espécimen y el contenido de agua se logra secando el espécimen completo al final del ensayo.
- Si el material es heterogéneo o es requerido más material para las especificaciones de los ensayos índices, entonces determine el contenido de agua final,  $w_{fp}$ , usando una pequeña porción que forma parte de la sección del espécimen.



## 16.10 Cálculos:

16.10.1 Calcule el área del espécimen ( $A$ ), utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 \quad \text{Ec. 16.1}$$

Donde:

$A$  = Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$

$d$  = Diámetro del espécimen,  $\text{cm}$  o  $\text{m}$

16.10.2 Calcule el volumen inicial del espécimen  $V_i$ , cercano al  $0.25 \text{ cm}^3$  ( $0.015 \text{ pulg}^3$ ) del diámetro del anillo y la altura inicial del espécimen.

$$V_i = A \times h_i \quad \text{Ec. 16.2}$$

Donde:

$V_i$  = Volumen inicial del espécimen,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$

$A$  = Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$

$d$  = Diámetro del espécimen,  $\text{cm}$  o  $\text{m}$

16.10.3 Calcule las presiones actuantes sobre el espécimen como sigue:

$$\sigma = \frac{P}{A} \times \text{ventaja mecánica} \quad \text{Ec. 16.3}$$

Donde:

$\sigma$  = Presión actuante sobre el espécimen para cada etapa de carga,  $\text{kPa}$

$P$  = Carga actuante sobre el espécimen para cada etapa de carga,  $\text{N}$

$A$  = Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$

16.10.4 Calcule las deformaciones del espécimen ensayado, utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta = \text{Lectura de cada etapa de carga} \times k_{\text{deformimetro}} \quad \text{Ec. 16.4}$$

16.10.5 Calcule la masa seca del espécimen de la forma siguiente:

$$M_s = \frac{M_{hf}}{1 + \omega_f} \quad \text{Ec. 16.5}$$

Donde:

$M_s$  = Masa seca del espécimen según ecuación 16.5 o directamente obtenida de la muestra secada al horno, g o Mg

$M_h$  = Masa húmeda del espécimen total después del ensayo, g o Mg, y

$\omega_f$  = Contenido de agua de la porción del espécimen tomado después del ensayo, en decimal.

16.10.6 Calcule el contenido de agua inicial y final, en porcentaje, como sigue:

$$\omega_i = \frac{M_{hi} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 16.6}$$

$$\omega_f = \frac{M_{hf} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Ec. 16.7}$$

Donde:

$M_s$  = Masa seca del espécimen, g o Mg,

$M_{hi}$  = Masa húmeda del espécimen antes del ensayo, g o Mg.

$M_{hf}$  = Masa húmeda del espécimen después del ensayo, g o Mg.

16.10.7 Calcule la densidad seca inicial del espécimen como sigue:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_i} \quad \text{Ec. 16.8}$$

Donde:

$\rho_s$  = Densidad seca del espécimen, g/cm<sup>3</sup> o Mg/m<sup>3</sup>

$M_s$  = Masa seca del espécimen, g o Mg, y

$V_i$  = Volumen inicial del espécimen, cm<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>.

16.10.8 Calcule el peso unitario seco del espécimen como sigue:

$$\gamma_d = 9.8 \times \rho_s, \text{ en } kN / m^3 \quad \text{Ec. 16.9}$$

$$\gamma_d = 62.43 \times \rho_s, \text{ en } lbf / pie^3$$

Donde:

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del espécimen

$\rho_s$  = Densidad seca del espécimen, g/cm<sup>3</sup> o Mg/m<sup>3</sup>,

16.10.9 Calcule el volumen de los sólidos como sigue:

$$V_s = \frac{M_s}{G \times \rho_w} \quad \text{Ec. 16.10}$$

Donde:

$V_s$  = Volumen de los sólidos,  $\text{cm}^3$

$M_s$  = Masa seca del espécimen, g o Mg

$G$  = Gravedad específica de los sólidos del suelo

$\rho_w$  = Densidad del agua,  $1.0 \text{ g/cm}^3$  o  $\text{Mg/m}^3$ .

16.10.10 Calcule la altura equivalente de los sólidos definido de la siguiente forma:

$$H_s = \frac{V_s}{A} \quad \text{Ec. 16.11}$$

Donde:

$H_s$  = Altura equivalente de los sólidos, cm o m

$V_s$  = Volumen de los sólidos,  $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$

$A$  = Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$ .

16.10.11 Calcule la relación de vacíos antes y después del ensayo como sigue:

$$e_i = \frac{H_i - H_s}{H_s} \quad \text{Ec. 16.12}$$

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s} \quad \text{Ec. 16.13}$$

Donde:

$H_i$  = Altura inicial del espécimen, cm o m, y

$H_f$  = Altura final del espécimen, cm o m.

$H_s$  = Altura equivalente de los sólidos, cm o m

16.10.12 Calcule el grado de saturación antes y después del ensayo como sigue:

$$S_i = \frac{M_{hi} - M_s}{A \times \rho_w \times (H_i - H_s)} \times 100 \quad \text{Ec. 16.14}$$

$$S_f = \frac{M_{hf} - M_s}{A \times \rho_w \times (H_f - H_s)} \times 100 \quad \text{Ec. 16.15}$$

Donde:

$M_{hi}$  = Masa húmeda del espécimen antes del ensayo, g o Mg.

$M_{hf}$  = Masa húmeda del espécimen después del ensayo, g o Mg.

$M_s$  = Masa seca del espécimen, g o Mg,

$A$  = Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$ .

$\rho_w$  = Densidad del agua,  $1.0 \text{ g/cm}^3$  o  $\text{Mg/m}^3$ .

$H_i$  = Altura inicial del espécimen, cm o m, y

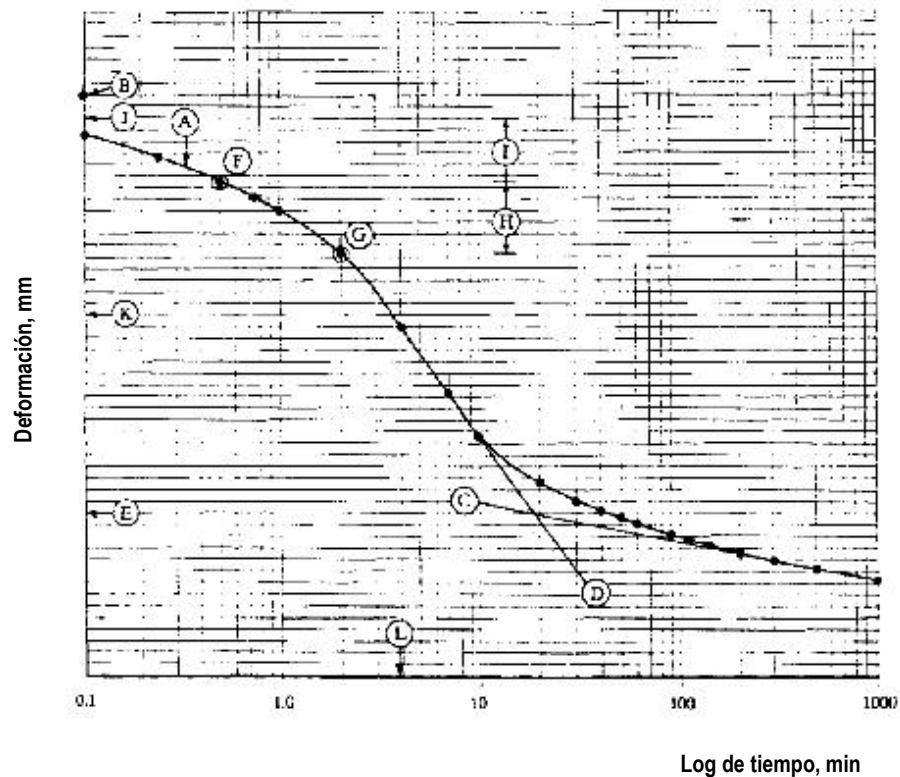
$H_s$  = Altura equivalente de los sólidos, cm o m

$H_f$  = Altura final del espécimen, cm o m.

16.10.13 Grafique la curva tiempo – deformación obtenido de los incrementos de carga aplicados, el cual puede presentarse por medio de dos procedimientos:

1. Método de logaritmo de tiempo:

- a) Trace en el eje de las ordenadas las lecturas de deformación (mm) y el logaritmo del tiempo, en minutos en el eje de las abscisas, para cada incremento de carga y construya la curva.
- b) Dibuje una línea recta a lo largo de los puntos finales de la curva (C), posteriormente, trace una segunda línea tangente en la parte más inclinada de la curva (D) y la intersección de ambas líneas representa la deformación  $d_{100}$  y tiempo  $t_{100}$ , correspondiente al 100% de la consolidación primaria (E).
- c) Obtenga la deformación que representa el 0% de la consolidación primaria, seleccionando dos puntos cualesquiera que posean una relación de tiempo de 1 a 4. La deformación a lo largo de los dos tiempos debe ser mayor que  $\frac{1}{4}$ , pero menor que  $\frac{1}{2}$  de la deformación total de los incrementos de carga. La deformación correspondiente al 0 % de la consolidación primaria es igual a la deformación del menor tiempo, menos la diferencia en la deformación para los dos tiempos seleccionados.
- d) Determine la deformación  $d_{50}$  correspondiente al 50% de la consolidación primaria, la cual es igual al promedio de las deformaciones correspondiente al 0 y 100% de las deformaciones. Trace una línea horizontal a partir del  $d_{50}$  hasta interceptar la curva tiempo-deformación, obteniendo el tiempo  $t_{50}$  requerido para el 50% de la consolidación.

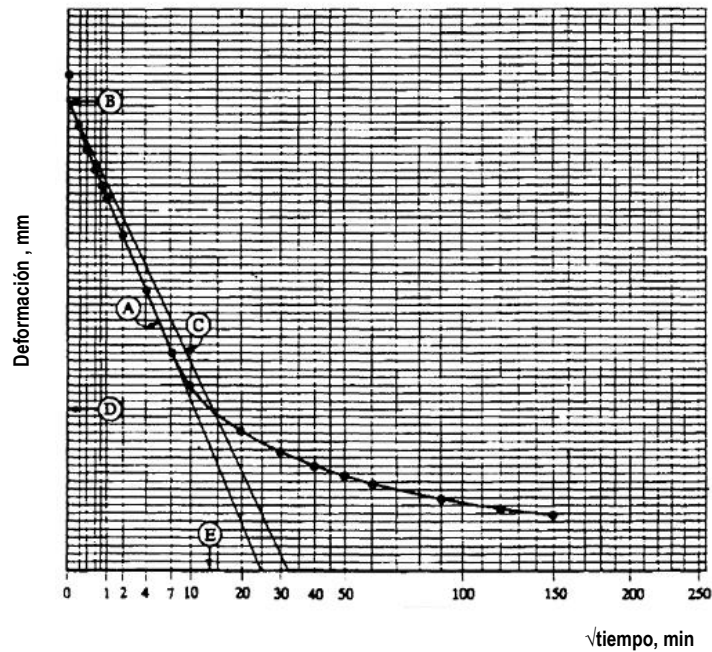


**Figura 16.9** Curva Logaritmo de tiempo vrs deformación

2. Método de la raíz cuadrada del tiempo:

- a) Trace en el eje de las ordenadas las lecturas de deformación (mm) y la raíz cuadrada del tiempo (normalmente en minutos) en el eje de las abscisas, para cada incremento de carga, como se muestra en la figura.
- b) Dibuje una línea recta a lo largo de los puntos que representan las lecturas iniciales(A), las cuales tendrán una tendencia de línea recta y extrapole la línea hacia atrás a  $t = 0$  y obtenga la ordenada que representa la deformación del 0% de la consolidación primaria (B).
- c) Dibuje una segunda línea recta a través de la ordenada 0% para que la abscisa de esta línea sea de 1.15 veces la abscisa de la primera línea recta a lo largo de los datos (C). La intersección de esta segunda línea recta con la curva raíz cuadrada del tiempo-deformación es la deformación  $d_{90}$  (D), y el tiempo  $t_{90}$  (E), correspondiente al 90% de la consolidación primaria.

- d) La deformación del 100 % de consolidación es 1/9 mayor que la diferencia de la deformación entre 0 y 90% de la consolidación. El tiempo de la consolidación primaria  $t_{100}$ , puede ser tomado de la intersección de la curva raíz cuadrada del tiempo-deformación y la ordenada de la deformación. La deformación  $d_{50}$ , correspondiente al 50% de la consolidación es igual a la deformación de 5/9 de la diferencia entre 0 y 90% de la consolidación.



**Figura 16.10** Curva  $\sqrt{\text{tiempo}}$  vrs deformación

16.10.14 Calcule el coeficiente de consolidación para cada incremento de carga usando la siguiente ecuación y evalúe apropiadamente el método escogido para la interpretación:

$$c_v = \frac{T \times H_{D_{50}}^2}{t} \quad \text{Ec. 16.16}$$

Donde:

$C_v$  = Coeficiente de consolidación.

$T$  = Factor de tiempo adimensional:

Para método de logaritmo de tiempo utilice el 50% de consolidación con  
 $T=T_{50}=0.197$

Para método de la raíz cuadrada del tiempo utilice el 90% de consolidación con  $T=T_{90}=0.848$

$t$  = Tiempo que corresponde al grado particular de consolidación, en s o min;

Para método de logaritmo de tiempo utilice  $t=t_{50}$

Para método de la raíz cuadrada del tiempo utilice  $t=t_{90}$

$H_{D50}$  = Longitud de la trayectoria del desagüe al 50% de consolidación, en cm o m.

Nota: Para el desagüe de doble dirección el  $H_{D50}$  es la mitad de la altura del espécimen en el incremento apropiado y para una sola dirección de desagüe  $H_{D50}$  es la altura total del espécimen.

16.10.15 Tabule las deformaciones o cambios en la deformación  $d_f$ , con las lecturas correspondientes al final de cada incremento. Si es utilizado el método de ensayo B las deformaciones deberán ser las correspondientes al final de la consolidación primaria  $d_{100}$ .

16.10.16 Calcule los cambios en la altura, relativo a la altura inicial del espécimen para cada lectura.

$$\Delta H = d - d_i \quad \text{Ec. 16.17}$$

Donde:

$\Delta H$  = Cambio en altura, en cm o m

$d$  = Lectura de deformación para cada incremento de carga, en cm o m

$d_i$  = Lectura de deformación inicial del espécimen, en cm o m.

Nota: Si es necesario, corrija la deformación para la flexibilidad del aparato restando el valor obtenido en la calibración de cada lectura.

16.10.17 Calcule la relación de vacíos como sigue:

$$e = e_i - \frac{\Delta H}{H_s} \quad \text{Ec. 16.18}$$

Donde:

$e$  = Relación de vacíos

$e_i$  = Relación de vacíos inicial

$\Delta H$  = Cambio en altura, en cm o m

$H_s$  = Altura equivalente de los sólidos, cm o m

16.10.18 Calcule la deformación vertical en porcentaje, como sigue:

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_i} \times 100 \quad \text{Ec. 16.19}$$

Donde:

$\epsilon$  = Deformación vertical en %

$\Delta H$  = Cambio en altura, en cm o m

$H_s$  = Altura inicial del espécimen, cm o m

16.10.19 Calcule el esfuerzo vertical como sigue:

$$\sigma_v = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 16.20}$$

Donde:

$\sigma_v$  = Esfuerzo vertical en kPa.

$P$  = Carga aplicada en N.

$A$  = Área del espécimen,  $\text{cm}^2$  o  $\text{m}^2$ .

16.10.20 Trace los resultados de deformación (relación de vacíos o deformación) correspondiente al final de cada incremento y si es utilizado el método de ensayo B, la deformación correspondiente al final de la consolidación primaria vrs el logaritmo de la presión.

Nota: En algunos casos puede ser preferible la presentación de la curva carga-deformación en escala aritmética.

16.10.21 Determine el valor de la presión de preconsolidación utilizando el siguiente procedimiento:

a) Estime el punto de máxima curvatura en la curva de consolidación (B).



- b) Dibuje la tangente a la curva de consolidación en este punto (C) y una línea horizontal a lo largo del punto (D), ambos se extenderán hacia los valores crecientes en la abscisa.
- c) Dibuje la línea bisectriz del ángulo entre las líneas (E).
- d) Extienda la tangente en el tramo inclinado de la curva de consolidación (en la rama de la compresión virgen) (F) hacia arriba con la intersección de la línea bisectriz (E). La presión (G) (abscisa) correspondiente a este punto de intersección es la estimación de presión de preconsolidación.

### 16.11 Ejemplo:

Para el ejemplo de cálculo se utilizarán los datos anotados en las hojas de registro correspondientes de este ensayo.

16.11.1 Cálculo del área del espécimen ( $A$ ), utilizando la ecuación 16.1:

$$A = \frac{\pi}{4} \times 6.31^2$$

$$A = 31.27 \text{ cm}^2$$

16.11.2 Cálculo del volumen inicial del espécimen  $V_i$ , utilizando la ecuación 16.2:

$$V_i = 31.27 \times 2.0$$

$$V_i = 62.54 \text{ cm}^3$$

16.11.3 Cálculo de las presiones actuantes sobre el espécimen, según la ecuación 16.3:

$$\text{Primera carga aplicada} = 9.8 \text{ N}$$

$$\text{Factor de ventaja mecánica} = 10$$

$$\text{Factor para convertir N/cm}^2 \text{ a kPa} = 10$$

$$\sigma = \frac{9.8 \times 10}{31.27} \times 10$$

$$\sigma = 3.13 \text{ kPa}$$

16.11.4 Cálculo de las deformaciones del espécimen ensayado para cada incremento de carga, utilizando ecuación 16.4:

$$\delta = (193) \times 0.00025$$

$$\delta = 0.048 \text{ cm}$$

16.11.5 Cálculo del contenido de agua inicial y final, en porcentaje, utilizando las ecuaciones 16.4 y 16.5:

$$\omega_i = \frac{104.29 - 83.11}{83.11} \times 100$$

$$\omega_i = 25.48\%$$

$$\omega_f = \frac{110.91 - 83.11}{83.11} \times 100$$

$$\omega_f = 33.45\%$$

16.11.6 Cálculo de la densidad seca inicial del espécimen utilizando la ecuación 16.6:

$$\rho_s = \frac{83.11}{62.54}$$

$$\rho_s = 1.328 \text{ g/cm}^3$$

16.11.7 Cálculo del peso unitario seco del espécimen utilizando la ecuación 16.7:

$$\gamma_d = 9.8 \times 1.328$$

$$\gamma_d = 13.02 \text{ KN/m}^3$$

16.11.8 Cálculo del volumen de los sólidos utilizando la ecuación 16.8:

$$V_s = \frac{83.11}{2.59 \times 1.0}$$

$$V_s = 32.09 \text{ g}$$

16.11.9 Cálculo de la altura equivalente de los sólidos utilizando la ecuación 16.9:

$$H_s = \frac{32.09}{31.27}$$

$$H_s = 1.03 \text{ cm}$$

16.11.10 Cálculo de la relación de vacíos antes y después del ensayo utilizando las ecuaciones 16.10 y 16.11:

$$e_i = \frac{2.0 - 1.03}{1.03}$$

$$e_i = 0.95$$

$$e_f = \frac{1.88 - 1.03}{1.03}$$

$$e_f = 0.83$$

16.11.11 Cálculo del grado de saturación antes y después del ensayo utilizando las ecuaciones 16.12 y 16.13:

$$S_i = \frac{104.29 - 83.11}{31.27 \times 1 \times (2 - 1.03)} \times 100$$

$$S_i = 69.55\%$$

$$S_f = \frac{110.91 - 83.11}{31.27 \times 1 \times (1.88 - 1.03)} \times 100$$

$$S_f = 104.11\%$$

16.11.12 Gráfica de la curva  $\sqrt{t}$  tiempo vrs deformación obtenido para cada incremento de carga aplicada durante el ensayo, utilizando el método raíz cuadrada del tiempo. (Ver hojas 16.3a hasta 16.3f)

16.11.13 Cálculo del coeficiente de consolidación para el primer incremento de carga utilizando la ecuación 16.14 (Ver hoja 16.4 para el resto de cálculos):

$$c_v = \frac{0.197 \times 0.99^2}{9.6}$$

$$c_v = 0.02 \text{ cm}^2 / \text{s}$$

16.11.14 Cálculo de los cambios en la altura, relativo a la altura inicial del espécimen utilizando la ecuación 16.15:

$$\Delta H = (86 - 193) \times 0.00025$$

$$\Delta H = 0.027 \text{ cm}$$

16.11.15 Cálculo de la relación de vacíos utilizando la ecuación 16.16:

$$e = 0.95 - \frac{0.027}{1.03}$$

$$e = 0.92$$

16.11.16 Cálculo del esfuerzo vertical, en porcentaje utilizando la ecuación 16.17:

$$\epsilon = \frac{0.027}{2.0} \times 100$$

$$\epsilon = 1.0\%$$

16.11.17 Cálculo de la presión vertical utilizando la ecuación 16.18:

$$\sigma_v = \frac{98}{31.27}$$

$$\sigma_v = 3.13 \text{ kPa}$$

16.11.18 Determinación de la presión de pre-consolidación utilizando la gráfica de compresibilidad. (Ver hoja 16.4 de datos y fig. 16.11).

$$P_c = 56 \text{ kPa}$$

#### 16.12 Cuestionario:

- ❖ Defina el término “consolidación”, según la norma ASTM D 2435-96.
- ❖ Mencione dos alcances del método de ensayo ASTM D 2435-96.
- ❖ ¿Cuáles son las dimensiones requeridas del espécimen de suelo a ensayar en este método de ensayo?

#### 16.13 Contenido del reporte:

El informe incluirá lo siguiente:

- ❖ Identificación y descripción de los especímenes ensayados, como: lugar de procedencia, número de muestra y número de ensayo.
- ❖ Descripción e identificación del suelo si son requeridas por el solicitante la descripción y clasificación del suelo ensayado, éstos podrán realizarse si los datos de límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) están disponibles; así como también las determinaciones de gravedad específica y distribución de las partículas, las que serán reportadas cuando las fuentes de información estén disponibles, siendo éstos no un requisito de este ensayo.
- ❖ Condición del suelo:
  - Contenido de agua promedio de los recortes de suelo.
  - Contenido de agua inicial y final del espécimen.

- Peso unitario seco inicial y final del espécimen.
- Relación de vacíos inicial y final del espécimen.
- Grado de saturación inicial y final del espécimen.
- Presión de preconsolidación.
- ❖ Procedimiento de ensayo:
  - Procedimiento utilizado en la preparación del espécimen.
  - Condición del ensayo (con humedad natural o saturada, presión de saturación).
  - Método aplicado (A o B).
  - Método de ensayo usado para calcular el coeficiente de consolidación.
  - Lista de los incrementos de carga y decrementos, así como la duración de los mismos, si difieren de 24 horas; el resultado final del incremento de deformación y si es aplicado el Método B, el resultado final de la deformación primaria y el coeficiente de consolidación.
- ❖ Presentación de gráficos:
  - Graficar en papel logarítmico la deformación vrs tiempo o raíz cuadrada del tiempo.
  - Graficar la relación de vacíos vrs el registro de la curva de presión o el porcentaje de compresión vrs el registro de curva de presión.
  - Graficar en papel logarítmico el coeficiente de consolidación ( $C_v$ ) vrs el promedio de la relación de vacíos ( $e$ ) o el promedio del porcentaje de compresión para los respectivos incrementos de cargas, en casos donde el control del tiempo de las lecturas de deformación se han tomado para varios incrementos de carga. Alternativamente puede ser graficado  $C_v$  o logaritmo de  $C_v$  vrs el logaritmo del promedio de las presiones ( $P$ ), en el caso que las lecturas de control del tiempo se hayan obtenido para dos incrementos de carga, simplemente tabule los valores de  $C_v$  vrs el promedio de la presión para el incremento de carga.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>2/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Calculó	: <u>SLGT. MORL.</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION  
 (APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION kPa	LECTURA DEL MICROMETRO
<b>PRIMERA CARGA (Carga = 98 N)</b>					
25/04/06	07:40 am	0	22	3.13	86
	07:40 am	6 seg			
	07:40 am	15 seg			156
	07:40 am	30 seg			
	07:41 am	1 min			175
	07:42 am	2 min			177
	07:44 am	4 min			179
	07:48 am	8 min			180
	07:55 am	15 min	23		182
	08:10 am	30 min			184
	08:40 am	1 hora			186
	09:40 am	2 horas	25		187.5
	11:40 am	4 horas	24		189
	13:40 pm	8 horas			191
	19:40 pm	12 horas			192
26/04/06	07:00 am	23 horas 20 min	22		193
<b>SEGUNDA CARGA (Carga = 196 N)</b>					
26/04/06	07:25 am	0	22	6.27	193
	07:25 am	6 seg			210
	07:25 am	15 seg			212
	07:25 am	30 seg			213.5
	07:26 am	1 min			215
	07:27 am	2 min			216

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>3/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Calculó	: <u>SLGT. MORL</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION  
 (APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LECTURA DEL MICROMETRO
	07:29 am	4 min	23		216.5
	07:33 am	8 min			218.5
	07:40 am	15 min	23		220
	07:55 am	30 min			221.5
	08:25 am	1 hora			224
	09:35 am	2 horas	25		225.5
	11:25 am	4 horas	24		226.4
	15:25 pm	8 horas			231
	19:25 pm	12 horas			231
27/04/06	07:00 am	23 horas 20 min	22		232
<b>TERCERA CARGA (Carga = 392 N)</b>					
27/04/06	07:15 am	0	22	12.54	232
	07:15 am	6 seg	22		248
	07:15 am	15 seg			263
	07:15 am	30 seg			264
	07:16 am	1 min			268
	07:17 am	2 min			270
	07:19 am	4 min			272.5
	07:23 am	8 min			272.5
	07:30 am	15 min			276
	07:45 am	30 min			278
	08:15 am	1 hora	24		280
	09:15 am	2 horas	24		282



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>4/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Calculó	: <u>SLGT. MORL</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION**

**(APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LECTURA DEL MICROMETRO
	11:15 am	4 horas	24		284
	15:15 pm	8 horas			289
	19:15 pm	12 horas			289.5
28/04/06	07:05 am	24 horas	24		291
<b>CUARTA CARGA (Carga = 784 N)</b>					
28/04/06	07:13 am	0	24	25.07	291
	07:13 am	6 seg	22		329
	07:13 am	15 seg			344
	07:13 am	30 seg			346
	07:14 am	1 min			350
	07:15 am	2 min			354
	07:17am	4 min			357
	07:21 am	8 min			360
	07:28 am	15 min			362.5
	07:43 am	30 min			365
	08:13 am	1 hora			368
	09:13 am	2 horas	25		370.5
	11:13 am	4 horas	28		373
	15:13 pm	8 horas	30		377
	19:13 am	12 horas	27		379
27/04/06	07:00 am	23 horas 20 min	23		386

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>5/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Calculó	: <u>SLGT. MORL.</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION  
 (APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LECTURA DEL MICROMETRO
<b>QUINTA CARGA (Carga = 1568 N)</b>					
02/05/06	07:40 am	0	22	50.14	386
	07:40 am	6 seg			462
	07:40 am	15 seg			476
	07:40 am	30 seg			485
	07:41 am	1 min			494.5
	07:42 am	2 min			503
	07:44 am	4 min			509.5
	07:48 am	8 min			516
	07:55 am	15 min	23		521.5
	08:10 am	30 min			527
	08:40 am	1 hora			532
	09:40 am	2 horas	25		536.5
	11:40 am	4 horas	24		-
	13:40 am	8 horas			548
	19:40 am	12 horas			551
03/05/06	07:00 am	24 horas	22		553
<b>SEXTA CARGA (Carga = 3136 N)</b>					
03/05/06	07:21 am	0	22	100.29	553
	07:21 am	6 seg			<b>620</b>
	07:21 am	15 seg			668
	07:21 am	30 seg			7000
	07:22 am	1 min			<b>719</b>
	07:23 am	2 min			735

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>6/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Caluló	: <u>SLGT, MORL</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION  
 (APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LECTURA DEL MICROMETRO
	07:25 am	4 min			748.5
	07:29 am	8 min			761.5
	07:36 am	15 min			771
	07:51 am	30 min			780
	08:21 am	1 hora	24		787
	09:21 am	2 horas	25		794
	11:21 am	4 horas			902
	15:21 pm	8 horas	27		909.5
	19:21 pm	12 horas	27		912
04/05/06	07:00 am	24 horas	25		915
<b>PRIMERA DESCARGA (Carga = 1568 N)</b>					
04/05/06	07:15 am	0	25	50.14	915
	07:15 am	6 seg			898
	07:15 am	15 seg			897
	07:15 am	30 seg			896.5
	07:16 am	1 min			896
	07:17 am	2 min			896
	07:19 am	4 min			895.5
	07:23 am	8 min			895
	07:30 am	15 min			894
	07:45 am	30 min	26		893.5
	08:15 am	1 hora	27		893
	09:15 am	2 horas			892.5

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>7/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Calculó	: <u>SLGT, MORL</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION  
 (APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LECTURA DEL MICROMETRO
	11:15 am	4 horas			891
	15:15 pm	8 horas			890
	19:15 pm	12 horas			890
05/05/06	07:05 am	24 horas	24		890
<b>SEGUNDA DESCARGA (Carga = 784 N)</b>					
05/05/06	07:13 am	0	24	25.07	890
	07:13 am	6 seg	22		876
	07:13 am	15 seg			875
	07:13 am	30 seg			874.5
	07:14 am	1 min			874
	07:15 am	2 min			873.5
	07:17 am	4 min			873
	07:21 am	8 min			872
	07:28 am	15 min			871
	07:43 am	30 min			870
	08:13 am	1 hora			869
	09:13 am	2 horas	25		868
	11:13 am	4 horas	28		866
	15:13 pm	8 horas	30		864.5
	19:13 pm	12 horas	27		863
06/05/06	07:00 am	23 horas 20 min	23		861

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita	: <u>JICA</u>	Hoja No	: <u>8/8</u>
Proyecto	: <u>San Lorenzo</u>	Consolidómetro No	: <u>1</u>
Ensayo No	: <u>1</u>	k micrómetro	: <u>0.0025 mm</u>
Fecha de ensayo	: <u>24/04/06</u>	Calculó	: <u>SLGT, MORL</u>
Método aplicado	: <u>Método A</u>	Condición del ensayo	: <u>Saturada</u>

**REGISTRO DE LECTURAS TIEMPO- DEFORMACION  
 (APLICACIÓN DE CARGAS)**

FECHA	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	T, °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	LECTURA DEL MICROMETRO
<b>TERCERA DESCARGA (Carga = 784 N)</b>					
06/05/06	07:40 am	0	22	25.07	861
	07:40 am	6 seg			802
	07:40 am	15 seg			<b>796</b>
	07:40 am	30 seg			791
	07:41 am	1 min			785
	07:42 am	2 min			778
	07:44 am	4 min			768.5
	07:48 am	8 min			757
	07:55 am	15 min	23		745
	08:10 am	30 min			729
	08:40 am	1 hora			717
	09:40 am	2 horas	25		705
	11:40 am	4 horas	24		692
	13:40 pm	8 horas			677.5
	19:40 pm	12 horas			672
03/05/06	07:00 am	23 horas 20 min	22		667.5



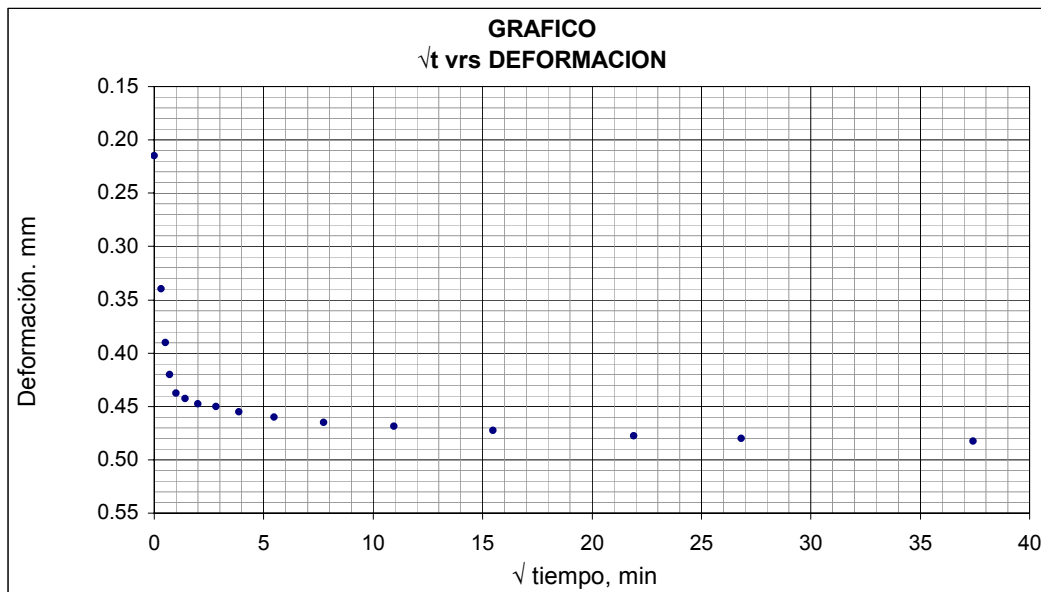
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
 CURVA  $\sqrt{t}$  vrs DEFORMACION**

Solicita : JICA No. de consolidometro : 1  
 Procedencia : San Lorenzo, Apastepeque Fecha : 24/04/2006

<b>PRIMERA CARGA (P = 3.13 kPa)</b>			
Tiempo (min)	Lecturas	Deformación, (mm)	$\sqrt{t}$
0	86	0.22	0.00
0.1	136	0.34	0.32
0.25	156	0.39	0.50
0.5	168	0.42	0.71
1	175	0.44	1.00
2	177	0.44	1.41
4	179	0.45	2.00
8	180	0.45	2.83
15	182	0.46	3.87
30	184	0.46	5.48
60	186	0.47	7.75
120	187.5	0.47	10.95
240	189	0.47	15.49
480	191	0.48	21.91
720	192	0.48	26.83
1400	193	0.48	37.42



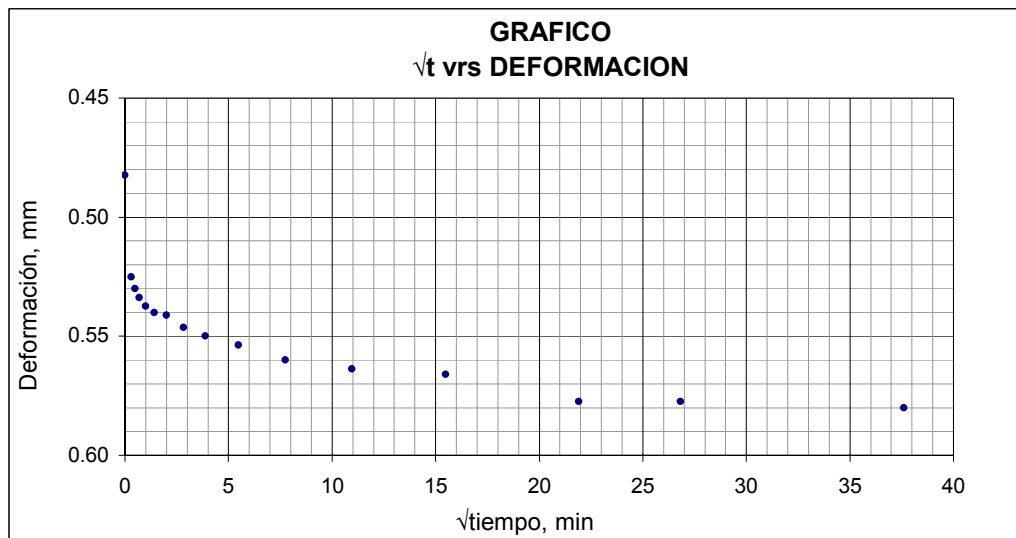
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**“ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA”**



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS**  
**GRAFICA  $\sqrt{t}$  vrs DEFORMACION**

Solicita : JICA No. de consolidometro : 1  
 Procedencia : San Lorenzo, Apastepeque Fecha : 24/04/2006

<b>SEGUNDA CARGA (P = 6.27 kPa)</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Lecturas</b>	<b>Deformación, (mm)</b>	<b><math>\sqrt{t}</math></b>
0	193	0.48	0.00
0.1	210	0.53	0.32
0.25	212	0.53	0.50
0.5	213.5	0.53	0.71
1	215	0.54	1.00
2	216	0.54	1.41
4	216.5	0.54	2.00
8	218.5	0.55	2.83
15	220	0.55	3.87
30	221.5	0.55	5.48
60	224	0.56	7.75
120	225.5	0.56	10.95
240	226.4	0.57	15.49
480	231	0.58	21.91
720	231	0.58	26.83
1415	232	0.58	37.62





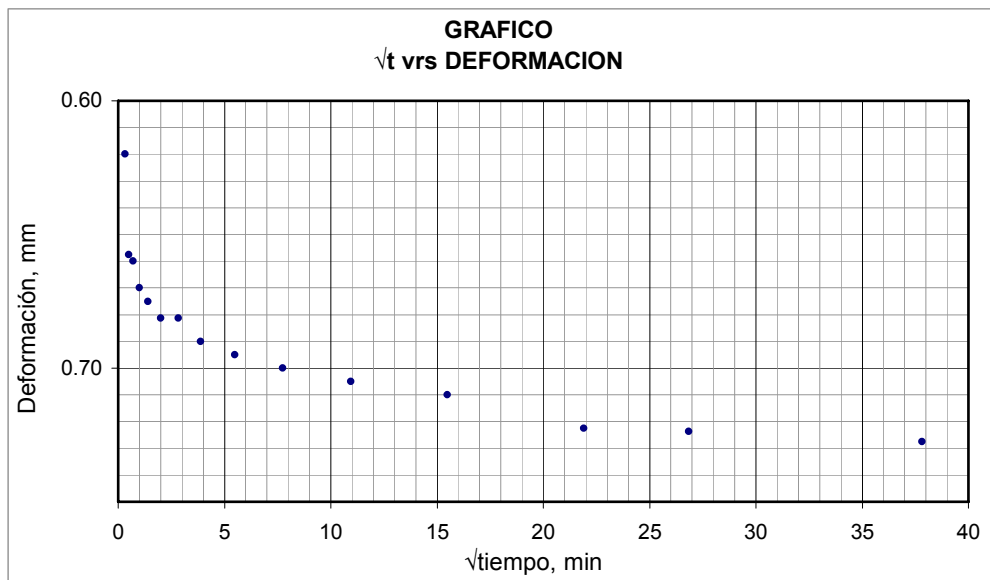
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS**  
**GRAFICA  $\sqrt{t}$  vrs DEFORMACION**

Solicita : JICA No. de consolidometro : 1  
 Procedencia : San Lorenzo, Apastepeque Fecha : 24/04/2006

<b>TERCERA CARGA (P = 12.54 kPa)</b>			
Tiempo (min)	Lecturas	Deformación, (mm)	$\sqrt{t}$
0	232	0.58	0.00
0.1	248	0.62	0.32
0.25	263	0.66	0.50
0.5	264	0.66	0.71
1	268	0.67	1.00
2	270	0.68	1.41
4	272.5	0.68	2.00
8	272.5	0.68	2.83
15	276	0.69	3.87
30	278	0.70	5.48
60	280	0.70	7.75
120	282	0.71	10.95
240	284	0.71	15.49
480	289	0.72	21.91
720	289.5	0.72	26.83
1430	291	0.73	37.82



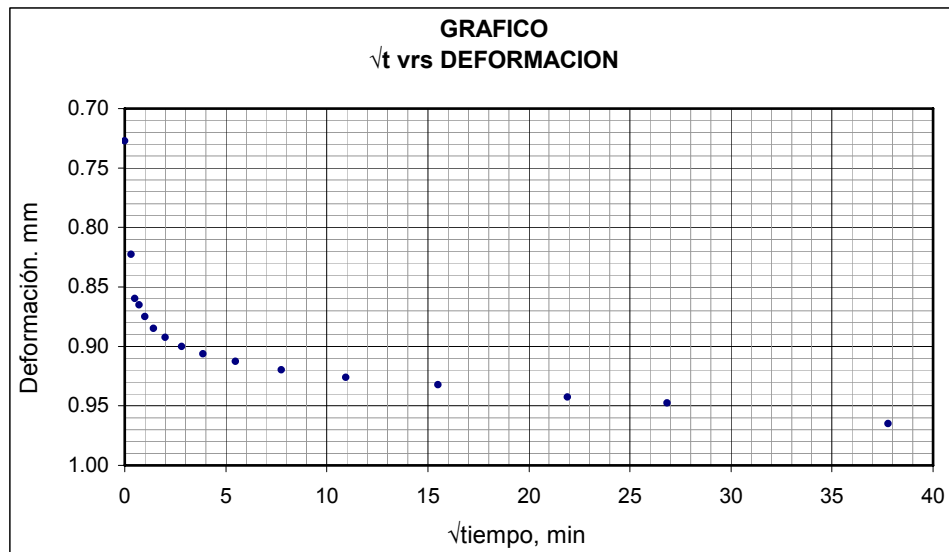
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**“ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA”**



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS**  
**GRAFICA  $\sqrt{t}$  vrs DEFORMACION**

Solicita : JICA No. de consolidometro : 1  
 Procedencia : San Lorenzo, Apastepeque Fecha : 24/04/2006

<b>CUARTA CARGA (P = 25.07 kPa)</b>			
Tiempo (min)	Lecturas	Deformación, (mm)	$\sqrt{t}$
0	291	0.73	0.00
0.1	329	0.82	0.32
0.25	344	0.86	0.50
0.5	346	0.87	0.71
1	350	0.88	1.00
2	354	0.89	1.41
4	357	0.89	2.00
8	360	0.90	2.83
15	362.5	0.91	3.87
30	365	0.91	5.48
60	368	0.92	7.75
120	370.5	0.93	10.95
240	373	0.93	15.49
480	377	0.94	21.91
720	379	0.95	26.83
1427	386	0.97	37.78



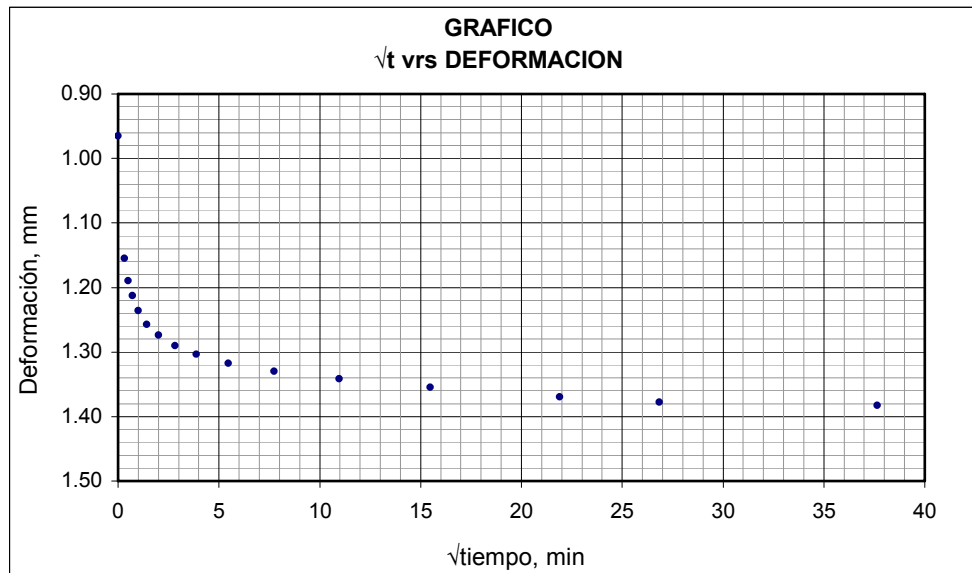
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS**  
**GRAFICA  $\sqrt{t}$  vrs DEFORMACION**

Solicita : JICA No. de consolidometro: 1  
 Procedencia : San Lorenzo, Apastepeque Fecha : 24/04/2006

<b>QUINTA CARGA (P = 50.14 kPa)</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Lecturas</b>	<b>Deformación, (mm)</b>	<b><math>\sqrt{t}</math></b>
0	386	0.97	0.00
0.1	462	1.16	0.32
0.25	476	1.19	0.50
0.5	485	1.21	0.71
1	494.5	1.24	1.00
2	503	1.26	1.41
4	509.5	1.27	2.00
8	516	1.29	2.83
15	521.5	1.30	3.87
30	527	1.32	5.48
60	532	1.33	7.75
120	536.5	1.34	10.95
240	542	1.36	15.49
480	548	1.37	21.91
720	551	1.38	26.83
1417	553	1.38	37.64



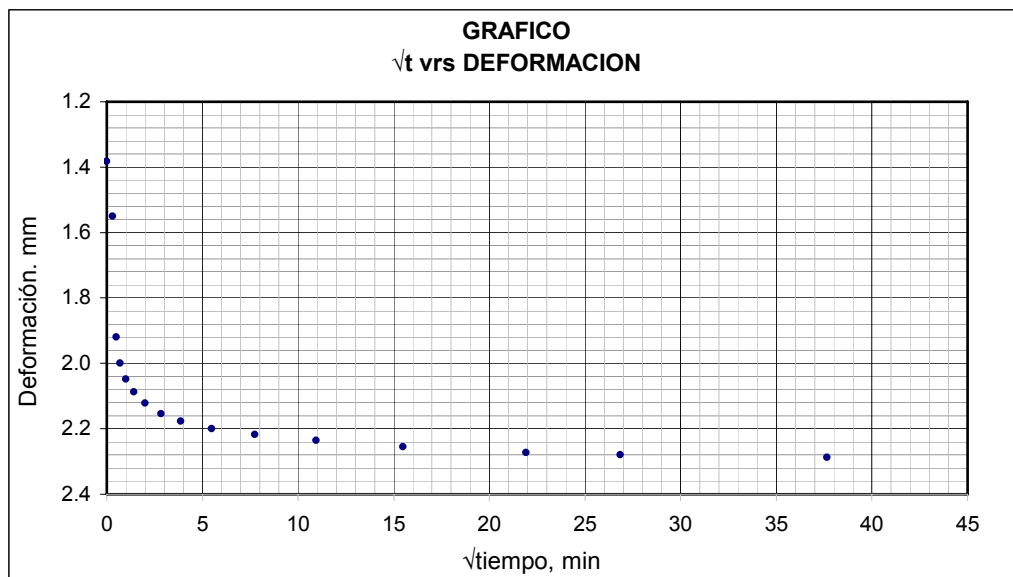
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS**  
**GRAFICA  $\sqrt{t}$  vrs DEFORMACION**

Solicita : JICA No. de consolidometro : 1  
 Procedencia : San Lorenzo, Apastepeque Fecha : 24/04/2006

<b>SEXTA CARGA (P = 100.29 kPa)</b>			
Tiempo (min)	Lecturas	Deformación, (mm)	$\sqrt{t}$
0	553	1.38	0.00
0.1	620	1.55	0.32
0.25	768	1.92	0.50
0.5	800	2.00	0.71
1	819	2.05	1.00
2	835	2.09	1.41
4	848.5	2.12	2.00
8	861.5	2.15	2.83
15	871	2.18	3.87
30	880	2.20	5.48
60	887	2.22	7.75
120	894	2.24	10.95
240	902	2.26	15.49
480	909.5	2.27	21.91
720	912	2.28	26.83
1417	915	2.29	37.64



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"**



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
(BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Altura inicial del espécimen : 2.00 cm  
 Area del espécimen : 31.27 cm<sup>2</sup>  
 $T_{50}$  : 0.197

Altura equivalente de los sólidos : 1.03 cm  
 Relación de vacios inicial : 0.95  
 $K_{\text{anillo de deformación}}$  : 0.0003 cm

Carga, N	PRESION, kPa	Lectura de deformación	Deformación para cada incremento, cm	Altura despues de cada incremento, cm	$\Delta H$ , cm	e	$\epsilon$	$t_{50}$ , s	HD <sub>50</sub>	C <sub>v</sub> cm <sup>2</sup> /seg
		200								
0	0.00	86	0.029	2.029	0.029	0.922	1.43	0.00	0.00	0.00
98	3.13	193	0.027	2.002	0.027	0.924	1.34	9.60	0.99	0.02
196	6.27	232	0.010	1.992	0.037	0.915	1.83	9.60	0.98	0.02
392	12.54	291	0.015	1.977	0.051	0.900	2.56	15.00	0.96	0.01
784	25.07	386	0.024	1.954	0.075	0.877	3.75	5.40	0.94	0.03
1568	50.14	553	0.042	1.912	0.117	0.837	5.84	15.00	0.90	0.01
3136	100.29	915	0.091	1.821	0.207	0.749	10.36	9.60	0.81	0.01
1568	50.14	890	0.006	1.828	0.201	0.755	10.05			
784	25.07	861	0.007	1.835	0.194	0.762	9.69			
0	0.00	667.5	0.048	1.883	0.145	0.809	7.27			

Nota: Los graficos de donde se obtuvo el valor de  $t_{50}$  se presentan en anexo A-1

### CURVA DE COMPRESIBILIDAD

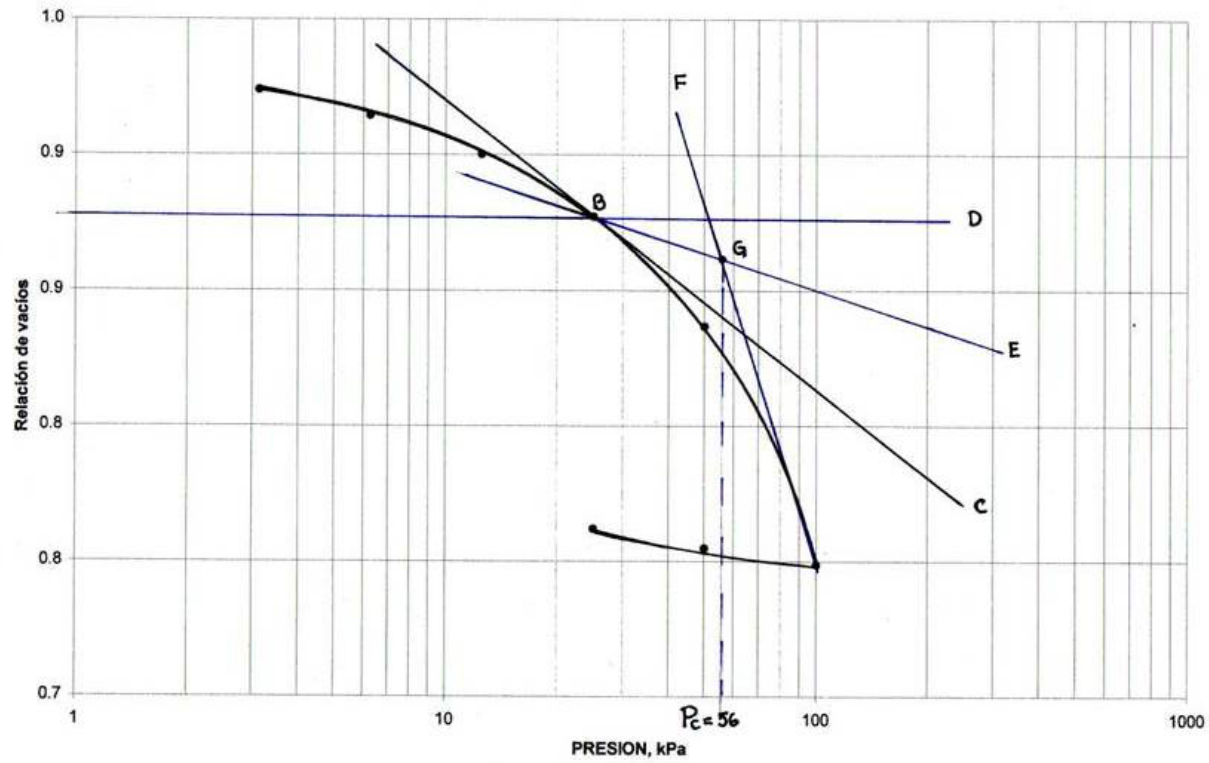


Figura 16.11 Obtención del valor de la carga de Pre-consolidación.

## ENSAYO N° 17

### METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (MÉTODO DE CARGA CONSTANTE) (BASADA EN ASTM D 2434 – 68, REAPROBADA EN 2000)

#### 17.1 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para realizar el ensayo de permeabilidad de Suelos granulares (Carga Constante), conforme a la norma ASTM D 2434-68.
- ❖ Determinar el coeficiente de permeabilidad por medio del método de carga constante para el flujo laminar de agua a través de los suelos granulares.

#### 17.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

D 2434 Método del método de ensayo para la permeabilidad de suelos granulares (carga constante)

D 653 Norma de la terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.

D 422 Método de ensayo para el análisis del tamaño de las partículas de suelos.

#### 17.3 Definiciones:

##### ***Permeabilidad:***

Es la capacidad que tiene una roca para conducir líquido o gas. Es medida como la constante de proporcionalidad,  $k$ , entre la velocidad de flujo ( $v$ ) y el gradiente hidráulico ( $I$ ), donde  $v = k \times I$ .

##### ***Coefficiente de permeabilidad, $k$ :***

Es la velocidad de descarga de agua bajo condiciones de flujo laminar a través de una unidad de área de sección transversal de un medio poroso bajo una unidad de gradiente hidráulico y condiciones de temperatura estándar (usualmente 20 °C).

##### ***Suelo:***

Son sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, las cuales podrían o no contener materia orgánica.

***Material granular:***

Es una acumulación de partículas sólidas manipuladas en cantidades suficientes, cuyas características pueden ser descritas por las propiedades de la masa de las partículas en lugar de las características de cada partícula individual. También puede ser referido como material granular, el particulado sólido o polvo. Como por ejemplo: polvo fino de roca, mineral y carbón.

**17.4 Alcances:**

- Este método de ensayo cubre la determinación del coeficiente de permeabilidad por medio del método de carga constante para el flujo laminar del agua a través de los suelos granulares.
- El procedimiento de este ensayo consiste en establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares, los cuales pueden encontrarse en los depósitos naturales colocados en terraplenes o al utilizarlos como capa de base en los pavimentos.
- Este procedimiento se limita a ensayar suelos granulares alterados que no contengan más del 10 % de suelo que pasa el tamiz No 200 (75  $\mu\text{m}$ ); con el fin de limitar las influencias de consolidación durante el ensayo.

**17.5 Resumen de método:**

- Este método de ensayo consiste en colocar dentro de un permeámetro de forma cilíndrica, un espécimen de suelo; el cual es drenado para la extracción del aire contenido en él. Posteriormente se continúa suministrando agua de tal manera que la diferencia de carga entre la entrada y la salida de agua del manómetro permanezca constante. Luego que se ha establecido la carga constante, es determinado el tiempo, la carga, la cantidad de flujo y la temperatura del agua en el espécimen.

**17.6 Aplicación e importancia del método:**

- El ensayo de permeabilidad de carga constante se utiliza principalmente para suelos de granos gruesos, ya que en suelos de grano fino las medidas de flujo a través del suelo son muy pequeñas y el tiempo de ensayo es tan largo que deja de ser práctico.
- La determinación de la permeabilidad es necesaria para los cálculos de la filtración a través de presas de tierra, cálculo de la velocidad de la filtración en desechos



almacenados (rellenos, lagunas, etc) y en el cálculo de la velocidad de sedimentación de depósitos en suelos arcillosos.

### 17.7 Material y equipo:

- *Muestra de suelo:*

Representativa de campo y en condición “secada al aire”.

- *Agua:*

Destilada o desmineralizada.

- *Permeámetro:*

Consiste en un dispositivo que deberá contener especímenes cilíndricos con diámetros mínimos de aproximadamente 8 o 12 veces el tamaño máximo de la partícula y deberá seleccionarse para el ensayo, de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 17.1. Diámetro mínimo del cilindro (permeámetro) según el tipo de suelo a ensayar.**

Tamaño máximo de partícula que se retiene entre las aberturas de malla	Diámetro mínimo del cilindro			
	Menos de 35% del suelo total es retenido en la abertura de malla		Más de 35% es retenido en la abertura de malla	
	No 10 (2.00 mm)	3/8" (9.5 mm)	No 10 (2.00 mm)	3/8" (9.5 mm)
No 10 (2.00 mm) y 3/8" (9.5 mm)	3" (76 mm)		4.5" (114 mm)	
3/8" (9.5 mm) y 3/4" (19 mm)		6" (152 mm)		9" (229 mm)

Fuente: Norma ASTM D 2434-68, volumen 04.08 (American Society for Testing and Materials).

Además, el permeámetro deberá estar equipado con:

- a) Un disco poroso o un tamiz reforzado en el fondo, que posea una permeabilidad mayor que la del espécimen, pero con aberturas suficientemente pequeñas (no mayores que el 10 % del tamaño más fino) para prevenir la transferencia de partículas.
- b) Conexiones de salida del manómetro, para medir la pérdida de carga (h), sobre una longitud (L), equivalente al menos al diámetro del cilindro.
- c) Un disco poroso o tamiz reforzado con un resorte sujeto a la parte superior o cualquier otro dispositivo para la aplicación de una ligera presión de resorte de 22 a 45 N (5 a 10 lbf) de la carga total, cuando la placa superior es sujeta en su lugar.

Nota: La aplicación de la presión del resorte, mantendrá la densidad colocada y el volumen del suelo sin cambio significativo durante la saturación del espécimen y el ensayo de permeabilidad.

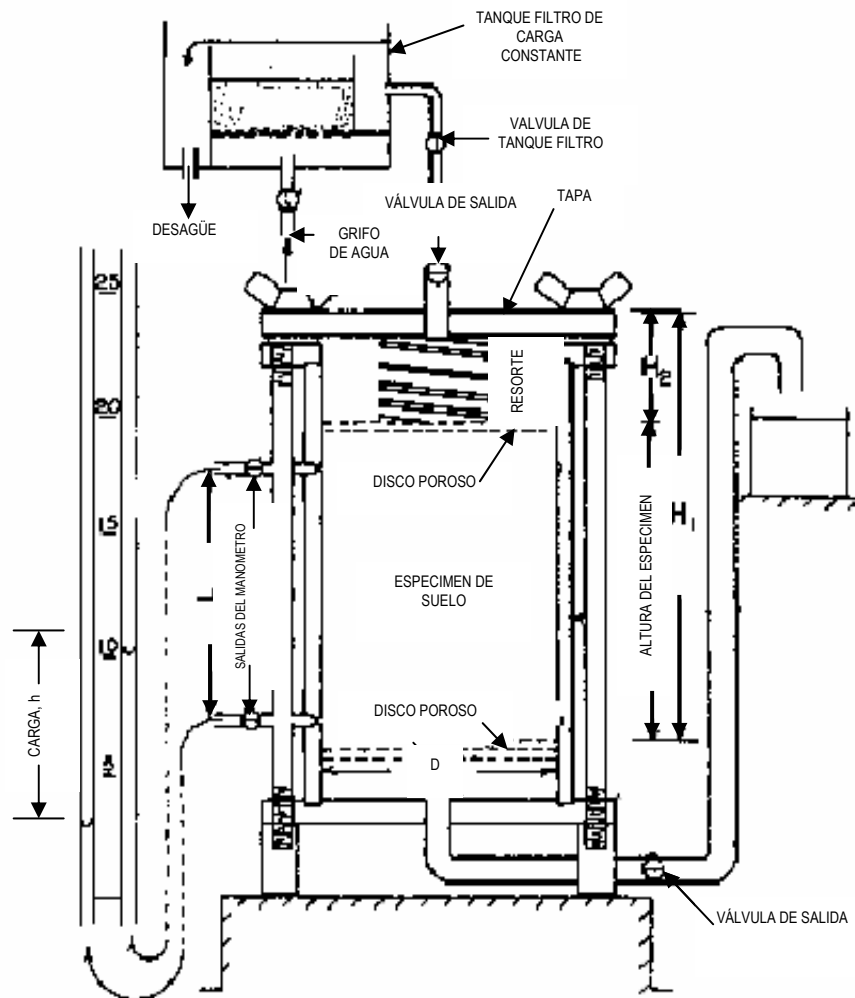


Figura 17.1 Permeámetro de carga constante

- *Tanque filtro de carga constante:*

Para suministrar agua y remover la mayor cantidad de aire del agua del grifo, ajustado con válvulas de control apropiadas para satisfacer las condiciones fundamentales del ensayo.

Nota: Si se prefiere puede ser usada agua desaireada.

- *Embudos grandes:*

Equipados con boquillas cilíndricas especiales de 25 mm (1 pul) de diámetro para un tamaño máximo de partículas de 9.5 mm (3/8 pul); y de 13 mm (1/2 pul) de diámetro para un tamaño máximo de 2.00 mm (No 10).

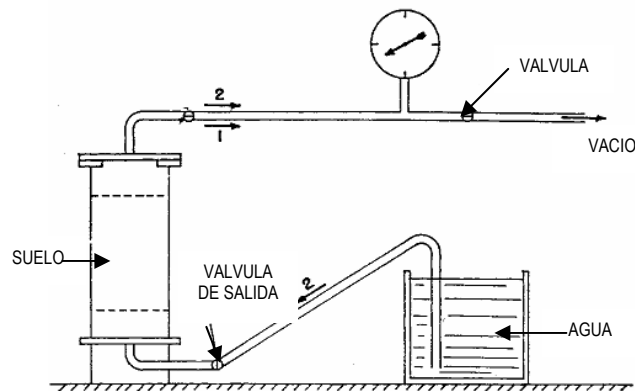
La longitud de la boquilla deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad, por lo menos 150 mm (6 pul).

- *Equipo de compactación del espécimen:*

Se recomienda la utilización del equipo siguiente: un compactador vibratorio o de impacto con un apisonador de cara circular plana de 51 mm (2 pul) de diámetro; una barra con un peso de 100 g (0.25 lb) para las arenas, con una altura de caída ajustable de 102 mm (4 pul) y de 1 kg (2.25 lb) para suelos con un alto contenido de grava, con una altura de caída ajustable de 203 mm (8 pul).

- *Bomba de vacío o aspirador de agua del grifo:*

Para la evacuación y saturación de los especímenes de suelo, bajo un vacío completo (ver figura 17.2).



**Figura 17.2** Sistema para evacuación y saturación del espécimen en el ensayo de permeabilidad

- *Tubos de manómetro:*

Que contengan escalas métricas para medir la carga de agua.

- *Balanza:*

Con capacidad de 2 kg (4.4 lb) y sensible a 1 g (0.002 lb).

- *Misceláneos:*

Termómetro, cronómetro, probeta graduada con capacidad de 250 ml, cucharón con una capacidad de aproximadamente 100 g (0.25 lb) de suelo, recipiente para mezclado (bandeja).Figura 17.3



**Figura 17.3** Equipo utilizado en el ensayo para la determinación de la permeabilidad: a) cilindro de permeabilidad, b) discos porosos, c) vernier, d) termómetro, e) resorte, f) tapa del cilindro de permeabilidad, g) embudo.

## 17.8 Procedimiento:

### 17.8.1 *Condiciones fundamentales del ensayo:*

Las siguientes consideraciones ideales de ensayo son requerimientos para lograr el flujo laminar del agua a través de suelos granulares, bajo las condiciones de carga constante:

- Continuidad del flujo sin que ocurra cambio de volumen del suelo durante el ensayo.
- Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire en éstos.
- Flujo en estado constante sin que ocurran cambios en el gradiente hidráulico.
- Proporcionalidad directa de la velocidad del flujo con el gradiente hidráulico bajo ciertos valores, cerca de los cuales inicia el flujo turbulento.

Nota: Dado que todos los otros tipos de flujo que involucran una saturación parcial de los vacíos en el suelo, flujo turbulento y un estado variable del mismo, son temporales en su

naturaleza y cambiantes en campo y que los coeficientes de permeabilidad dependen del tiempo, éstos requieren procedimientos y condiciones de ensayo especiales.

#### *17.8.2 Preparación y selección de la muestra para ensayo:*

1. Tome la muestra de suelo representativa de campo y séquela al aire.
2. Reduzca la muestra de suelo por el método de cuarteo a una cantidad adecuada, de tal manera que ésta sea la suficiente para realizar el análisis del tamaño de las partículas (ver Método D 422, ensayo No. 6) y el ensayo de permeabilidad.

Notas:

- Un ensayo completo del análisis del tamaño de la partícula del suelo, deberá realizarse previo a la ejecución del ensayo de permeabilidad.
  - Si la muestra representativa de suelo contiene partículas que se retienen en la malla  $\frac{3}{4}$ " (19 mm), éstas no deberán ser usadas en el ensayo de permeabilidad, sin embargo; registre el porcentaje de dicho material en la hoja de datos correspondiente.
  - En relación a establecer valores representativos de coeficientes de permeabilidad para el rango que pudiera existir en la situación investigada, muestras des suelos más finos, gruesos podrían ser obtenidos para el ensayo.
3. Tome (por el método de cuarteo) del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$  pul (19 mm), una muestra para realizar el ensayo, aproximadamente una cantidad igual al doble de la requerida para llenar la cámara del permeámetro.

#### *17.8.3 Preparación de especímenes:*

4. Seleccione el tamaño del permeámetro a utilizar de acuerdo a la Tabla 17.1, (ver apartado 17.5); el cual está en función del porcentaje de suelo que se retiene en un tamiz específico y del tamaño máximo de las partículas retenidas en ellos,
5. Tome las medidas iniciales del diámetro interno del permeámetro ( $D$ ), la longitud entre las boquillas del manómetro ( $L$ ) y la altura  $H_1$ , en cm. Posteriormente, regístrelas en la hoja de datos correspondiente.

Notas:

- La altura  $H_1$  deberá ser medida en cuatro puntos simétricamente espaciados, desde la superficie externa de la placa superior del cilindro de permeabilidad hasta la parte de arriba del disco poroso o tamiz reforzado, colocado temporalmente sobre la placa inferior del permeámetro. Lo anterior automáticamente resta el espesor de la placa porosa superior de

las medidas de la altura, utilizadas para determinar el volumen del suelo que es colocado en el cilindro de permeabilidad.

- Use un duplicado de la placa superior que contenga cuatro aberturas grandes simétricamente espaciadas, a través de las cuales se pueden realizar las medidas necesarias para determinar el valor promedio de  $H_1$ .

6. Tome una porción pequeña de la muestra seleccionada en el apartado 17.6.2, literal 3 y determine su contenido de humedad, según el método de ensayo D 2216.
7. Determine el peso del suelo remanente de la muestra y regístrelo. Posteriormente determine su peso unitario  $W_1$ .
8. Coloque el suelo en capas delgadas y uniformes (aproximadamente iguales en su espesor), por medio de uno de los siguientes procedimientos:

Notas:

- Coloque la muestra de suelo en una bandeja y mézclelo totalmente cada vez que vaya a colocar una capa, con el objetivo de reducir la segregación causada al tomar el suelo.
- Después de la compactación de cada capa de suelo el espesor de la capa deberá ser igual al tamaño máximo de las partículas, pero no menor de aproximadamente 15 mm (0.60 pul).

*8.1 Suelos que poseen un tamaño máximo de partícula de 9.5 mm (3/8 pul) o menor:*

- a) Tome un embudo de tamaño apropiado (ver apartado 17.5) y colóquelo en el permeámetro con la boquilla en contacto con la parte inferior de la placa porosa (o tamiz) o con la capa de suelo previamente colocada.
- b) Tome suficiente suelo de la muestra de diferentes áreas de la bandeja y llene el embudo para formar una capa.
- c) Levante el embudo a una altura de 15 mm (0.60 pul) o aproximadamente el espesor de la capa sin compactar que se formará (ver figura 17.3) y distribuya el suelo con un movimiento de espiral en forma lenta, trabajando desde el perímetro del permeámetro hacia el centro, hasta que se forme una capa uniforme.



**Figura 17.4** Colocación de la capa de suelo en el Permeámetro, utilizando un embudo en la realización del ensayo de permeabilidad.

- d) Mezcle nuevamente el suelo restante en la bandeja y proceda a formar la nueva capa a compactar; de igual manera que el paso anterior, hasta formar el espécimen en el permeámetro. Posteriormente proceda con el paso 9.

8.2 *Suelos que poseen un tamaño máximo de la partícula mayor de 9.5 mm (3/8 pul):*

- a) Extienda uniformemente el suelo con un cucharón en una posición casi horizontal hacia abajo, a lo largo de la superficie interna en el fondo del permeámetro o de la capa formada, luego incline el cucharón y deslícelo hacia el centro con solo un movimiento lento, permitiendo que el suelo resbale suavemente evitando segregación.
  - b) Gire el cilindro de permeabilidad lo suficiente para colocar las siguientes cucharadas de suelo y forme una capa compacta y uniforme alrededor del perímetro interno de igual espesor que el tamaño máximo de las partículas. Posteriormente proceda con el paso 9.
9. Compacte las capas subsiguientes de suelo hasta obtener la densidad relativa deseada y llegar a una altura de aproximadamente 2 cm (0.8 pul) arriba de la salida superior del manómetro, utilizando uno de los procedimientos siguientes:

9.1 *Densidad mínima (0% densidad relativa):*

- a) Coloque las capas subsiguientes de suelo por medio de uno de los procedimientos descritos en 8.1 ó 8.2, hasta llenar el permeámetro al nivel apropiado.

9.2 *Densidad máxima (100% densidad relativa):*

9.2.1 Compactación por medio de apisonador vibratorio:

- a) Compacte completamente cada capa de suelo con un apisonador vibratorio, distribuyendo uniformemente la acción ligera de apisonado sobre la superficie de la capa en una forma regular.

Nota: La presión de contacto y la duración del tiempo de la acción vibrante en cada punto, no deberá causar la salida de suelo por debajo de las orillas de la zapata del apisonador, ya que se tiende a disminuir el espesor de la capa.

- b) Realice un número suficiente de pasadas para producir la densidad máxima.

Nota: Esto es evidenciado por un movimiento prácticamente no visible de las partículas en la superficie adyacente a las orillas del vibrador.

9.2.2 Compactación con apisonador de impacto:

- a) Compacte completamente cada capa de suelo, apisonando con golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa.



**Figura 17.5** Compactación de la capa de suelo colocada en el permeámetro utilizando un apisonador, en el ensayo de permeabilidad.

- b) Ajuste la altura de caída del apisonador y proporcione suficientes golpes para producir la densidad máxima, dependiendo del grosor y contenido de grava del suelo.



### 9.2.3 Compactación utilizando otros métodos:

- a) Compacte el suelo por medio de otros métodos aceptados, tales como un equipo compactador vibratorio, donde se debe tener el cuidado de obtener un espécimen uniforme, sin segregación de los tamaños de partículas.

### 9.3 Densidad intermedia relativa entre 0% y 100%:

- a) Ajuste la compactación para obtener valores reproducibles de la densidad relativa por cada ensayo, en un recipiente por separado con igual diámetro que el cilindro de permeabilidad.
- b) Compacte el suelo en el cilindro de permeabilidad utilizando los procedimientos anteriormente descritos, en capas delgadas hasta una altura de aproximadamente 2.0 cm (0.80pul) arriba de la conexión de salida superior del manómetro.

Nota: Para asociar sistemática y representativamente las condiciones de densidad relativa que podrían encontrarse en los depósitos naturales o en los terraplenes compactados, se deben realizar una serie de ensayos de permeabilidad para agrupar el rango de las densidades relativas de campo.

### 17.8.4 Ensamble del espécimen para el ensayo de permeabilidad:

10. Nivele la superficie superior del suelo, colocándole y rotando suavemente hacia delante y atrás la placa porosa o tamiz.



**Figura 17.6** Colocación de la placa porosa sobre el suelo compactado en la realización del ensayo de permeabilidad.

11. Mida y registre la profundidad  $H_2$ , desde la superficie superior de la placa perforada utilizada para medir  $H_1$ , hasta la parte superior de la placa porosa o tamiz en cuatro puntos simétricamente espaciados, después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o tamiz durante la toma de las medidas.
12. Registre la altura final del espécimen,  $H_1 - H_2$ , tal como se muestra en el esquema de la figura 17.1
13. Determine el peso final del suelo secado al aire usado en el ensayo ( $W_1 - W_2$ ), tomando el peso del suelo remanente en la bandeja,  $W_2$ .
14. Coloque el empaque en la parte superior del permeámetro y presione la placa superior hacia abajo contra el resorte, sujételo y asegúrelo firmemente a la parte superior del cilindro de permeabilidad, para hacer un sello hermético.
15. Remueva el aire adherido a las partículas de suelo y en los vacíos, utilizando una bomba de vacío o un aspirador conveniente y desaireando el espécimen bajo una carga mínima de 50 cm (20") de Hg, durante 15 min.

Nota: El extraer el aire hará mantener la densidad inicial del suelo.

16. Continúe el desaireado del espécimen por medio de una saturación lenta desde el fondo hacia arriba, bajo un vacío total para extraer cualquier aire restante en él. Mantenga la saturación controlada del espécimen de la manera más adecuada, empleando:

- 1) Agua desaireada o

- 2) Agua mantenida en un flujo de temperatura suficientemente alta para causar un descenso en el gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo.

Nota: Adicionalmente, agua natural o agua con un contenido mineral bajo podría emplearse para este ensayo, pero en el caso de utilizar otro fluido, éste deberá ser reportado en el informe. El agua natural es aquella que surge de las rocas o suelos en el sitio y podría ser usada si fuera posible (así como el agua desaireada), sin embargo este refinamiento no es factible para ensayos a gran escala.

17. Cierre la válvula de la conexión de salida del tubo, ubicada en la base y desconecte el desaireado después de que el espécimen ha sido saturado y el permeámetro esté lleno de agua.

Nota: Deberá tenerse el cuidado de asegurar que el sistema de flujo de permeabilidad y el sistema de manómetro estén libres de aire y trabajando correctamente.

18. Llene el tubo de entrada con agua del tanque de la carga constante, abriendo ligeramente la válvula del tanque filtro. Luego, conecte este tubo a la tapa superior del permeámetro, abra ligeramente la válvula de entrada y las salidas del manómetro, de manera que el agua fluya y libere el aire.
19. Conecte los tubos del manómetro a las salidas del mismo en el permeámetro y llene con agua para remover el aire.
20. Cierre la válvula de entrada y abra la válvula de salida permitiendo que el agua en los tubos del manómetro alcancen su nivel de agua estable bajo una carga cero.

#### 17.8.5 Realización del ensayo:

21. Abra ligeramente la válvula de entrada desde el tanque filtro para el primer recorrido del flujo, de tal manera que éste sea constante, sin cambios en el gradiente hidráulico.



**Figura 17.7** Montaje del permeámetro para la realización del ensayo de la permeabilidad.

22. Retrase las medidas de la cantidad de flujo y de calor hasta obtener una condición de carga estable, sin desplazamiento apreciable en los niveles de agua en el manómetro.
23. Mida y registre el tiempo,  $t$ , la carga,  $h$  (la diferencia en el nivel en los manómetros), la cantidad de flujo,  $Q$  y la temperatura del agua,  $T$ .



**Figura 17.8** Medición del volumen de agua utilizando una probeta graduada en el ensayo de permeabilidad.

24. Repita las mediciones de recorridos de flujo en incrementos de carga de 0.5 cm para establecer aproximadamente la región de flujo laminar con la velocidad,  $v$  (donde  $v = Q/At$ ), directamente proporcional al gradiente hidráulica,  $i$  (donde  $i = h/L$ ).

Notas:

- Cuando las desviaciones de la relación lineal se vuelven evidentes, indicando el inicio de las condiciones de flujo turbulento, intervalos de 1 cm de carga, pueden ser usados para llevar a cabo un ensayo suficiente, a lo largo de la región de flujo turbulento, para definir si esta región es significativa para las condiciones de campo.
  - Valores mucho más bajos del gradiente hidráulico,  $h/L$ , son requeridos que generalmente reconocidos para asegurar las condiciones del flujo laminar. Los valores siguientes son sugeridos: valores de compactación suelta,  $h/L$  de 0.2 a 0.3 y valores densos de compactación,  $h/L$  de 0.3 a 0.5, valores más bajos de  $h/L$  se aplican a suelos más gruesos y valores más altos a suelos más finos.
25. Drene el espécimen cuando se complete el ensayo de permeabilidad, inspecciónelo para establecer si se comportó esencialmente con carácter homogéneo e isotrópico; así como observe cualquier marca horizontal alterna entre clara u oscura o si se evidencia segregación de finos en las capas.

### 17.9 Cálculos:

17.9.1 Calcule el área de la sección transversal del espécimen,  $A$ .

$$A = \pi \times \frac{(d)^2}{4} \quad \text{Ec. 17.1}$$

Donde:

$A$  = Área del espécimen de ensayo, en  $\text{cm}^2$ .

$d$  = Diámetro del espécimen,  $\text{cm}$

17.9.2 Calcule y registre los pesos unitarios, relación de vacíos y la densidad relativa del espécimen de ensayo.

17.9.3 Calcule el coeficiente de permeabilidad,  $k$ , como sigue:

$$k = \frac{Q \times L}{A \times t \times h} \quad \text{Ec.17.2}$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de permeabilidad,  $\text{cm/s}$

$Q$  = Cantidad de agua descargada,  $\text{cm}^3/\text{s}$

$L$  = Distancia entre las salidas del manómetro,  $\text{cm}$

$A$  = Área de sección transversal del espécimen,  $\text{cm}^2$

$t$  = Tiempo total de descarga,  $\text{s}$

$h$  = Diferencia de la carga en los tubos de manómetro,  $\text{cm}$ .

17.9.4 Corrija la permeabilidad para  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ) multiplicando el valor de  $k$  obtenido anteriormente por la proporción de la viscosidad del agua a temperatura de ensayo a la viscosidad del agua a los  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ), utilizando la siguiente ecuación:

$$k_{20} = k_e \frac{\eta_e}{\eta_{20}} \quad \text{Ec. 17.3}$$

Donde:

$k_{20}$  = Coeficiente de permeabilidad a la temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{cm/s}$

$k_e$  = Coeficiente de permeabilidad a la temperatura,  $\text{cm/s}$

$\eta_e$  = Viscosidad del agua a temperatura de ensayo, utilizando la tabla

$\eta_{20}$  = Viscosidad del agua a la temperatura de 20 °C, utilizando la tabla 17.2.

**Tabla 17.2 Propiedades del agua destilada ( $\eta$  = absoluta)**

Temperatura (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad (g/cm-s)
4	1.00000	0.01567
16	0.99897	0.01111
17	0.99880	0.01083
18	0.99862	0.01056
19	0.99844	0.01030
20	0.99823	0.01005
21	0.99802	0.00981
22	0.99780	0.00958
23	0.99757	0.00936
24	0.99733	0.00914
25	0.99708	0.00894
26	0.99682	0.00874
27	0.99655	0.00855
28	0.99627	0.00836
29	0.99598	0.00818
30	0.99568	0.00801

Fuente: Manual de laboratorio de Joseph E. Bowles

**17.10 Ejemplo:**

**Datos:**

Diámetro del espécimen = 6.28 cm

Longitud del espécimen = 11.62 cm

Temperatura del agua = 27 °C

Agua descargada = 30 cm<sup>3</sup>

17.10.1 Cálculo del área de la sección transversal del espécimen,  $A$ , usando la ecuación 17.1.

$$A = \pi \times \frac{(6.28)^2}{4}$$

$$A = 30.97 \text{ cm}^2$$

17.10.2 Cálculo del coeficiente de permeabilidad,  $k$ , utilizando la ecuación 17.2.

$$k = \frac{30 \times 11.62}{30.97 \times 5.39 \times 91}$$

$$k = 0.0229 \text{ cm/s}$$

$$k = 2.29 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

17.10.3 Cálculo de la corrección de la permeabilidad para 20 °C (68 °F) utilizando la ecuación 17.3 y el valor de la viscosidad del agua según la tabla 17.2:

$$k_{20} = 0.0229 \times \frac{0.99655}{0.99823}$$

$$k_{20} = 0.0229 \text{ cm/s}$$

$$k_{20} = 2.29 \times 10^{-2} \text{ cm / s}$$

#### 17.11 Cuestionario:

- ❖ Defina el término Coeficiente de permeabilidad, según la norma ASTM D 653-02
- ❖ Mencione uno de los alcances del método de ensayo para la determinación de la permeabilidad de un suelo.
- ❖ Diga qué aplicaciones tiene el ensayo de permeabilidad de un suelo.
- ❖ Defina la ecuación del cálculo de la permeabilidad para 20 °C.

#### 17.12 Contenido del reporte:

El informe del ensayo de permeabilidad incluirá la información siguiente:

- ❖ Nombre del proyecto, fecha, número de la muestra, ubicación y profundidad.
- ❖ Análisis del tamaño del grano, clasificación, tamaño máximo de la partícula y el porcentaje del material de sobretamaño que no se utilizó.
- ❖ Peso unitario seco, relación de vacío, densidad relativa y las densidades máximas y mínimas.
- ❖ Curvas del ensayo que trazan la velocidad,  $Q/At$  vrs el gradiente hidráulico,  $h/L$ , cubriendo los rangos de identificación del suelo y las densidades relativas.





## ENSAYO No. 18

### MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA DE PENETRACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS CON BARRENO PARTIDO (BASADA EN ASTM D 1586-99)

#### 17.11 Objetivos:

- ❖ Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar en el ensayo de penetración estándar y muestreo de suelos utilizando un barreno partido según la norma ASTM D 1586-99.
- ❖ Conocer el manejo del equipo utilizado en la realización del ensayo de penetración estándar.
- ❖ Obtener una medida de la resistencia del suelo a la penetración del muestreador a una profundidad determinada.

#### 18.2 Documentos de referencia:

Normas ASTM

- |        |  |
|--------|--|
| D 653  | Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.                                     |
| D 1586 | Método de ensayo estándar para la prueba de penetración y muestreo de suelo con barreno partido. |
| D 2488 | Práctica para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento Visual - Manual)          |
| D 4220 | Práctica para la preservación y transporte de muestras de suelo.                                 |

#### 18.3 Definiciones:

***Resistencia a la penetración (Resistencia de penetración estándar):***

Es el número de golpes de un martillo de peso especificado y con una distancia de caída establecida, requerida para producir una penetración dada en el suelo de un pilote, tubería de revestimiento o tubo muestreador.

***Yunque:***

Es la porción del peso de perforación ensamblado que golpea el martillo y a través del cual la energía del martillo es transmitida a las barras de perforación.

***Cabrestante (Guinche):***

Es un tambor rotatorio o molinete del sistema de elevación cuerda-cabrestante, alrededor del cual el operador enrolla una cuerda para levantar y dejar caer el martillo con vueltas sucesivas de tensado y aflojado de la misma alrededor del tambor.

***Barras de perforación:***

Son barras usadas para transmitir la fuerza hacia abajo y el torque al barreno mientras éste perfora.

***Ensamblaje del peso de perforación:***

Es un dispositivo consistente de un martillo, una guía para la caída de éste, un yunque y algún sistema de caída del martillo.

***Martillo:***

Es la porción del ensamblaje del peso de perforación, consistente en un peso de impacto de  $63.5 \pm 1\text{Kg}$  ( $140 \pm 2\text{ lb}$ ); el cual es sucesivamente levantado y dejado caer para proveer la energía que permite realizar el muestreo y la penetración.

***Sistema de caída del martillo:***

Es la porción del ensamblaje del peso de perforación, por el cual el operador logra levantar y dejar caer el martillo para producir el golpe.

***Guía de la caída del martillo:***

Parte del ensamblaje del peso de perforación usado para guiar la caída del martillo, la cual debe ser de 30 pulg (0.76 m).

***Valor N***

Es la representación del número de golpes de la resistencia a la penetración del suelo. El valor de N reportado en golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el muestreador sobre un intervalo de profundidad de 6 a 18 pulg (150 a 450 mm).

***AN:***

Es el número de golpes obtenido de cada intervalo de 6 pulg (150 mm) de penetración del muestreador.

***Número de vueltas de la cuerda:***

Es el ángulo total de contacto entre la cuerda y el cabrestante cuando se comienza a aflojar la cuerda para la caída del martillo, dividido entre 360°.

***Barras muestreadoras:***

Son barras que conectan el ensamblaje del peso de perforación al muestreador. Las barras de perforación son a menudo utilizadas para este propósito.

***SPT:***

Abreviatura para el Ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test), es un término por el cual los ingenieros comúnmente se refieren a este método.

**18.4 Alcances:**

- Este método de ensayo describe el procedimiento, generalmente conocido como Ensayo de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés), para el hincamiento de un muestreador cilíndrico partido para obtener una muestra representativa de suelo y una medida de la resistencia del suelo a la penetración del muestreador.

**18.5 Resumen del método:**

Un cilindro partido es enroscado al extremo de una barra de perforación haciéndolo que penetre en el suelo por medio de golpes proporcionados por un martinete hueco de 63.5 kg (140 lb); el cual es guiado por una barra en un trípode y dejado caer desde una altura de 76 cm (30 pulg), registrándose el número de golpes necesarios para que el cilindro partido penetre en el suelo 15 cm (6 pulg), posteriormente el cilindro partido se retira extrayendo la muestra de suelo (para su estudio) del interior del agujero.

## **18.6 Aplicación e importancia del método:**

- Por medio de este método de ensayo se obtiene una muestra de suelo para propósitos de identificación y ensayos apropiados de laboratorio para suelos obtenidos de un muestreador, que podría producir grandes deformaciones de corte en la muestra alterada.
- Este método de ensayo es usado extensivamente en una gran variedad de proyectos de exploración geotécnica. Muchas correlaciones locales y ampliamente publicadas están disponibles, las cuales relacionan el número de golpes de SPT o el valor  $N$  y el comportamiento ingenieril de terraplenes y fundaciones.

## **18.7 Material y equipo:**

### *18.7.1 Equipo de perforación:*

Proporciona a la vez del muestreo una adecuada apertura libre del agujero antes de la inserción del muestreador y asegura que el ensayo de penetración está siendo realizado en un suelo inalterado. Las siguientes piezas del equipo deben ser provistas para un adecuado avance del agujero en algunas condiciones subsuperficiales:

#### *18.7.1.1 Barrenos de dragado, picado o cola de pescado:*

Menores que 162 mm (6.5 pulg) y mayores que 56 mm (2.2 pulg) de diámetro, pueden ser usados en conjunto con taladros rotatorios o métodos de perforación encamisados de avance para la apertura del agujero.

#### *18.7.1.2 Barreno de rodillo cónico*

Con un diámetro menor que 162 mm (6.5 pulg) y mayor que 56 mm (2.2 pulg), pueden ser usados junto con taladros rotatorios o métodos de perforación encamisados de avance para la apertura del agujero, si la descarga del fluido de perforación es desviado.

#### *18.7.1.3 Barreno de aspa para la abertura de agujeros continuos,*

Su diámetro interno debe ser menor que 162 mm (6.5 pulg) y mayor que 56 mm (2.2 pulg). Pueden ser utilizados para perforar el agujero con o sin ensamble de un barreno central.

*18.7.1.4 Barrenos sólidos, de aspa continua, de cuchara y manuales.*

Con un diámetro menor que 162 mm (6.5 pulg) y mayor que 56 mm (2.2 pulg), pueden ser usados si el suelo en los lados de la perforación no se derrumba sobre el muestreador o las barras muestreadoras durante la perforación.

*18.7.1.5 Barras muestreadoras:*

Barras de perforación de acero de junta rápida deben ser utilizadas para conectar el muestreador de cuchara partida al ensamblaje del peso de perforación. La barra muestreadora debe tener una rigidez (o momento de inercia) igual o mayor que el exterior paralelo de la barra "A" (una barra de acero la cual tenga un diámetro exterior de 1 5/8 pulg (41.2 mm) y un diámetro interno de 1 1/8 pulg (28.5 mm).

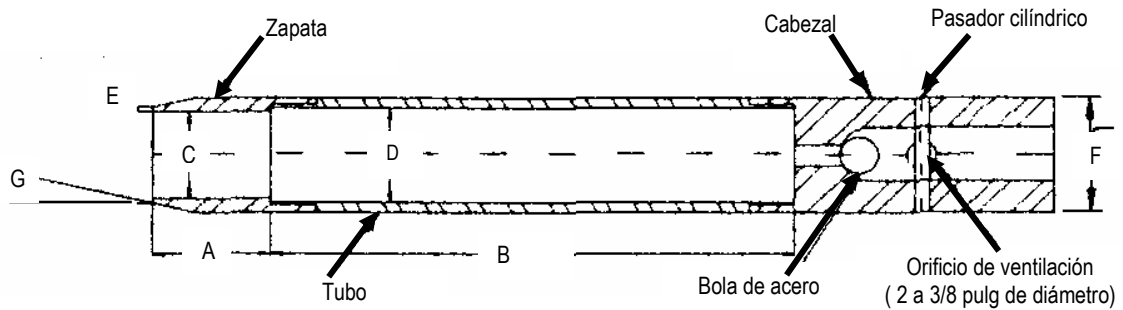
Notas:

- Investigaciones recientes y ensayos comparativos indican que el tipo de barra utilizada, con rangos de rigidez desde la barra tamaño "A" hasta la barra tamaño "N", tendrán un efecto insignificante en los valores de "N" en profundidades de al menos 30 m (100 pies).
- La longitud de las barras de muestreo se encuentra entre un rango de 0.5 a 1.0 m.

*18.7.2 Muestreador de cuchara partida:*

El muestreador deberá ser construido con las dimensiones indicadas en la Figura 1. La zapata guía deberá ser de acero endurecido y deberá ser reemplazada o reparada cuando esté abollada o deformada. El uso de revestimientos para producir un diámetro interior constante de 1 3/8 pulg (35 mm) está permitido, pero deberá anotarse en la hoja de registro, si se utiliza. El uso de un cesto retenedor de muestra está permitido y también debe hacerse notar en el registro correspondiente, si se utiliza.

Nota: Teorías y datos de ensayos disponibles sugieren que los valores de N pueden incrementarse entre el 10 y 30% cuando se usan revestimientos.



A = 1.0 a 2.0 pulg (25 a 50 mm)  
 B = 18.0 a 30.0 pulg (0.457 a 0.762 m)  
 C =  $1.375 \pm 0.005$  pulg ( $34.93 \pm 0.13$  mm)  
 D =  $1.50 \pm 0.05-0.00$  pulg ( $38.1 \pm 1.3-0.00$ )  
 E =  $0.10 \pm 0.02$  pulg ( $2.54 \pm 0.25$  mm)  
 F =  $2.00 \pm 0.05 - 0.00$  pulg ( $50.8 \pm 1.3 -0.00$ )  
 G =  $16.0^\circ$  a  $23^\circ$

**Figura 18.1** Muestreador de cuchara partida para extracción de la muestra de suelo durante el ensayo SPT.

Nota: Un muestreador de barreno partido de diámetro interior de  $1 \frac{1}{2}$  pulg (38 mm) puede ser utilizado con un revestimiento partido de un espesor de pared calibre 16. El extremo de penetración de la zapata guía debe ser ligeramente redondeado. Contenedores de metal o plástico pueden ser utilizados para retener las muestras de suelo.

### 18.7.3 Ensamblaje del peso de perforación:

#### 18.7.3.1 Martillo y yunque:

El martillo deberá ser de una masa metálica rígida con un peso de  $140 \pm 2$  lb ( $63.5 \pm 1$  Kg). El martillo deberá golpear con el yunque y hacer contacto acero con acero cuando éste se deje caer. Se deberá usar una guía de caída del martillo que permita una caída libre. Los martillos utilizados con el método del cabrestante y cuerda deberán tener una capacidad de levantamiento ininterrumpida de al menos 4 pulg (100 mm).

Notas:

- Por razones de seguridad se sugiere el uso de un ensamblaje de martillo con un yunque interno.
- Se sugiere que la guía de caída del martillo esté marcada permanentemente para permitirle al operador o al inspector el evaluar la altura de caída del martillo.

### 18.7.3.2 Sistema de caída del martillo

Cabrestante y cuerda o un sistema de caída del martillo automático o semiautomático puede ser utilizado, previendo que el aparato de levantamiento no causará la penetración del muestreador mientras se engancha y se levanta el martillo.

### 18.7.3.3 Equipamiento Accesorio:

Accesorios tales como etiquetas, contenedores de muestras, hojas de datos y dispositivos de medición del nivel freático deberán ser empleados de acuerdo con los requerimientos del proyecto y otras normas ASTM.



**Figura 18.2** Equipo utilizado para la realización del ensayo SPT.

## 18.8 Consideraciones generales para iniciar el proceso de perforación

- La perforación deberá ser avanzada incrementalmente para permitir un muestreo continuo o intermitente.
- Los intervalos de ensayo y las localizaciones deberán ser estipuladas normalmente por el ingeniero del proyecto o el geólogo.

Nota: Comúnmente los intervalos seleccionados son de 5 pie (1.5 m) o menores, en estratos homogéneos con ensayos y localizaciones de muestreo en cada cambio de estrato.

## **18.9 Procedimiento**

### **18.9.1 Proceso de perforación**

18.9.1.1 Seleccione uno de los siguientes métodos para realizar la perforación, tomando en cuenta las condiciones sub-superficiales anticipadas:

- A. Método de perforación rotatorio a cielo abierto.
- B. Método de barreno de cilindro hueco de aspa continua.
- C. Método de agujero por lavado.
- D. Método de barreno sólido de aspa continua.

Notas:

- Cualquier proceso de perforación que proporcione un agujero adecuado, limpio y estable antes de la inserción del muestreador y que asegure que el ensayo de penetración es realizado en un suelo esencialmente inalterado será aceptable.
- Cada uno de los procedimientos anteriores han probado ser aceptables para algunas condiciones sub-superficiales.
- El proceso de hincado a través de un muestreador de tubo abierto y el muestreo cuando la profundidad deseada es alcanzada, no deberá ser permitido.
- El método de barreno sólido de aspa continua no deberá ser utilizado para perforar un agujero bajo el nivel del agua o bajo la capa de confinamiento superior de un estrato no cohesivo confinado que esté bajo presión saliente.
- Cuando se utilicen encamisados en una perforación, éstos no deberá ser hincados por debajo de la superficie de muestreo.
- Perforar un agujero con barrenos de descarga en el fondo no está permitido, así como también el avance de la perforación para subsiguiente inserciones por medio del muestreado, sino solamente por medios del muestreo previo con el muestreador SPT.
- El nivel de fluido dentro de la perforación o de agujeros continuos deberá mantenerse dentro o sobre el nivel freático in situ, siempre durante la perforación, remoción de las barras de perforación y muestreo.

### **18.9.2 Muestreo y ensayo**

1. Seleccione el método de levantamiento y caída del martillo empleando cualquiera de los siguientes métodos:



- 1.1. Utilizando un mecanismo de caída del martillo con gatillo, automático o semi-automático, el cual levante el martillo y permita una caída libre de  $30 \pm 1.0$  pulg ( $0.76 \text{ m} \pm 25 \text{ mm}$ ).
- 1.2. Utilizando un cabrestante para jalar la cuerda atada al martillo. Cuando se utilice el método de la cuerda y el cabrestante, el sistema y operación deberán estar conforme a lo siguiente:
  - 1.2.1. El cabrestante deberá estar completamente libre de oxidación, aceite o grasa y deberá tener un diámetro en el rango de 6 a 10 pulg (150-250 mm).
  - 1.2.2. El cabrestante deberá ser operado a una velocidad mínima de rotación de 100 RPM o una velocidad de rotación aproximada deberá ser reportada en las hojas de registro de la perforación.
  - 1.2.3. No más de  $2 \frac{1}{4}$  de vueltas de la cuerda alrededor del cabrestante pueden ser utilizadas durante la realización del ensayo de penetración.

Notas:

- El operador generalmente debe utilizar ya sea  $1 \frac{3}{4}$  ó  $2 \frac{1}{4}$  de vueltas de cuerda, dependiendo de si la cuerda está sobre la parte o inferior del cabrestante respectivamente. Es generalmente conocido y aceptado que  $2 \frac{3}{4}$  de vueltas de cuerda o más, obstaculiza considerablemente la caída del martillo y no debe ser utilizada para realizar este ensayo.
  - La cuerda del cabrestante se debe mantener en una condición relativamente seca, limpia y no deshilachada.
  - Una altura de caída de 30 pulg (0.76 m) para cada golpe del martillo deberá ser utilizada por el operador.
  - El proceso de jalado y soltado de la cuerda deberá ser realizado rítmicamente sin sostener la cuerda al tope del golpe.
2. Realice el muestreo y ensayo con la siguiente secuencia de operaciones después de que se haya perforado el agujero hasta la profundidad deseada y que los excedentes hayan sido removidos.

3. Marque las barras muestreadoras en tres incrementos sucesivos de 6 pulg (0.15 m) para que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo pueda ser fácilmente observado para cada incremento de 6 pulg (0.15 m), como se muestra en la figura 18.3.



**Figura 18.3** Marcación de las barras muestreadoras para realizar el ensayo de penetración estándar.

4. Una el muestreador (cuchara partida) a las barras muestreadoras y bájelo dentro del agujero.  
Nota: Se debe evitar que el muestreador de tubo partido caiga sobre el suelo a ser muestreado.
5. Coloque el martillo sobre el muestreador y una el yunque a la parte superior de las barras muestreadoras. Esto podría hacerse antes de que las barras muestreadoras y el muestreador sean bajados dentro del agujero.
6. Apoye el peso muerto del muestreador, las barras, el yunque y el peso guía en el fondo del agujero y aplique un golpe al fondo. Si se encuentran cortes excesivos en el fondo del agujero, remueva el muestreador y las barras del agujero, luego retire los cortes.
7. Hínque el muestreador con golpes del martillo (ver figura 18.4 y 18.5) y cuente el número de golpes aplicados en cada incremento de 6 pulg (0.15 m) hasta que ocurra uno de los siguientes casos:

- 7.1. Un total de 50 golpes han sido aplicados durante cualquiera de los tres incrementos de 6 pulg (0.15 m).
- 7.2. Un total de 100 golpes han sido aplicados durante cualquiera de los tres incrementos de 6 pulg (0.15 m).
- 7.3. No se observa avance del muestreador durante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
- 7.4. El muestreador ha avanzado completamente las 18 pulg (0.45 m) sin alcanzar el límite del número de golpes descritos en los apartados anteriores (7.1, 7.2 y 7.3).



a)



b)

**Figura 18.4** a) Hincado del muestreador durante el ensayo de penetración estándar; b) Penetración del muestreador en los primeros 15 cm de profundidad del suelo.

8. Registre el número de golpes requeridos para llevar a cabo una penetración a cada 6 pulg (0.15 m) o una fracción de ellas. Las primeras 6 pulg son consideradas como una introducción base.

Notas:

- La suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer intervalo de 6 pulg de penetración es conocida como “resistencia a la penetración estándar” o “el valor  $N^{\circ}$ ”.

- Si el muestreador es introducido menos de 18 pulg (0.45 m), como es permitido en 6.1, 6.2 ó 6.3, el número de golpes para cada incremento de 6 pulg (0.15 m) completo para cada incremento parcial deberá ser registrado.
- Para incrementos parciales, la profundidad de la penetración deberá ser reportada con una precisión de 1 pulg (25 mm), además del número de golpes.
- Si el muestreador avanza dentro del fondo de la perforación únicamente con el peso estático de las barras de perforación o el peso de las barras de perforación más el peso estático del martillo, esta información deberá ser anotada en las hojas de registro de la perforación.

9. Traiga el muestreador a la superficie sepárelo de la barra y ábralo. Mida la longitud de la muestra recuperada o el porcentaje recuperado y anótelos en la hoja de registro correspondiente (ver figura 18.5).



**Figura 18.5** Medida de la longitud de recuperación de la muestra de suelo obtenida durante el ensayo de penetración estándar.

10. Describa las muestras de suelo recuperadas por su composición, color, estratificación y condición, luego coloque una o más porciones representativas de la muestra (sin cortes, deformaciones o alguna estratificación aparente), dentro de contenedores sellados.
11. Selle cada contenedor para prevenir la evaporación de la humedad del suelo. Posteriormente identifíquelas colocando etiquetas a los contenedores, éstas deberán contener la designación del proyecto, número de perforación, profundidad de muestreo y número de golpes para cada incremento de 6 pulg (0.15m), como se muestra en la figura 18.6.



**Figura 18.6** Muestras obtenidas del ensayo SPT colocadas en bolsas plásticas con su correspondiente identificación.

#### **18.10 Cuestionario:**

- ❖ Mencione cuál es el alcance de éste método de ensayo según la norma ASTM D 1586-99.
- ❖ Defina el término del valor de  $N$  según la norma ASTM D 653-02.
- ❖ Mencione una de las aplicaciones del método de ensayo expuesto según la norma ASTM D 1586-99.
- ❖ Cuales son los requerimientos de la altura de caída del martillo en el ensayo SPT.

#### **18.11 Contenido del reporte:**

La información de perforación deberá ser registrada en el campo y deberá incluir lo siguiente:

- ❖ Nombre y ubicación del proyecto.
- ❖ Nombre del equipo técnico.
- ❖ Tipo y marca de la maquinaria de perforación.
- ❖ Condiciones climáticas.
- ❖ Fecha y hora del inicio y final de la perforación.
- ❖ Número de perforación y localización (estación y coordenadas, si están disponibles y si aplica)
- ❖ Elevación de superficie, si está disponible.
- ❖ Método de avance y limpieza de la perforación.
- ❖ Método para mantener abierta la perforación.
- ❖ Profundidad del nivel freático, si fuese observado.

- ❖ Hora y fecha cuando se efectuaron las lecturas y registros.
- ❖ Localización de los cambios de estratos.
- ❖ Tamaño del encamisado, profundidad en proporción de la perforación.
- ❖ Equipo y método de manejo del muestreador.
- ❖ Tipo de muestreador, longitud y diámetro interno del barreno (registre si fueron utilizados revestimientos).
- ❖ Tamaño, tipo y longitud de sección de las barras de perforación.
- ❖ Comentarios.

Los datos obtenidos para cada muestra deberán ser registrados en el campo y deberán incluir lo siguiente:

- ❖ Profundidad de muestreo y número de muestreo, si éste último fue utilizado.
- ❖ Descripción del suelo.
- ❖ Cambios de estrato dentro de la muestra.
- ❖ Penetración del muestreador y longitud de recuperación.
- ❖ Número de golpes para incrementos de 6 pulg (0.15 m) o para incrementos parciales.

### **18.12 Comentarios:**

En nuestro país el proceso de penetración se realiza en incrementos de 50 cm debido a que el sistema de medida que se utiliza es el sistema métrico y además que resulta impráctico realizar la penetración a cada 45 cm.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA DE LA  
 PENETRACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS CON BARRENO PARTIDO  
 (BASADA EN ASTM D 1586-99)**

Nombre del proyecto	: TAISHIN	Fecha	: 26-May
Ubicación del proyecto	: UES	Hora de inicio	: 8:15 a.m
No de sondeo	: 1	Hora de finalizacion	: 11:30 a.m
Tipo y marca del equipo	: ACKER	Localización del sondeo	: S-1
Condiciones climáticas	: soleado	Operadores	: E. L., C. G
Longitud del barreno	: 70 cm	Nivel freático	: No se observó
D interno del barreno	: 1.50 cm	Método de perforación	: Barreno de aspa para la
L barras muestreadoras	: 80 cm		abertura de agujeros continuos

Profundidad del muestreo (m)	Resistencia a la penetración (cm)				Longitud de recuperación (cm)	% de humedad	Descripción del suelo
	20 cm	15 cm	15 cm	"N"			
0.5	9	12	8	20	38	22.1	Suelo limoso (M) color café
1.0	21	10	9	19	33	17.6	claro, baja plasticidad
1.5	10	7	5	12	7	12.7	" "
2.0	9	6	6	12	30	15.6	" "
2.5	7	4	4	8	36	17.7	" "
3.0	5	5	5	10	6	16.5	" "
3.5	8	8	11	19	43	18.1	" "
4.0	20	18	20	38	44	17.9	" "
4.5	23	11	8	19	24	18.2	" "
5.0	14	11	11	22	38	18.1	" "
5.5	16	12	11	23	32	19.4	" "
6.0	20	18	18	36	22	20.5	" "

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

---

## **CAPITULO V**

---

**“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”**



## CONCLUSIONES

- ❖ Tomando en cuenta que este manual de laboratorio para Mecánica de suelos ha sido elaborado con fines didácticos, se considera que puede ser utilizado como un documento de apoyo en dicha materia, ya que incluye los cambios expuestos en las normas ASTM 2003 y AASHTO 2003, debido a que actualmente los ensayos que se practican se basan en procedimientos conforme a normas de ediciones de los años 90's.
- ❖ La calibración del equipo utilizado para la realización de los ensayos de laboratorio es un factor importante en los datos obtenidos; ya que las Normas ASTM hacen énfasis en los requisitos que éstos deben cumplir para que los resultados tengan una mayor garantía.
- ❖ La correcta interpretación de las normas para su aplicación en los procedimientos de ensayo, permite obtener resultados confiables de los parámetros del suelo y sus características físicas.
- ❖ Al comparar las guías de ensayos de suelos utilizadas en la actualidad con las desarrolladas en este documento, las cuales han sido elaboradas conforme a los lineamientos expuestos en las Normas ASTM 2003 y AASHTO, se observa que ha sido modificada la estructura de la guía incluyéndose nuevos apartados como son: alcances, resumen del método, aplicación e importancia, así como un ejemplo de cálculo
- ❖ Se han elaborado formatos para el registro de datos obtenidos en cada uno de los ensayos y de la información necesaria para proporcionar los resultados deseados, además se han elaborado hojas electrónicas de los mismos, con la finalidad de agilizar la presentación de resultados.

- ❖ Para obtener una buena correlación de las propiedades del suelo en campo y las determinadas en laboratorio, es necesario que las condiciones bajo las cuales se realizan los ensayos de laboratorio reproduzcan las condiciones del suelo en el sitio.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Para obtener un mejor rendimiento y calidad en los resultados obtenidos en la realización de los ensayos, se recomienda que los equipos de laboratorio utilizados sean los exigidos por las Normas de los diferentes métodos de ensayo abordados en este trabajo.
- ❖ Se recomienda complementar los conocimientos teóricos y de laboratorio con visitas de campo a proyectos afines, con el objetivo de que permitan una mejor aplicabilidad de los procedimientos a seguir en la realización de los ensayos.
- ❖ Para que el aprendizaje de la Mecánica de Suelos y de los procedimientos de los ensayos que se desarrollan en dicha materia sea más provechoso, es necesario que se imparta una técnica electiva que permita al estudiante obtener un conocimiento mas profundo de otros ensayos y de la utilización de los resultados que éstos proporcionan.
- ❖ Se recomienda que se realicen las actualizaciones de los procedimientos de los métodos de ensayo de este manual periódicamente o cada vez que exista una nueva edición de las Normas ASTM, con la finalidad de que los procedimientos de los ensayos estén siempre actualizados.
- ❖ Es recomendable que el personal dedicado al trabajo de laboratorio de Mecánica de suelos reciba la capacitación apropiada de los procedimientos de ensayo y del uso de los equipos, para que exista una mayor eficiencia en el desarrollo de éstos.
- ❖ Se recomienda que el sistema bibliotecario de la Universidad de El Salvador adquiera periódicamente las ediciones actualizadas de las normas ASTM, así como facilitar al estudiante el uso de ellas.

- ❖ Se recomienda la concientización del personal de laboratorio en la importancia de realizar el trabajo apegado a un procedimiento sistemático para obtener resultados confiables.
  
- ❖ Para ampliar la información de cada uno de los ensayos desarrollados en este manual, se recomienda consultar cada una de las normas correspondientes (normas ASTM o AASHTO).
  
- ❖ Se recomienda que se promueva la elaboración de un trabajo de investigación el cual permita realizar una comparación de la realización de los ensayos en base a las condiciones propuestas en las normas y las que se practican realmente en campo, con fin de tropicalizar los procedimientos de ensayos de suelos.

## BIBLIOGRAFIA

- ❖ Ing. José Tulio Pineda Martínez, Propuesta de Manual para la Asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES), Marzo 1997.
- ❖ Ing. Marcos Samuel Barahona Meléndez, Análisis de las Propiedades Mecánicas del suelo compactado en el área Metropolitana de San Salvador, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES), Mayo 1996.
- ❖ Néstor Mauricio Calderón Argueta, Guía para pruebas de suelos que se realizan en campo y en el laboratorio, aplicadas en obras de Ingeniería Civil, Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES), Marzo 1997.
- ❖ Marcelino José Calvo Álvarez, Propuesta de un Manual de Calidad para las pruebas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales, Trabajo de Graduación, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), Abril 1998.
- ❖ Ana Iris Castillo Ortiz, Manual de Practicas de laboratorio para la asignatura de Tecnología de Materiales II de la Universidad Politécnica de El Salvador, Plan de estudios 2002, Universidad Politécnica de El Salvador, Junio 2005.
- ❖ Sowers George B. and Sowers George F., “Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones”, 3ª Edición, Primera Edición en español, Editorial Limusa, México 1972.
- ❖ Eulalio Juárez Badillo – Alfonso rico Rodríguez, “Mecánica de suelos”, Tomo 1, Introducción a la Mecánica de suelos”, 26ª Reimpresión de 3ª Edición, Editorial Limusa, México 2003.

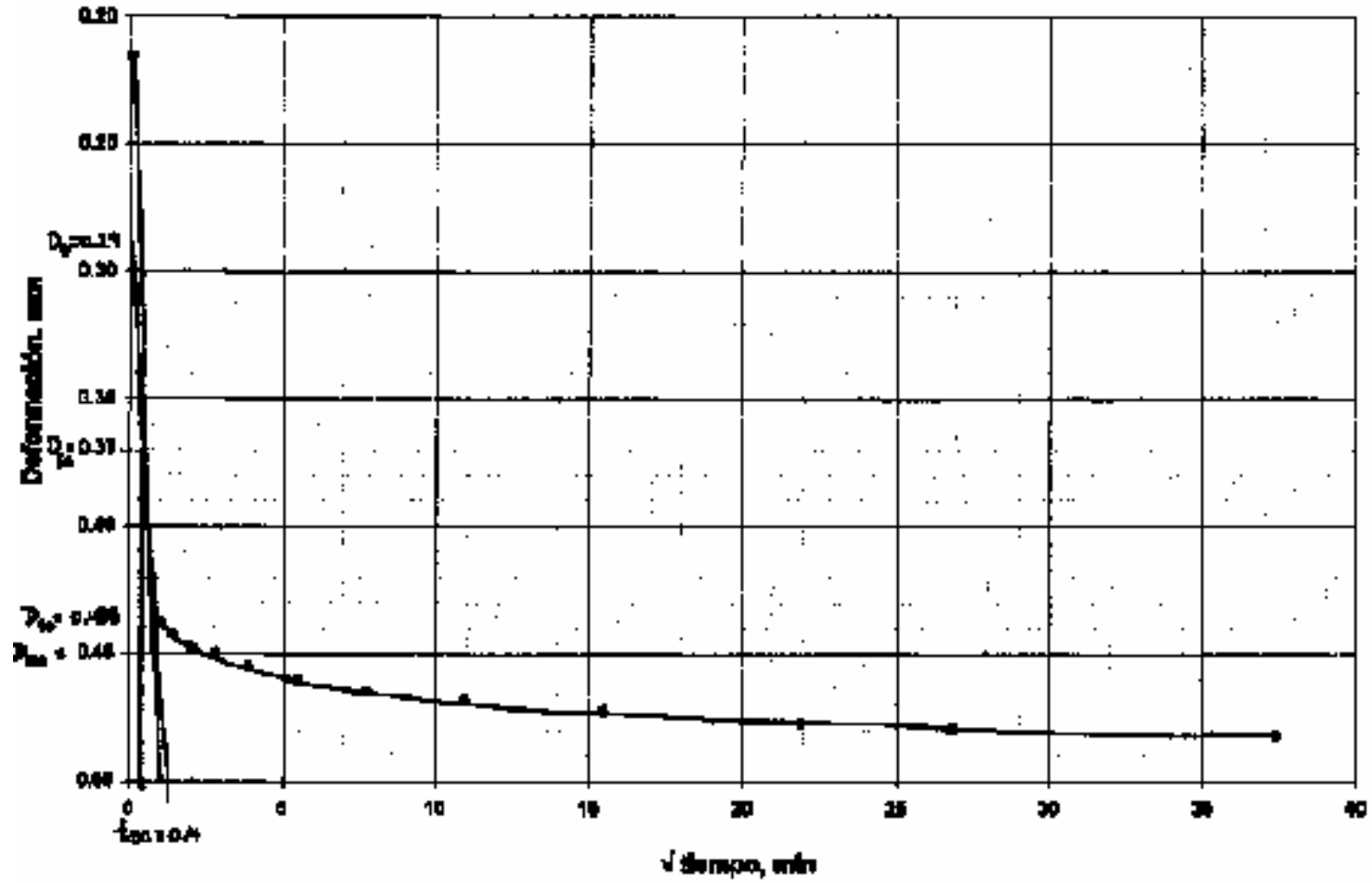
- ❖ Joseph E. Bowles, "Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil, Traducción de 2ª Edición de "Engineering Properties of Soils and Their Measurements, Editorial Mc Graw Hill Latinoamericana, S.A, Bogotá Colombia 1981.
- ❖ Karl Terzaghi y Ralph B. Peck, "Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica", 2ª Edición, Editorial Inmobiliaria, Buenos Aires, Argentina 1958.
- ❖ Braja Das, "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", International Thomson Editores, S.A. de C.V., México 2001.
- ❖ William Lambe, "Mecánica de Suelos", Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1ª Edición, Editorial Limusa, México 1974.
- ❖ Annual Book of ASTM Standards, Volumes 04.08. and 04.09. 2003
- ❖ Louis A. Robb, Diccionario para Ingenieros Español – Inglés e Inglés- Español, Quinta Reimpresión, México 2001.
- ❖ Mario Ángel Guzmán Urbina, Curso de actualización de Mecánica de suelos, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), Departamento de Ingeniería y Ciencias naturales.
- ❖ Catalogo de equipos ELE, última edición.
- ❖ [www.troxlerlabs.com](http://www.troxlerlabs.com)
- ❖ [www.fcyt.umss.edu.bo](http://www.fcyt.umss.edu.bo)

---

## **ANEXOS A-1**

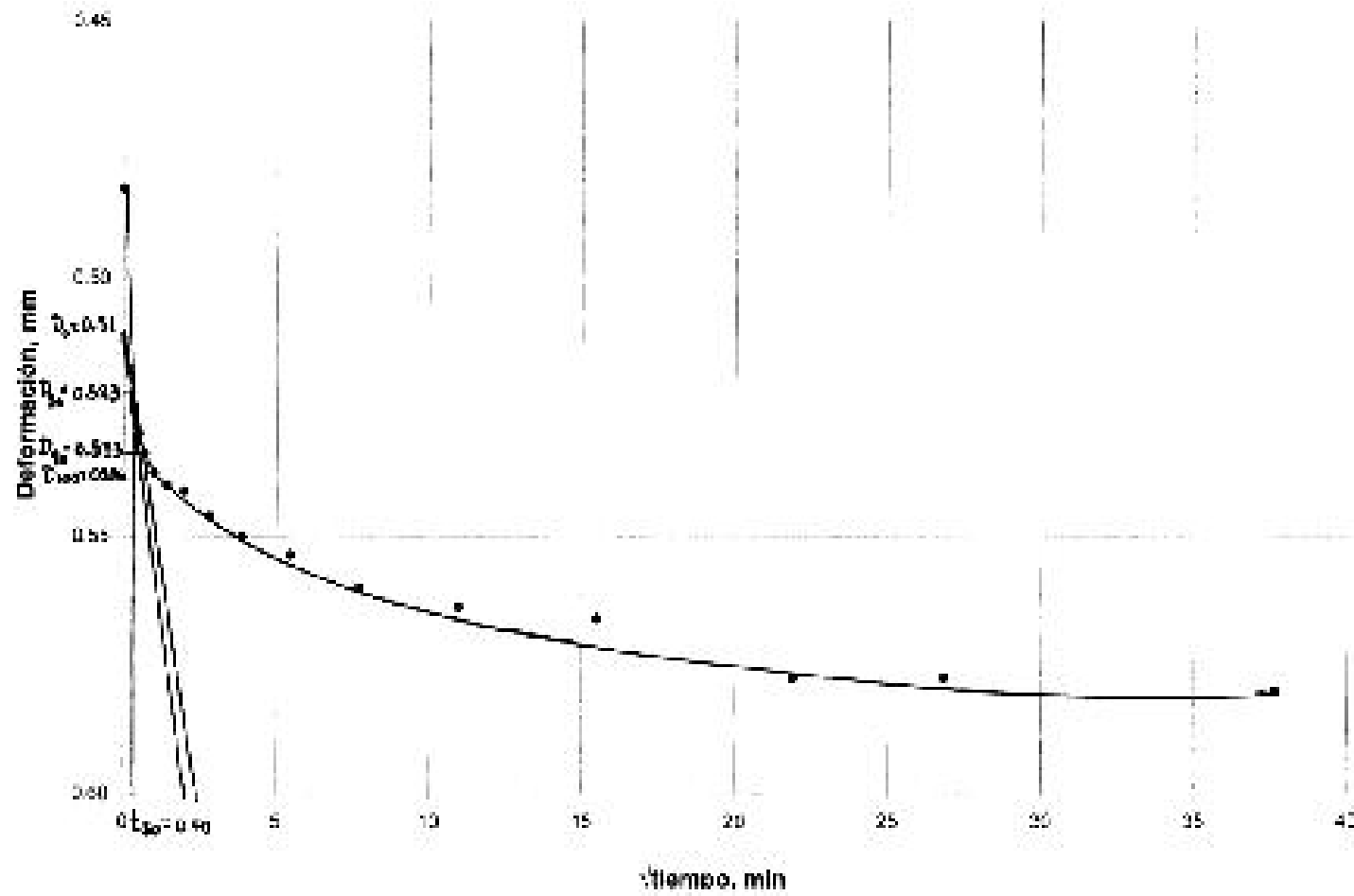
---

GRAFICA  $\sqrt{t}$  vs DEFORMACION  
(PRIMERA CARGA)

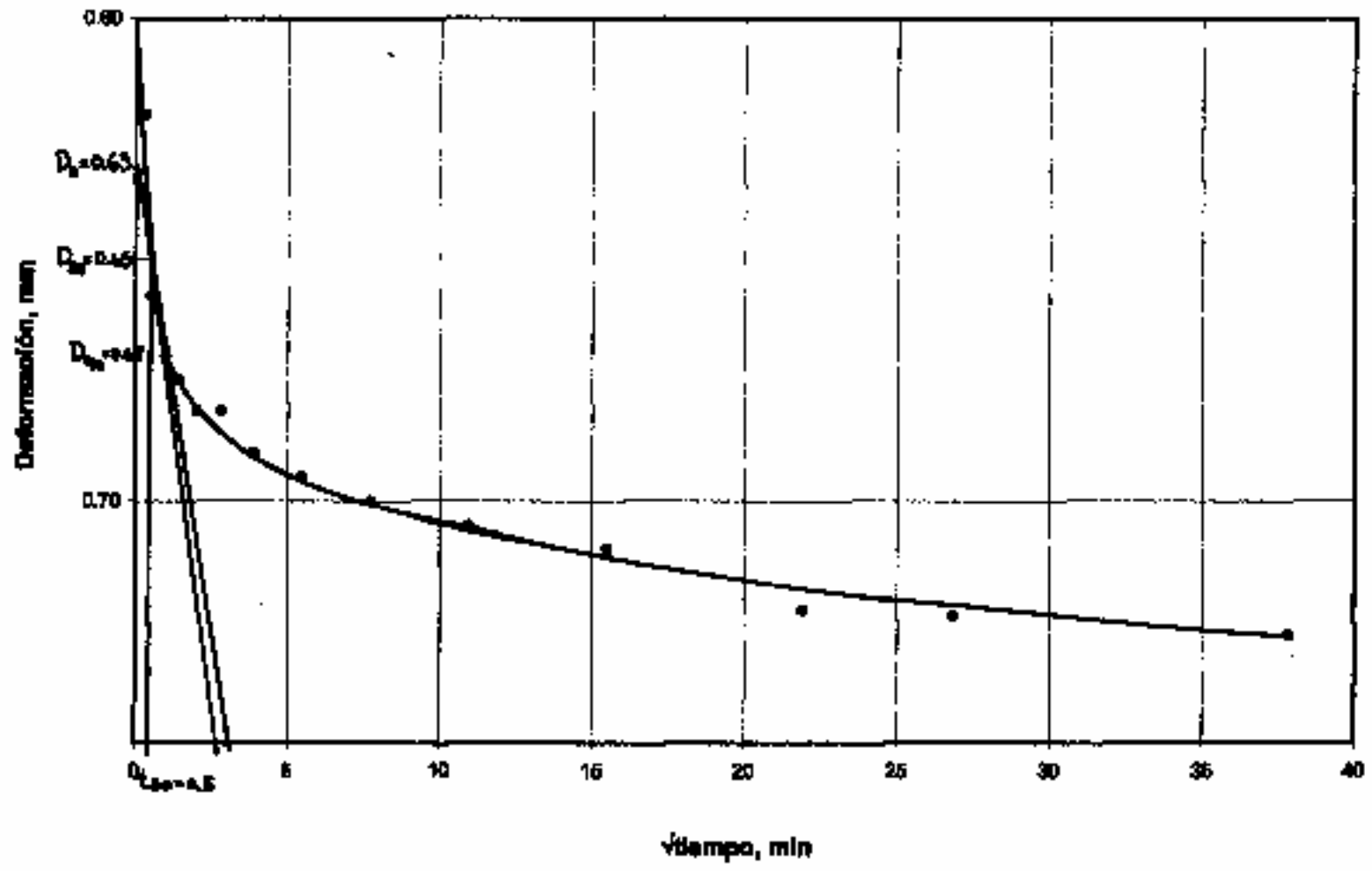




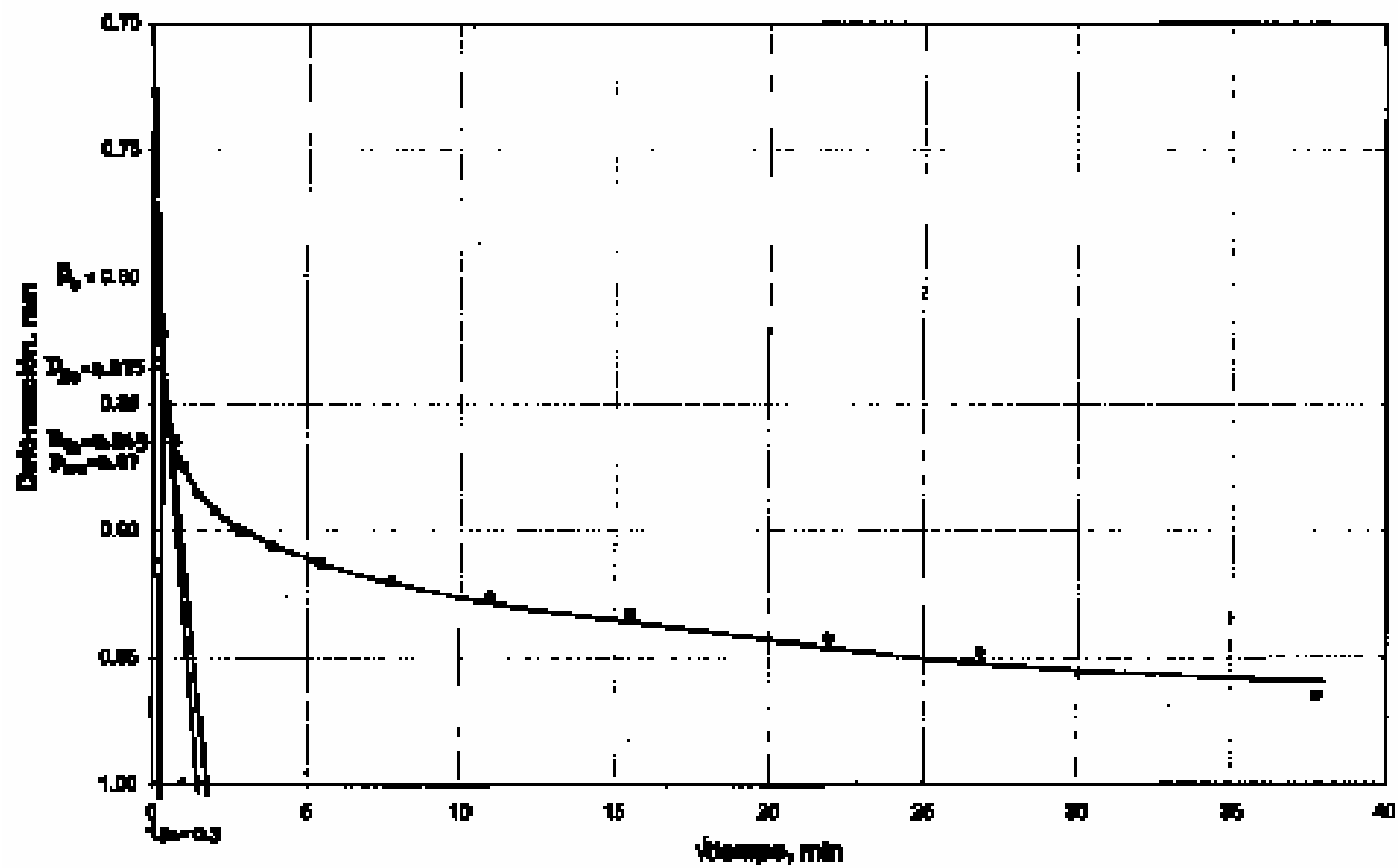
GRAFICA  $\delta$  vs DEFORMACION  
SEGUNDA CARGA



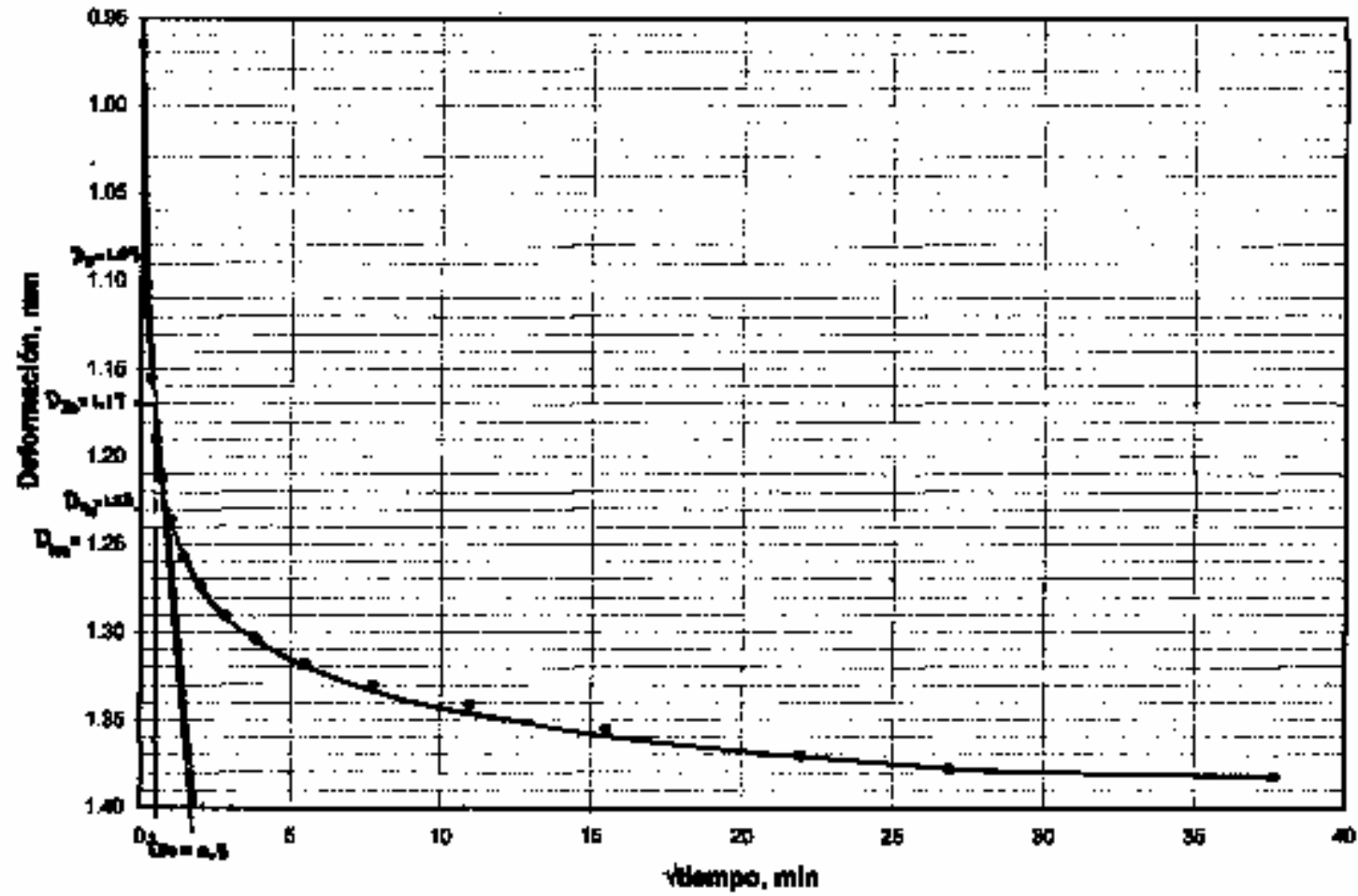
GRAFICA  $\sqrt{t}$  vs DEFORMACION  
(TERCERA CARGA)



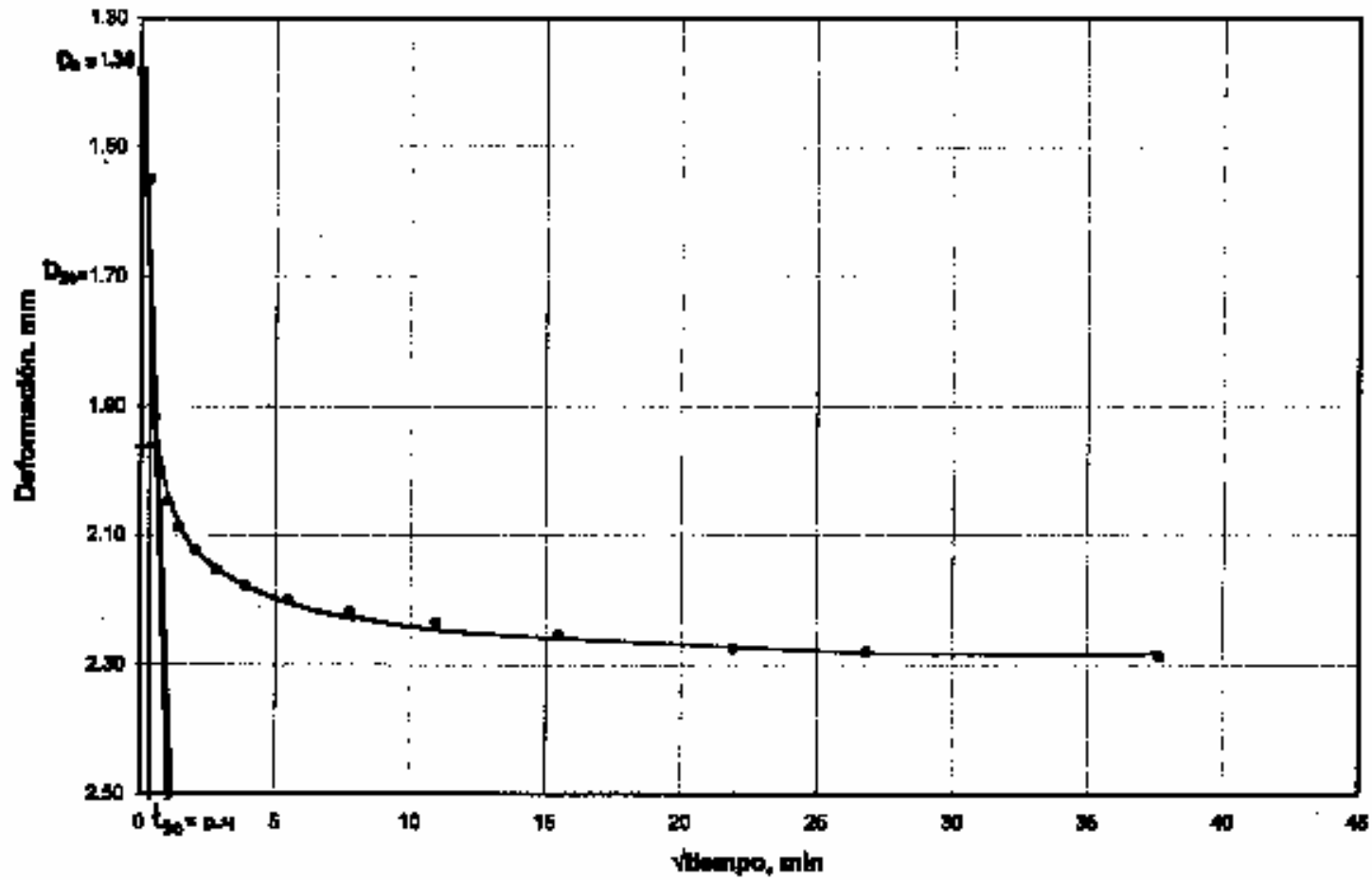
GRÁFICA DE VTI DEFORMACION  
(CUARTA CARGA)



GRAFICA  $\sqrt{t}$  vs DEFORMACION  
(QUINTA CARGA)



GRAFICA  $\dot{\epsilon}$  vs DEFORMACION  
(SEXTA CARGA)



---

## **ANEXOS B**

---

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)  
 DE UN SUELO EN LABORATORIO, POR MASA  
 (Basada en ASTM D 2216-98).**

Proyecto	:		Fecha de ensayo	:	
Lugar de procedencia	:		Laboratorista	:	
Nº de sondeo	:		Calculó	:	
Descripción y tipo de suelo	:				
Temperatura de secado	:				

No. de Muestra					
No. de Recipiente					
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g				
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g				
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g				
Masa de agua ( $M_w$ )	g				
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g				
Contenido de agua ( $\omega$ )	%				

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 “ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA”



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA ( HUMEDAD)  
 DE UN SUELO POR CALENTAMIENTO DIRECTO  
 (Basada en ASTM D 4959-00).**

Proyecto : \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo : \_\_\_\_\_  
 Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Laboratorista : \_\_\_\_\_  
 Nº de sondeo : \_\_\_\_\_ Cálculo : \_\_\_\_\_  
 Descripción y tipo de suelo : \_\_\_\_\_  
 Fuente de calor : \_\_\_\_\_

No. de Muestra				
Tiempo de secado	min			
No. de ciclos de secado				
No. de Recipiente				
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g			
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g			
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g			
Masa de agua ( $M_w$ )	g			
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g			
Contenido de agua ( $\omega$ )	%			

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA ( HUMEDAD)  
 DE UN SUELO POR CALENTAMIENTO CON UN HORNO MICROONDA  
 (Basada en ASTM D 4643-00)**

Proyecto : \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo : \_\_\_\_\_  
 Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Laboratorio : \_\_\_\_\_  
 N° de sondeo : \_\_\_\_\_ Cálculo : \_\_\_\_\_  
 Descripción y tipo de suelo : \_\_\_\_\_

No. de Muestra					
Tiempo de secado	min				
No. de ciclos de secado					
No. de Recipiente					
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g				
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g				
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g				
Masa de agua ( $M_w$ )	g				
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g				
Contenido de agua	%				

Observaciones : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA ( HUMEDAD) DE UN SUELO  
 EN CAMPO, POR EL MÉTODO DE ENSAYO DE PRESION A GAS DE  
 CARBURO DE CALCIO, SPEEDY  
 (Basada en ASTM D 4944)**

Proyecto	:		Fecha de ensayo	:	
Lugar de procedencia	:		Laboratorista	:	
Nº de sondeo	:		Caluló	:	
Descripción y tipo de suelo	:				

**Determinacion de la humedad en laboratorio ( ASTM D 2216) para calibración  
 del aparato**

No. de Muestra					
No. de Recipiente					
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g				
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g				
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g				
Masa de agua ( $M_w$ )	g				
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g				
Contenido de agua	(%)				

**Lecturas obtenidas del "Speedy" para calibracion del aparato**

No. de Muestra					
No. de identificación de aparato					
Masa de suelo húmedo ( $M_h$ )	g				
Lectura de presión final					

**Lecturas obtenidas del "Speedy" para determinacion de la humedad**

Masa de suelo húmedo ( $M_h$ )	g				
Lectura de presión final					
Contenido de agua (obtenido de la carta de calibración),	( $\omega$ %)				

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
 SUELO POR EL METODO DEL PICNOMETRO CON AGUA  
 (BASADA ASTM D 854-02)**

Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Fecha : \_\_\_\_\_  
 Clasificación del suelo : \_\_\_\_\_ No. de ensayo : \_\_\_\_\_  
 Método de ensayo : \_\_\_\_\_ Laboratorio : \_\_\_\_\_  
 No. de muestra : \_\_\_\_\_ Cálculo : \_\_\_\_\_

**Calibración del picnómetro**

No. de picnómetro				
Masa de picnómetro	g			
Temperatura de calibración	°C			
Masa de picnómetro+ agua a temperatura de calibración	g			
Densidad del agua a temperat. de calibración	g/ml			
Volumen del picnómetro	ml			
Volumen promedio del picnómetro	ml			

**Gravedad Específica**

Temperatura de ensayo ( $T_e$ ) °C		
Densidad del agua a temperat. de ensayo		
Masa de picnómetro + suelo + agua a $T_e$	g	
Masa de picnómetro + agua a $T_e$	g	
No. de recipiente		
Masa de recipiente	g	
Masa de sólidos del suelo+ recipiente	g	
Masa de los sólidos del suelo	g	
Gravedad específica a temperatura de ensayo ( $G_t$ )		
Coefficiente de temperatura		
Gravedad específica a temperatura de 20° C ( $G_s$ )		

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS**  
**(Basada en ASTM D 422-63, Reaprobada en 1998)**

Proyecto : \_\_\_\_\_  
 Descripción del suelo : \_\_\_\_\_  
 Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo : \_\_\_\_\_  
 No. de sondeo : \_\_\_\_\_ Laboratorista : \_\_\_\_\_  
 Calculó : \_\_\_\_\_

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ #10

Masa inicial : \_\_\_\_\_ g

Malla No. (1)	Abertura (mm) (2)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)
			Parcial (4)	Acumulado (5)	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #10

Masa inicial : \_\_\_\_\_ g

Malla No. (1)	Abertura (mm) (2)	Masa retenida, g (3)	% Retenido		% que pasa (6)	% que pasa referido a muestra total (7)
			Parcial (4)	Acumulado (5)		
					100	

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS**  
**(Basada en ASTM D 422-63, Reaprobada en 1998)**

Proyecto : \_\_\_\_\_  
 Descripción del suelo : \_\_\_\_\_  
 Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo : \_\_\_\_\_  
 No. de sondeo : \_\_\_\_\_ Laboratorista : \_\_\_\_\_  
 Calculó : \_\_\_\_\_

**ANALISIS HIDROMETRICO**

Nº de Hidrómetro: \_\_\_\_\_ Corrección por menisco, Cm: \_\_\_\_\_  
 Gs de los sólidos: \_\_\_\_\_ Corrección por defloculante, Cd: \_\_\_\_\_  
 Masa seca: \_\_\_\_\_ g Factor de corrección (a) : \_\_\_\_\_

Temperatura (°C)	Corrección por temperatura (Ct)

Fecha	tiempo transcu (t), min	T (°C)	Lectura real del hidrómetro	Lectura corregida del hidrómetro (Rc)	% que pasa	Hidrómetro corregido por menisco (R)	L (cm)	√L/t	K	% que pasa (referido al % que pasa No. 200	D (mm)

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



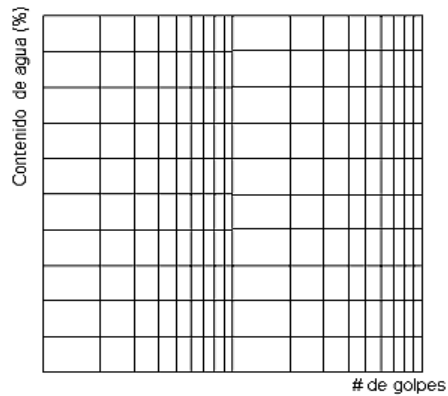
**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO  
 E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS  
 (Basada en ASTM D 4318-00)**

Proyecto : \_\_\_\_\_  
 Ubicación : \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo : \_\_\_\_\_  
 Método de ensayo utilizado : \_\_\_\_\_ Laboratorio : \_\_\_\_\_

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO
Muestra		
N° de golpes		
N° de recipiente		
Masa de recipiente		
Masa de suelo húmedo + recipiente		
Masa de suelo seco + recipiente g		
Masa de agua g		
Masa de suelo seco g		
Contenido de agua %		

**CURVA DE FLUIDEZ**

Límite líquido (LL),	
Límite plástico (LP),	
Índice de plasticidad (IP),	



Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”**



**PRACTICA PARA LA DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS  
(PROCEDIMIENTO VISUAL-MANUAL)  
(BASADA EN ASTM D 2488-00)**

Proyecto: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_

**CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS**

Muestra No.	Angulosidad	Forma	Color	Olor	Condición de humedad	Reacción HCL	Consistencia	Cementación	Estructuración	Dureza	Descripción

**IDENTIFICACIÓN DE SUELOS**

Muestra No.	Resistencia en seco	Dilatancia	Tenacidad	Plasticidad	Clasificación

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CENIZA Y MATERIA ORGANICA DE TURBAS Y OTROS SUELOS ORGANICOS**  
**(Basada en ASTM D 2974-00)**

Proyecto : \_\_\_\_\_ Fecha de ensayo : \_\_\_\_\_  
 Lugar de procedencia : \_\_\_\_\_ Laboratorio : \_\_\_\_\_  
 T° del horno mufla : \_\_\_\_\_ Cálculo : \_\_\_\_\_

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

No. de Muestra				
No. de Recipiente				
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g			
Masa de suelo húmedo + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g			
Masa de suelo seco + recipiente ( $M_{s+r}$ )	g			
Masa de agua ( $M_w$ )	g			
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g			
<b>Contenido de agua</b>	<b>%</b>			

**CONTENIDO DE CENIZA**

Masa de ceniza + recipiente ( $M_{h+r}$ )	g			
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g			
Masa de ceniza	g			
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g			
Contenido de ceniza ( $C_c$ )	%			
<b>Contenido de materia orgánica (<math>C_{ma}</math>)</b>	<b>%</b>			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS  
 DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN AASHTO T 99-01)**

Proyecto: _____	Fecha: _____
Ubicación: _____	No. de golpes: _____
Método de ensayo: _____	No. de molde: _____
Masa del martillo: _____	D inferior de molde: _____
No. de capas: _____	D superior de molde: _____
Altura de molde: _____	Gs: _____
Humedad del suelo: _____	Descripción del suelo: _____

**DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD**

No. de Muestra						
No. de tara						
Masa de tara ( $M_t$ )	g					
Masa de suelo húmedo+tara ( $M_{h+t}$ )	g					
Masa de suelo seco + tara ( $M_{s+t}$ )	g					
Masa de agua ( $M_w$ )	g					
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g					
Contenido de agua	%					
	%					

**DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD - HUMEDAD**

No. de muestra					
Masa de la muestra de ensayo	g				
Humedad de ensayo	%				
Volumen de agua a agregar	ml				
Masa de molde	g				
Masa de suelo húmedo + molde	g				
Volumen del molde	g				
Peso volumétrico húmedo	Kg/m <sup>3</sup>				
Humedad promedio	%				
Peso volumétrico seco	Kg/m <sup>3</sup>				
Humedad de saturación	%				

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Humedad óptima : \_\_\_\_\_ %  
 Peso volum. seco máximo: \_\_\_\_\_ Kg/m<sup>3</sup>

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS  
 DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS  
 (BASADA EN AASHTO T 180-01)

Proyecto: _____	Fecha: _____
Ubicación: _____	No. de golpes: _____
Método de ensayo: _____	No. de molde: _____
Masa del martillo: _____	D inferior de molde: _____ mm
No. de capas: _____	D superior de molde: _____ mm
Altura de molde: _____	Gs: _____
Humedad del suelo: _____	Descripción del suelo: _____

**DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD**

No. de Muestra									
No. de tara									
Masa de tara ( $M_t$ ) g									
Masa de suelo húmedo+tara( $M_{h+t}$ ) g									
Masa de suelo seco + tara ( $M_{s+t}$ ) g									
Masa de agua ( $M_w$ ) g									
Masa de suelo seco ( $M_s$ ) g									
Contenido de agua (%)									

**DETERMINACION DE LA RELACION DENSIDAD - HUMEDAD**

No. de muestra					
Masa de la muestra de ensayo g					
Humedad de ensayo %					
Volumen de agua a agregar ml					
Masa de molde g					
Masa de suelo húmedo + molde g					
Volumen del molde g					
Peso volumétrico húmedo $Kg/m^3$					
Humedad promedio %					
Peso volumétrico seco $Kg/m^3$					
Humedad de saturación %					

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Humedad óptima : \_\_\_\_\_ %  
 Peso volum. seco máximo: \_\_\_\_\_  $Kg/m^3$



**DETERMINACION DE LA DENSIDAD DEL SUELO EN EL SITIO  
 POR EL METODO DEL CONO DE ARENA  
 (BASADA EN AASHTO T 191-02)**

Ubicación : \_\_\_\_\_ Fecha : \_\_\_\_\_  
 Descripción visual del suelo: \_\_\_\_\_ Laboratorio : \_\_\_\_\_  
 Metodo para determinar  $\omega$  : \_\_\_\_\_ Calculó : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Calibración del aparato cono de arena*

No. de aparato					
Masa de aparato lleno con arena (m1)	g				
Masa de aparato + arena restante (m2)	g				
Corrección del cono (Cc)	g				

*Determinación de la densidad en masa de la arena (D<sub>A</sub>)*

Masa de aparato lleno con arena (m3)	g				
Masa de aparato + arena restante (m4)	g				
Volumen del recipiente de calibración	cm <sup>3</sup>				
Volumen de cono y plato	cm <sup>3</sup>				
Densidad en masa de la arena	g/cm <sup>3</sup>				

*Determinación de la humedad del material extraído del agujero*

No. de tara									
Masa de tara (M <sub>t</sub> )	g								
Masa de suelo húmedo+tara (M <sub>h+t</sub> )	g								
Masa de suelo seco + tara (M <sub>s+t</sub> )	g								
Masa de agua (M <sub>w</sub> )	g								
Masa de suelo seco (M <sub>s</sub> )	g								
Contenido de agua									
Contenido de humedad promedio	%								
Masa húmeda del material extraído del agujero	g								
Masa seca del material extraído del agujero	g								

*Determinación de la densidad del suelo en el sitio*

Masa de aparato lleno con arena (m5)	g				
Masa de aparato + arena restante (m6)	g				
Volumen del agujero de ensayo	cm <sup>3</sup>				
Densidad húmeda del suelo in situ	g/ cm <sup>3</sup>				
Densidad seca in situ	g/ cm <sup>3</sup>				
Peso unitario seco en el sitio	kN/ m <sup>3</sup>				

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE SUELO Y SUELO-AGREGADO EN EL  
 LUGAR POR MÉTODOS NUCLEARES (A UNA BAJA PROFUNDIDAD)  
 (BASADA EN ASTM D 2922 - 01)**

Lugar de procedencia	:		Fecha	:	
Marca del instrumento	:		Operadores	:	
Modelo	:		Método de ensayo	:	
No de serie	:		Densidad Proctor	:	
Descripción visual del suelo	:		Humedad óptima	:	
	:			:	

No.	Ubicacion de ensayo	Contenido de humedad, %	Densidad seca, (kg/m <sup>3</sup> )	% de compactación
1				
2				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_











**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"**



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS  
(BASADA EN ASTM D 2435 - 96)**

Solicita : \_\_\_\_\_ Número de muestra : \_\_\_\_\_  
 Procedencia : \_\_\_\_\_ Fecha : \_\_\_\_\_

DATOS GENERALES		
Limite liquido	=	%
Limite plastico	=	%
Indice de plasticidad	=	%
Gravedad especifica	=	
Clasificación	=	

ANTES DE CONSOLIDACIÓN		
Peso de anillo	=	g
Peso de probeta + anillo	=	g
Peso de probeta	=	g
Diametro de probeta	=	cm
Altura de probeta	=	cm
Area de probeta	=	cm <sup>2</sup>
Volumen de probeta	=	cm <sup>3</sup>

PROPIEDADES INDICES ANTES DE CONSOLIDACIÓN		
Masa humeda	=	g
Masa seca	=	g
Masa del agua	=	g
Volumen total inicial	=	cm <sup>3</sup>
Volumen de solidos	=	M,0
Volumen de vacíos	=	cm <sup>3</sup>
Relación de vacíos antes del ensayo	=	
Humedad inicial	=	%
Grado de saturación inicial	=	%

DESPUES DE CONSOLIDACIÓN		
Altura final de probeta	=	cm
Masa humeda	=	g
Masa seca	=	g
Masa del agua	=	g
Volumen total final	=	cm <sup>3</sup>
Volumen de solidos	=	cm <sup>3</sup>
Volumen de vacíos	=	cm <sup>3</sup>
Humedad final	=	%
Densidad seca inicial del espécimen	=	g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco del espécimen	=	KN/m <sup>3</sup>
Altura equivalente de los sólidos	=	cm
Relación de vacios despues del ensayo	=	cm
Grado de saturacion final	=	%





