

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



“EVALUACIÓN EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN  
MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE  
CARRETERAS”

***TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:***

IRENE ESTELA GARCÍA AGUILAR  
ERIKA SOFÍA GUERRA CABALLERO  
NELSON ALEXANDER PERDOMO CALDERÓN

***PARA OPTAR AL GRADO DE:***

INGENIERO CIVIL

***DOCENTE DIRECTOR:***

ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SÁNCHEZ.

16 DE FEBRERO  
DE 1841

-- SEPTIEMBRE DE 2011 --

SANTA ANA - EL SALVADOR - CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

---

“EVALUACIÓN EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN  
MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE  
CARRETERAS”

*TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:*

IRENE ESTELA GARCÍA AGUILAR  
ERIKA SOFÍA GUERRA CABALLERO  
NELSON ALEXANDER PERDOMO CALDERÓN

*PARA OPTAR AL GRADO DE:*

INGENIERO CIVIL

*DOCENTE DIRECTOR:*

ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SÁNCHEZ.

- SEPTIEMBRE DE 2011 -

SANTA ANA - EL SALVADOR - CENTRO AMÉRICA

# **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**ING. RUFINO ANTONIO QUEZADA  
RECTOR**

**ARQ. MIGUEL ÁNGEL PÉREZ RAMOS  
VICERRECTOR ACADEMICO**

**M.Sc. ÓSCAR NOÉ NAVARRETE  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO**

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ  
SECRETARIO GENERAL**

**AUTORIDADES DE LA FACULTAD  
MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

**LIC. JORGE MAURICIO RIVERA  
DECANO**

**MÁSTER ELADIO EFRAÍN ZACARÍAS  
VICEDECANO**

**LIC. VÍCTOR HUGO MERINO QUEZADA  
SECRETARIO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**

**ING. RAÚL ERNESTO MARTÍNEZ BERMÚDEZ  
JEFE DE DEPARTAMENTO**

**ING. JORGE WILLIAM ORTIZ  
DOCENTE DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS:**

### **A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR:**

Por habernos formado y dado la oportunidad de crecer intelectualmente y a la vez forjarnos como personas de bien.

### **A NUESTRO ASESOR:**

**ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SÁNCHEZ**

Por su orientación, atención y aporte en el desarrollo de este trabajo, así como también por los ánimos e inquietudes generadas en cada una de las etapas de la investigación.

### **AL INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO (ISCYC)**

Por apoyar el desarrollo de esta investigación y desinteresadamente facilitar sus instalaciones para el desarrollo de todos los ensayos de laboratorio, en especial al **ING. RICARDO BURGOS OVIEDO** por su colaboración y entrega en la revisión de nuestro trabajo de grado; así mismo agradecer al siguiente personal:

**TEC. JULIO ALBERTO HERNÁNDEZ**

**ING. DIMAS ALI GARCÍA**

**TEC. RONALD RETANA PINEDA**

**TEC. VÍCTOR SAMUEL RAMÍREZ.**

Y a todas las personas, familiares, amigos y conocidos que de una u otra manera colaboraron dando sus conocimientos y opiniones para enriquecer esta investigación.

**IRENE, ERIKA Y NELSON**

## **DEDICATORIA:**

**A DIOS:** Por darme la vida, salud, inteligencia, sabiduría y bendiciones a lo largo de toda mi existencia y por permitirme terminar mis estudios exitosamente.

**A MIS PADRES:** Nelson Ricardo Perdomo Zaldaña y Ana Lorena Calderón de Perdomo; por apoyarme en todo momento, darme todo su amor, formarme, hacerme una persona de bien, y haberme ayudado a cumplir esta meta.

**A MIS MADRECITAS:** Luisa V. Burbank y Annie M. Call, por su apoyo total, sus consejos y por pedir siempre a mi Dios por mi bienestar y el de mi familia.

**A MI NOVIA:** Mónica Estefanía Pacheco Hernández, por ser además mi mejor amiga, y estar conmigo en los momentos más difíciles apoyándome (gracias por permitirme estar a tu lado y por amarme y apoyarme tanto).

**A MIS FAMILIARES Y AMIGOS:** Gracias por estar conmigo, aconsejarme y apoyarme de una u otra forma de manera desinteresada para seguir adelante y conseguir este triunfo.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS IRENE Y ERIKA:** Por todos los momentos felices que pasamos. Por haber superado toda adversidad y haber logrado este triunfo juntos.

**NELSON A. PERDOMO**

## **DEDICATORIA:**

### **A DIOS TODO PODEROSO:**

Por ayudarme a culminar esta meta dándome la sabiduría necesaria y fortaleza para seguir adelante en todo momento. A mi Señor sea la gloria y honra por iluminar mi camino. Todo se lo debo a Él.

### **A MIS PADRES:**

Mario García y Gloria de García por sus consejos y apoyo incondicional en cada momento de mi vida, por creer en mí y brindarme su confianza y atención en los momentos difíciles, por todo su cariño y comprensión mil gracias, este logro es de ustedes.

### **A MIS HERMANOS:**

Adriana García y Víctor García, por estar a mi lado en cada momento y animándome en cada dificultad a lo largo de la carrera, Dios le bendiga siempre.

### **A mi familia:**

A aquellos que de una u otra forma estuvieron conmigo y creyeron en mí para culminar esta meta, en especial a mi tía Kenny Aguilar, por brindarme su apoyo incondicional y estar conmigo a lo largo de mis estudios y a mi abuela Mercedes por su cariño y apoyo.

### **A MIS AMIGOS:**

Por estar junto a mí en todo momento y brindarme su amistad sincera, doy gracias a Dios por ponerlos en mi camino.

### **A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:**

Erika y Nelson por la dedicación para poder realizar este trabajo superando los inconvenientes surgidos en el transcurso del mismo.

**IRENE GARCÍA**

## **DEDICATORIA**

**A DIOS:** Por iluminar mi camino, fortalecerme en los momentos difíciles y llenarme de bendiciones para poder culminar mis metas.

**A MIS PADRES:** Mario Guerra y Violeta Caballero, por estar a mi lado apoyándome en todas mis decisiones, por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y estudiante, por darme una carrera para mi futuro.

**A MIS HERMANOS:** Catherine Guerra y Mario Guerra por estar siempre conmigo cuidándome y dándome aliento.

**A MI FAMILIA:** Gracias por apoyarme, creer en mí y ayudarme de muchas maneras a alcanzar mis metas.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** Nelson Perdomo e Irene García por su esfuerzo y dedicación para poder realizar este trabajo de grado.

**A MIS AMIGOS:** Por brindarme su afecto y cariño y por qué en todo momento me animaron a seguir a delante GRACIAS. A Marlon Arévalo, Carlos Omar, Graciela Latín y Nelson Perdomo por toda la ayuda que me brindaron para alcanzar mi meta.

**A TODAS LAS PERSONAS:** Que siempre creyeron en mí y que de alguna manera me ayudaron en el transcurso de mi carrera GRACIAS.

**ERIKA GUERRA**



## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: ANTEPROYECTO.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 GENERAL.....	3
1.2.2 ESPECÍFICOS .....	3
1.3 ANTECEDENTES .....	5
1.4 EL SUELO-CEMENTO EN LA ACTUALIDAD .....	6
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	7
1.6 ALCANCES GLOBALES: .....	8
1.7 LIMITACIONES .....	10
1.8 JUSTIFICACIÓN.....	11
<b>CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.....</b>	<b>13</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.2 DEFINICIONES.....	14
2.3 EL SUELO-CEMENTO, SUS VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	15
2.3.1 PRINCIPALES VENTAJAS .....	15
2.3.2 PRINCIPALES DESVENTAJAS .....	17
2.4 CLASIFICACIÓN .....	17
2.4.1 SUELO-CEMENTO COMPACTADO.....	18

2.4.2	SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO .....	18
2.4.3	SUELO-CEMENTO PLÁSTICO .....	19
2.4.4	BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO .....	20
2.4.5	PAVIMENTOS UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO .....	20
2.4.6	PAVIMENTOS RECICLADOS CON CEMENTO .....	21
<b>CAPÍTULO 3: MATERIALES .....</b>		<b>23</b>
3.1	INTRODUCCIÓN .....	24
3.2	SUELOS.....	24
3.3	CEMENTO .....	29
3.4	AGUA .....	31
3.5	ADITIVOS.....	32
<b>CAPÍTULO 4: PROPIEDADES DEL SUELO-CEMENTO .....</b>		<b>35</b>
4.1	INTRODUCCIÓN .....	36
4.2	DENSIDAD .....	36
4.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE .....	38
4.4	RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	40
4.5	RETRACCIÓN .....	41
4.6	MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	41
4.7	RESISTENCIA AL DESGASTE.....	42
4.8	PERMEABILIDAD .....	43

<b>CAPÍTULO 5: PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO .....</b>	<b>45</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	46
5.2 SELECCIÓN DEL BANCO PARA LA EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO .....	46
5.3 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO .....	48
5.3.1 GRANULOMETRÍA (SEGÚN ASTM D 422) .....	48
5.3.2 LÍMITES DE ATTERBERG (SEGÚN ASTM D 4318) .....	56
5.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA (SEGÚN ASTM D 854) .....	62
5.4 DISEÑO DE LA MEZCLA .....	70
5.4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO:.....	70
5.4.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA APARENTE Y DE LA HUMEDAD ÓPTIMA .	79
5.5 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CON MEZCLA DE SUELO-CEMENTO.....	79
5.6 CURADO DE ESPECÍMENES .....	84
5.6.1 CURADO CONVENCIONAL.....	84
5.6.2 CURADO ACELERADO .....	85
5.7 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS (SEGÚN ASTM D 1633) .....	86
5.8 RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN .....	88
5.8.1 ENSAYOS A COMPRESIÓN A ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 4% DE CEMENTO C 91 .....	88
5.8.2 ENSAYO A COMPRESIÓN A ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 2.61% DE CEMENTO C 1157 .....	90

<b>CAPÍTULO 6: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>92</b>
6.1 INTRODUCCIÓN .....	93
6.2 RESULTADO DE ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	93
6.3 RESULTADO DE ENSAYOS PROCTOR Y ENSAYO A COMPRESIÓN .....	94
6.3.1 EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE 3 Y 5% DE CEMENTO C 91 .....	94
6.3.2 EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE 3 Y 5% DE CEMENTO C 1157 .....	95
6.3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA PARA 4.00% DE CEMENTO C 91 Y 2.61% DE CEMENTO C 1157 .....	95
6.4 ESPECÍMENES CURADOS NORMALMENTE .....	96
6.5 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA CON 4.0% DE CEMENTO C 91.....	100
6.5.1 CURADO ACELERADO A 40°C.....	100
6.5.2 CURADO ACELERADO A 60°C.....	102
6.6 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA CON 2.61% DE CEMENTO C 1157.....	103
6.6.1 CURADO ACELERADO A 40°C.....	103
6.6.2 CURADO ACELERADO A 60°C.....	105
6.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN .....	106
6.7.1 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 4.0% DE CEMENTO C 91.....	106
6.7.2 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 2.61% DE CEMENTO C 1157 .....	108
<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>111</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	112

7.2 RECOMENDACIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA .....	115
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO.....	27
TABLA 3.2: CANTIDADES DE CEMENTOS REQUERIDAS, PCA.....	31
TABLA 4.1: ESPECÍMENES CURADOS A 7 Y 28 DÍAS .....	39
TABLA 4.2: REQUISITOS MÍNIMOS A COMPRESIÓN SIMPLE PARA SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO. ....	39
TABLA 5.1: JUEGO DE TAMICES ESTÁNDAR. ....	50
TABLA 5.2: MASA MÍNIMA DE PORCIÓN DE SUELO RETENIDO EN TAMIZ NO. 10 A USAR EN TAMIZADO, SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS.....	52
TABLA 5.3: MASA MÍNIMA DE PORCIÓN DE SUELO QUE PASA EL TAMIZ NO. 10, SEGÚN TIPO DE SUELO.....	52
TABLA 5.4: TABLA DE RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. ....	55
TABLA 5.5: TABLA DE RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG. ....	63
TABLA 5.6: TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA. ....	69
TABLA 5.7: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 3% DE CEMENTO C91 .....	71
TABLA 5.8: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 5% DE CEMENTO C91 .....	72
TABLA 5.9: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 3% DE CEMENTO C1157 .....	73
TABLA 5.10: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 5% DE CEMENTO C1157 ...	74

TABLA 5.11: RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON 3 Y 5% DE CEMENTO C 91..	75
TABLA 5.12: RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON 3 Y 5% DE CEMENTO C 1157. .....	75
TABLA 5.13: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 4% DE CEMENTO C91 .....	80
TABLA 5.14: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 2.61% DE CEMENTO C1157 .....	81
TABLA 5.15: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%) CURADOS A 40°C .....	88
TABLA 5.16: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%) CURADOS A 60°C .....	89
TABLA 5.17: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%) CURADOS CONVENCIONALMENTE.....	89
TABLA 5.18: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 (2.61%) CURADOS A 40°C .....	90
TABLA 5.19: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 (2.61%) CURADOS A 60°C .....	90
TABLA 5.20: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 (2.61%) CURADOS CONVENCIONALMENTE.....	91

## ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 4.1: CURVA DE HUMEDAD-DENSIDAD. ....	37
IMAGEN 5.1: VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DEL BANCO DE SUELO.....	47
IMAGEN 5.2: BANCO DE EXTRACCIÓN DE SUELO.....	47
IMAGEN 5.3: PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS. ...	49
IMAGEN 5.4: REDUCCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO A TAMAÑO DE PRUEBA.....	51
IMAGEN 5.5: LAVADO DE MATERIAL LUEGO DEL TAMIZADO.....	53
IMAGEN 5.6: COLOCACIÓN DEL MATERIAL EN EL JUEGO DE TAMICES. ....	54
IMAGEN 5.7: CRIBADO DE LA MUESTRA POR MEDIO DEL VIBRADOR ELÉCTRICO.....	54
IMAGEN 5.8: COPA CASAGRANDE CON MUESTRA DE SUELO.....	60
IMAGEN 5.9: CANAL HECHO POR EL RANURADOR. ....	60
IMAGEN 5.10: TOMA DE MUESTRA PARA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD. ....	61
IMAGEN 5.11: ELABORACIÓN DE CILINDRO CON MUESTRA DE SUELO.....	61
IMAGEN 5.12: CILINDRO LUEGO DE LA PRUEBA. ....	62
IMAGEN 5.13: LECHADA DE SUELO EN FRASCO VOLUMÉTRICO. ....	66
IMAGEN 5.14: EXTRACCIÓN DEL AIRE DE LA LECHADA POR MEDIO DE CALOR.....	67
IMAGEN 5.15: AJUSTE DEL NIVEL DE AGUA HASTA MARCA DE CALIBRACIÓN. ....	68
IMAGEN 5.16: ESPECÍMENES ELABORADOS PARA DISEÑO DE MEZCLA. ....	77
IMAGEN 5.17: SECADO DEL SUELO UTILIZADO. ....	79
IMAGEN 5.18: HOMOGENIZADO DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO .....	82
IMAGEN 5.19: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES .....	83
IMAGEN 5.20: EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES. ....	84

IMAGEN 5.21: CURADO CONVENCIONAL.....	85
IMAGEN 5.22: COLOCACIÓN DE ESPECÍMENES EN TANQUE DE CURADO.....	85
IMAGEN 5. 23: CURADO ACELERADO .....	86
IMAGEN 5.24: ORGANIGRAMA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS A ESPECÍMENES. ....	87

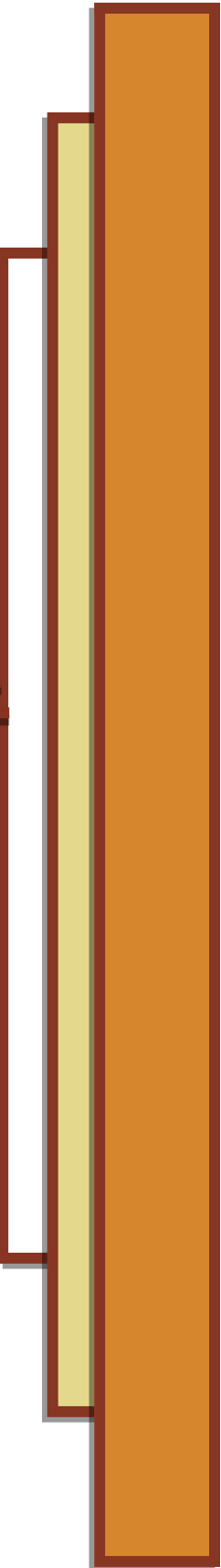
## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 6.1: CURADO CONVENCIONAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%).....	97
GRÁFICA 6.2: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.0%) SOMETIDOS A CURADO CONVENCIONAL.....	98
GRÁFICA 6.3: CURADO CONVENCIONAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%).....	98
GRÁFICA 6.4: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) SOMETIDOS A CURADO CONVENCIONAL .....	99
GRÁFICA 6.5: CURADO ACELERADO A 40°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) .....	100
GRÁFICA 6.6: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 40°C.....	101
GRÁFICA 6.7: CURADO ACELERADO A 60°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) .....	102
GRÁFICA 6.8: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 60°C.....	103



GRÁFICA 6.9: CURADO ACELERADO A 40°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) .....	104
GRÁFICA 6.10: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 40°C .....	104
GRÁFICA 6.11: CURADO ACELERADO A 60°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) .....	105
GRÁFICA 6.12: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 60°C .....	106
GRÁFICA 6.13: CURADO ACELERADO Y CURADO NORMAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) .....	107
GRÁFICA 6.14: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%).....	107
GRÁFICA 6.15: CURADO ACELERADO Y CURADO NORMAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) .....	109
GRÁFICA 6.16: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%).....	109

# CAPÍTULO 1: ANTEPROYECTO



## 1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en laboratorios de ingeniería civil se utiliza el método de curado convencional que consiste en envolver los especímenes en papel periódico humedecido dentro de bolsas plásticas de manera que no se pierda la humedad de los mismos, luego de finalizado el período de curado, son sumergidos en agua durante 4 horas y finalmente se procede a realizar el ensayo a compresión<sup>1</sup>.

El presente ante-proyecto estudia la manera en que se implementará el método del “curado acelerado con altas temperaturas aplicado a mezclas de suelo-cemento compactable en laboratorio” como una prueba alternativa para la verificación de la resistencia requerida en el diseño de bases de carreteras en El Salvador.

El estudio incluye antecedentes del tema de investigación, los que amplían el conocimiento que se tienen sobre el mismo y la importancia que éste toma en las construcciones de obras civiles.

En toda elaboración de una investigación existen limitantes que impiden la realización de la misma de manera óptima; y la que se realiza no es la excepción, por lo que en este anteproyecto, además de las limitantes que se exponen, se encuentran los alcances a los que se aspira con la realización del proyecto en cuestión.

---

<sup>1</sup> Norma ASTM D 1633, Volume 04.08.

Para el desarrollo del tema “Evaluación en Laboratorio del curado acelerado en mezclas de suelo-cemento compactable para bases de carreteras” se presenta la metodología a emplear durante todo el período de ejecución del mismo, para el cual se ha realizado un cronograma de actividades, tomando en cuenta que la investigación en su fase de ejecución se realice durante el año 2011. Los recursos a utilizar tanto humanos como tecnológicos son desglosados de manera que muestren lo que se necesita para cada una de las actividades programadas.

Con la elaboración de este anteproyecto se pretende ahondar más en el contenido que compone el trabajo de grado, justificando así su realización y su importancia.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 GENERAL**

- Implementar el método de curado acelerado con altas temperaturas aplicado en especímenes elaborados con mezclas de suelo-cemento compactable en el laboratorio.

### **1.2.2 ESPECÍFICOS**

- Identificar las ventajas y desventajas de la aplicación del método del curado acelerado en laboratorio.

- Obtener el diseño de una mezcla de suelo-cemento basándose en contenidos óptimos de cemento, tanto de C91 y C1157 para alcanzar la resistencia de  $27 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días según especificaciones técnicas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).
- Efectuar pruebas de laboratorio en especímenes de suelo-cemento curados por el método convencional y por el método del curado acelerado.
- Comparar los resultados obtenidos de pruebas realizadas a especímenes de suelo-cemento con el método del curado acelerado versus los resultados obtenidos de especímenes curados por el método convencional según ASTM D 1632.
- Evaluar el curado acelerado en especímenes elaborados en laboratorio, a temperaturas de 40 y 60°C a edades de 1, 2 y 3 días, utilizando el horno de secado.
- Definir cuál de las temperaturas propuestas es la más idónea para hacer efectivo el método del curado acelerado para especímenes elaborados con mezcla de suelo-cemento compactable en laboratorio.

### 1.3 ANTECEDENTES<sup>2</sup>

En civilizaciones como la Inca o la Azteca los caminos estabilizados fueron clave para el desarrollo de diversas actividades. Ya en el siglo XX se lograron avances en la producción de conglomerantes y en el desarrollo de equipos de construcción y técnicas de ejecución. Con el tiempo, se crearon las condiciones óptimas para la realización de muchos experimentos en mezclas de suelo y cemento, que mostraron las posibilidades de aprovechamiento de los suelos existentes, modificados en mayor o menor grado por la mezcla de los mismos con cemento Portland, agua y su posterior compactación.

La aplicación del suelo-cemento empezó a estudiarse metódicamente entre 1910 y 1920. En Inglaterra, en 1917, Brooke Bradley empleó con éxito una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de carreteras. Sin embargo, a pesar de los excelentes resultados, la técnica no fue usada posteriormente. En los Estados Unidos, el uso del suelo - cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada "Soilamies". El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940, cuyas

---

<sup>2</sup> Basado en el documento técnico "El Estado del Arte del Suelo-Cemento en Estructuras de Pavimentos". Federación Interamericana del Cemento. Departamento Técnico del ISCYC, pág. 11

publicaciones han hecho que esta técnica sea conocida internacionalmente, y se valore como una alternativa confiable y eficiente para la estabilización de suelos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se inician en España y Latinoamérica las primeras experiencias con suelo-cemento aplicado en carreteras, siendo Argentina, Colombia y El Salvador ejemplos de países con más de 50 años de experiencia en la construcción de caminos de este tipo.

#### **1.4 EL SUELO-CEMENTO EN LA ACTUALIDAD**

Existen diversas razones que actualmente determinan un mayor uso del suelo-cemento en la construcción de estructuras de pavimentos. Tanto consultores como entidades encargadas de la administración vial coinciden en que la demanda de un transporte de calidad requiere una mayor durabilidad de los materiales, estructuras de pavimentos y subrasantes.

Para lograr la misma, es indispensable contar con estructuras de pavimento con capas de elevada capacidad de soporte y resistentes a los agentes atmosféricos. Otra razón para usar suelo-cemento en carreteras es el aspecto de protección del medio ambiente, el cual cada vez impone mayores limitaciones para la búsqueda y explotación de bancos de materiales, práctica por muchos años utilizada. Finalmente, la posibilidad de reducir espesores de capas que conforman la estructura del pavimento sin disminuir la capacidad estructural de la misma, es uno de los logros que pueden obtenerse de las características que tiene el suelo-

cemento, debido a su relativamente elevado módulo de elasticidad. Esto se traduce en ahorros de materiales y aumento en los rendimientos de construcción. Debido a las múltiples ventajas que tienen los suelos tratados con cemento, diversos países lo aplican de forma casi generalizada.

Por ejemplo, en nuestro país El Salvador, el 95% de los caminos rurales pavimentados tiene base de suelo-cemento y en los últimos 10 años, el 100% de nuevas vías urbanas e interurbanas y pisos industriales tienen bases de suelo-cemento.

### **1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

En El Salvador la importancia de efectuar el curado en las mezclas de concreto, muchas veces se deja de lado ya que es una tarea que puede llegar a requerir mucho tiempo dependiendo de la magnitud de la obra; sin embargo, la falta de éste procedimiento afecta negativamente a la resistencia de la mezcla y por ende la de los miembros o estructuras que conforma. En el suelo-cemento no es la excepción pues como su nombre lo indica posee polvo de cemento, si bien en menor cantidad que en el caso del concreto; pero es necesario lograr desarrollar en su totalidad la resistencia proporcionada por el cemento dentro de la mezcla. Existe una norma para el curado acelerado de especímenes de concreto que serán sometidos a ensayo de compresión<sup>3</sup>, pero las mezclas de suelo-cemento no cuentan con especificaciones que ayuden a establecer una manera

---

<sup>3</sup> Norma ASTM C 684.



para realizar el tipo de curado ya mencionado; por lo que se vuelve interesante la ejecución de una investigación que permita establecer un procedimiento para llevar a cabo los ensayos a compresión de especímenes de suelo-cemento que hayan sido sometidos a altas temperaturas para curarse aceleradamente.

La aplicación de este método de curado acelerado, es de muy poca utilización en El Salvador, por lo que se requiere efectuar un análisis de la efectividad de la aplicación del mismo en mezclas de suelo-cemento compactable, en cuanto a la temperatura y tiempos de exposición dentro del horno más idóneos para dicho tipo de mezclas, cuyos resultados puedan ser conocidos y evaluados para conocer a una edad temprana, la resistencia que se obtendrá en el campo, con una mezcla obtenida en laboratorio.

#### **1.6 ALCANCES GLOBALES:**

- El suelo a utilizar para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento será extraído de un único banco de material, ubicado en Cantón San Jacinto, Municipio de Coatepeque en el Departamento de Santa Ana, ya que se ha tomado a bien, clasificar un banco de suelo que se encuentre cercano a la ciudad de Santa Ana.
  
- Se elaborará una mezcla para cada uno de los tipos de cemento más utilizados a nivel nacional para la construcción de bases en proyectos viales, los cuales son: cemento C 91 y C 1157, más conocidos como cemento de Albañilería y cemento Tipo GU de uso general,

respectivamente, dando como resultado dos diseños de mezcla de suelo-cemento.

- El estudio se enfocará en el análisis de dos mezclas de suelo con contenidos óptimos de cemento C 91 y C 1157 necesarios para cumplir con la resistencia requerida por el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).
- Utilizando el método del curado acelerado, se realizarán únicamente pruebas a compresión simple a especímenes elaborados con las mezclas de suelo-cemento antes mencionadas, para conocer su resistencia y predecir el comportamiento que éstas tendrían al ser utilizadas en proyectos de carreteras.
- Se realizará el curado acelerado sometiendo grupos de especímenes a dos tipos de temperaturas diferentes mediante el horno de secado, para el caso 40° y 60° C, los cuales se ensayaran a compresión en periodos de distintas edades: 1, 2 y 3 días; resultados que serán comparados con los obtenidos en bachadas de control, ensayadas a los 7 días por el método convencional.
- Se realizará el método de curado convencional en laboratorio (envoltura de los especímenes de suelo-cemento en papel periódico y aislándolos utilizando bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad, durante un periodo de 7 días) en especímenes de suelo-cemento para tener parámetro de control de la resistencia en la mezcla elaborada.

- Se efectuará una comparación de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio de la mezcla de suelo-cemento curado convencionalmente en el laboratorio<sup>4</sup>, posterior al compactado del mismo, y el curado acelerado utilizando altas temperaturas.
- Finalmente se elaborará un documento que contenga el resultado de los análisis realizados durante la investigación y que aporte información sobre los efectos que tiene la aplicación del método de curado acelerado en el suelo-cemento.

### **1.7 LIMITACIONES**

- La falta de información bibliográfica sobre la aplicación del curado acelerado en mezclas de suelo-cemento en el país, provoca la toma de parámetros indicados en documentos relativos al proceso de curado de la estabilización de suelos con cal y el curado acelerado de especímenes de concreto a ser ensayados a compresión, por lo que la investigación se limita al desarrollo de cilindros de suelo-cemento en el laboratorio y no en el campo.
- Reducida capacidad instalada del laboratorio de ISCYC, para el acopio de materiales que son necesarios para la realización de cada una de las pruebas a desarrollar durante el desarrollo del trabajo, puesto que la institución por ser un ente privado realiza otras investigaciones.

---

<sup>4</sup> Según ASTM D 1632.

- Debido a los trabajos que como institución realizan a otras empresas y el apoyo que el ISCYC brinda a otros grupos de estudiantes, las pruebas a realizar deben de ser programadas y no salirse del rango de fechas propuestas, de manera que estas no afecten las actividades que el personal del laboratorio deben realizar y asegurar la atención que se brinde al grupo de investigación.

## **1.8 JUSTIFICACIÓN**

En la construcción de toda obra civil y en especial en la construcción de carreteras es indispensable el uso del suelo-cemento para conformar la base en la cual estará soportada la estructura de la capa de rodamiento.

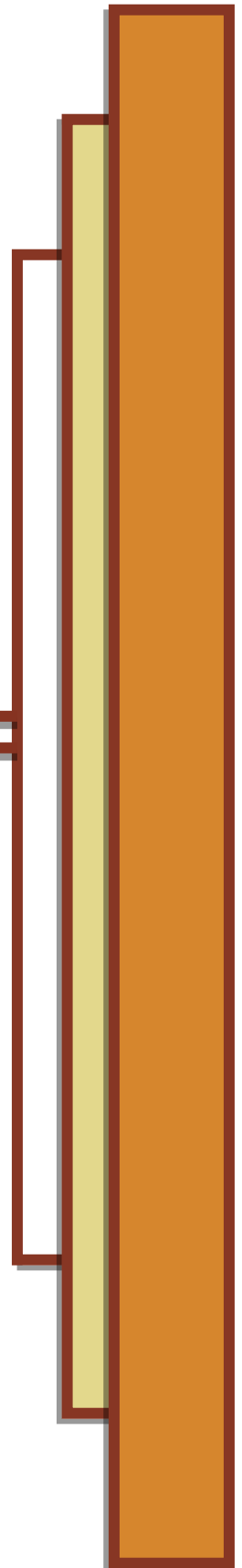
El Salvador presenta en los últimos años un aumento en el desarrollo vial, por lo cual se vuelve necesario desarrollar métodos que reduzcan tiempo y recursos para elevar el desempeño de las carreteras que actualmente se construyen.

Debido a la falta de investigaciones realizadas en el país referentes al método del curado acelerado en mezclas de suelo-cemento compactado, se vuelve importante llevar a cabo investigaciones acerca de éste tema para conocer las ventajas y desventajas que conlleva la aplicación de este procedimiento con enfoque en laboratorio, de tal manera que dentro de esta área se innove en los

procesos de curado, mismo que facilite una predicción de los resultados de resistencia que en el futuro se esperan en el funcionamiento de una carretera.

Es por todo lo anterior que es necesario desarrollar investigaciones que impulsen a la ejecución de nuevos métodos de observación práctica en laboratorio de los parámetros que son evaluados durante los procesos constructivos; como lo es el caso del curado acelerado empleando altas temperaturas a especímenes de suelo-cemento, los que mostraran el alcance de resistencia que se confía obtenga la mezcla que se aplicaría en campo, abonando así al desarrollo tecnológico de apreciaciones esperadas en obras viales.

## **CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN**



## 2.1 INTRODUCCIÓN

El suelo-cemento suele ser definido de una manera muy general como una mezcla de suelo y cemento, la cual debe cumplir con determinadas características, además de agregar una cantidad óptima de agua para su fraguado y posterior compactación; en este capítulo se presentan múltiples definiciones las cuales ampliarán el conocimiento sobre estas clasificaciones.

## 2.2 DEFINICIONES

En cada país y a lo largo del tiempo se le ha dado diversas connotaciones al concepto de suelo-cemento; algunos lo describen en términos amplios y otros los restringen. En esta investigación se incluyen diversos puntos de vistas que han enriquecido el tema.

El contenido de cemento y el tipo de suelo han generado distintas definiciones y clasificaciones de mezclas de suelo-cemento.

De acuerdo al **ACI 230-1R**<sup>5</sup> se puede definir el suelo-cemento como: “Una mezcla de suelo con cantidades medidas de cemento portland y agua compactados a una alta densidad”. De acuerdo al proceso de elaboración el suelo-cemento puede definirse como un “material que se produce mezclando, compactando y curando una combinación de suelo, cemento portland, agua y

---

<sup>5</sup> ACI: American Concrete Institute reported by ACI Committee 230

posiblemente incluyendo adiciones como la puzolana para tomar un material endurecido con propiedades específicas de ingeniería”<sup>6</sup>.

**La Portland Cement Association (PCA)** lo define de la siguiente manera: “El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas proporciones de agua y cemento que se compactan y curan para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido”. Se le usa principalmente como base de carreteras, calles y aeropuertos.

**Suelo-Cemento Plástico** La Portland Cement Association (PCA) lo considera como: “La mezcla de cemento con un suelo fino muy húmedo en estado plástico. Cuando se coloca tiene la consistencia de mortero plástico. Frecuentemente se usa en zonas difíciles donde no es posible compactar. Requiere una cantidad de cemento mayor que el tipo compactado esto es mayor del 10% y no se compacta”, este tipo de suelo-cemento es más conocido como *lodocreto* (Lavalle E. d., 1995).

## **2.3 EL SUELO-CEMENTO, SUS VENTAJAS Y LIMITACIONES**

### **2.3.1 PRINCIPALES VENTAJAS**

Entre las ventajas que el suelo-cemento ofrece están:

- a) “La estabilización de los suelos aumenta enormemente la potencialidad de uso de los bancos de materiales existentes” (Lavalle E. d., 1995). Esto

---

<sup>6</sup> Traducción de ACI 230-1R, *State-of-the-Art Report on Soil Cement*, pág. 2.



radica en la importancia de aplicar los tratamientos adecuados para satisfacer las especificaciones de diseño que deben cumplir los materiales que son extraídos de los bancos para no ser excluidos de los proyectos.

- b) Presenta un reducido daño al medio ambiente, ya que su uso permite que exista una menor necesidad de la utilización de bancos de materiales que aún no han sido explotados (FICEM: Quintanilla, 2007).
- c) La base de suelo-cemento ya colocada y endurecida es bastante más rígida que las bases usuales de gravas, lo que permite transmitir de una mejor manera las presiones que son ejercidas por los vehículos que transitan sobre la capa de rodadura a la sub-base.
- d) Experimenta prolongada durabilidad bajo condiciones adversas, ya sean estas provocadas por el hombre o por los efectos climáticos desfavorables.
- e) Permite reducir considerablemente tiempos en la construcción, esto cuando se presentan urgencias en la ejecución de un proyecto, siempre y cuando se apliquen las técnicas y maquinarias apropiadas.
- f) Su resistencia aumenta con el tiempo, incrementando su vida útil, la que en ocasiones es mayor que la de los tratamientos asfálticos (FICEM: Quintanilla, 2007). (FICEM: Quintanilla, 2007).

### 2.3.2 PRINCIPALES DESVENTAJAS

En el libro de IMCYC<sup>7</sup> sobre el “*Suelo-Cemento: Usos, propiedades y aplicaciones*” se encuentran las desventajas más comunes del suelo-cemento, las cuales se mencionan a continuación:

- El incremento del costo de la mezcla, debido a la adición del cemento y cada una de las actividades constructivas que estas conllevan.
- La colocación y compactación de las capas deben realizarse con gran rapidez debido al fraguado rápido que la mezcla de suelo con cemento obtiene al ser humedecida, de lo contrario puede provocar la obtención de pésimos resultados.
- En algunas ocasiones, al no alcanzar una buena compactación, puede producir *agrietamientos* en los pavimentos.
- Debido a la reducida resistencia al desgaste que el suelo-cemento presenta, las bases de esta mezcla necesitan capas de rodadura de concreto asfáltico, tratamientos superficiales o capas de rodadura de concreto hidráulico, para contrarrestar este efecto.

### 2.4 CLASIFICACIÓN

El suelo-cemento se puede clasificar de acuerdo a la cantidad de cemento que sea incorporado a la mezcla.

---

<sup>7</sup> IMCYC: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

#### **2.4.1 SUELO-CEMENTO COMPACTADO**

El *suelo-cemento compactado* generalmente denominado suelo-cemento, “es un material que requiere una cantidad de cemento que varía entre el 3 y el 7% en peso de materiales secos, su resistencia a compresión suele ser superior a 4 MPa” (FICEM: Quintanilla, 2007). Para que la mezcla elaborada sea capaz de soportar la compactación con rodillo, es necesario que se elija la cantidad de agua suficiente y óptima.

Este es el tipo más usado<sup>8</sup>, “se utiliza generalmente como capa de apoyo (sub-base) de otros materiales tratados con elemento cementante o concreto hidráulico, o bien como capa resistente (base inferior) bajo capas bituminosas”.

#### **2.4.2 SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO**

Los suelos estabilizados con cemento también llamados “suelos tratados con cemento” suelen utilizarse también como sub-rasante especialmente en estructuras de pavimento para tráfico pesados.

Se define “como una mezcla de suelo, cemento y agua, con un contenido mínimo de cemento en peso del 2%, con el propósito de obtener un material que posea cierta rigidez y buena resistencia mecánica. Si la porción granular del suelo es elevada, ésta última puede ser importante, obteniendo un material insensible al agua, es decir un material impermeable capaz de resistir a largo plazo las

---

<sup>8</sup> Como lo indica el libro de *El Estado del Arte del Suelo Cemento en Estructuras de carretera*, página 15.

deformaciones que el tráfico produce con el paso del tiempo” (FICEM: Quintanilla, 2007).

El suelo tratado con cemento puede ser hecho con:

- Suelo granular limpio (Mezcla de grava y arena)
- Mezcla de suelos granulares y finos, predominantemente limosos.
- Mezclas de suelos granulares y finos, predominantemente arcillosos.
- Suelos limosos.
- Suelos arcillosos.

Se debe considerar que mientras más fino tenga el suelo, principalmente de tipo arcilloso, mayor cantidad de cemento requerirá y por tanto mayor será su costo.

### **2.4.3 SUELO-CEMENTO PLÁSTICO**

Consiste en una mezcla de suelo fino, cemento, agua y/o aditivos suficientes para conseguir una consistencia fluida, por lo que a este tipo de mezcla se denomina comúnmente *lodocreto*. Sus propiedades permiten que sea englobada dentro de los denominados *Materiales de Resistencia Baja Controlada* (CLSM<sup>9</sup>, por sus siglas en inglés). Controlada por el Comité ACI 229R. Entre las aplicaciones de este material está la construcción de bases de pavimentos, en cuyo caso se usan mezclas plásticas y no fluidas, diseñadas de tal forma que se puedan colocar y enrasar fácilmente teniendo además la menor contracción

---

<sup>9</sup> CLSM: Controlled low-strength material, ACI 229R

posible; además este tipo de mezclas son utilizadas como “camas” de tuberías colocadas en trincheras o para construir pavimentos en áreas confinadas, en pendientes pronunciadas o de difícil acceso, tales como cunetas, o estructuras de control de erosión, en donde un equipo de pavimentación tradicional no tenga acceso. Los valores de resistencia a compresión simple que el ACI sugiere en capas de base de suelo-cemento plástico varían entre 3 y 8,5 MPa (FICEM: Quintanilla, 2007) .

#### **2.4.4 BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO**

La PCA ha definido ésta mezcla como “la unión de agregados pétreos, cemento Portland y agua, que endurece después de ser compactada y curada para formar un pavimento de material durable. Se usa como capa de base en estructuras de pavimentos, volviendo necesaria una capa de rodadura bituminosa o de concreto hidráulico. Las propiedades estructurales de este tipo de bases dependen de los agregados, del contenido de cemento, de las condiciones de compactación y curado, y de la edad. Los valores de resistencia a la compresión de 3 a 6 MPa, módulo de ruptura (resistencia a flexo-tensión) de 0,7 a 1 MPa y de módulo de elasticidad 7,000 a 14,000 MPa, son por lo general los más habituales.

#### **2.4.5 PAVIMENTOS UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO**

Son una estructura de pavimento formada por una sola capa usando el suelo existente en el camino, mezclado con un porcentaje de cemento Portland de entre 11 y 20% en peso, que compactada al porcentaje de diseño es capaz de

soportar las cargas y el desgaste producido por el tráfico, proporcionando a la vez una superficie de rodaje adecuada.

Este tipo de pavimento tiene un campo de aplicación específico en la red vial no pavimentada y constituye una alternativa a las tradicionales intervenciones de colocación de balasto que se hacen dos veces por año (antes y después de la época lluviosa). Las propiedades estructurales de los pavimentos unicapa, dependen del tipo de suelo y del contenido de cemento así como de la energía de compactación y del curado. Los valores más frecuentes de resistencia a compresión varían entre 5 y 13 MPa, el módulo de ruptura entre 1 y 2.3 MPa y el módulo de elasticidad entre 10,000 y 20,000 MPa (FICEM: Quintanilla, 2007).

#### **2.4.6 PAVIMENTOS RECICLADOS CON CEMENTO**

Son varios los motivos que hacen que el uso de reciclado de cemento sea una solución viable. Regularmente se trata de pavimentos flexibles agrietados o fisurados debido a la cantidad de tráfico pesado que circula a lo largo de su vida útil, o bien por dificultades con el drenaje y los *ahuellamientos*.

Comparada a otras soluciones de rehabilitación, el reciclado de estos pavimentos con cemento permite la utilización de las capas deterioradas logrando rescatar y en la mayoría de casos aumentar la capacidad de soporte y características mecánicas en general, lo que se convierte en una mejora del nivel de servicio. Técnicamente se logra un pavimento más duradero y con menor susceptibilidad al daño que el agua pueda producir (FICEM: Quintanilla, 2007).

Ya se han aclarado algunos conceptos de lo que son las mezclas de suelo con cemento en este capítulo; se vuelve importante detallar el tipo de materiales que conforman la mezcla, por lo tanto en el capítulo 3 se ampliará las características que los mismos deben cumplir.

# CAPÍTULO 3: MATERIALES



### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se muestran las definiciones y características que deben tener los materiales que componen la mezcla de suelo-cemento, debido a que no es posible obtener un resultado favorable en ellas si sus componentes no cumplen con los requisitos que algunas normas como las ASTM se especifican.

El suelo-cemento es una mezcla de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento portland y agua que se compactan y curan, para obtener densidades altas y para que se produzca su endurecimiento más efectivo.

De esta forma se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión prácticamente impermeable termo aislante y estable en el tiempo. De los tres componentes del suelo-cemento, el del mayor volumen y más complejo es el suelo.

### **3.2 SUELOS**

La mayoría de suelos son aptos para la elaboración de suelo-cemento, con excepción de los suelos orgánicos, las arcillas altamente plásticas y los suelos arenosos pobremente reactivos<sup>10</sup>. Es necesario realizarle pruebas pertinentes a los suelos para clasificarlo y verificar si es apto para ser estabilizado con cemento.

---

<sup>10</sup> Basada en el documento técnico *Dosificación de Mezclas de Suelo Cemento*. Colombia, Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC. (Pág. 3)

Existen diferentes formas de clasificar el suelo; los más ampliamente usados son, el sistema de clasificación **SUCS** (Sistema Unificado de Clasificación Suelos) y el **AASHTO** (American Association of State Highway and Transportation Officials).

La American Standard for Testing and Materials (**ASTM**) presenta el sistema de clasificación de suelos SUCS bajo la designación ASTM D-2487 y el sistema de clasificación AASHTO<sup>11</sup> bajo la designación ASTM D-3282.

**La American Association of State Highways and Transportation Official (AASHTO)** usa un sistema de clasificación de suelos orientados a indicar el comportamiento de materiales usados como sub-bases de carreteras. La clasificación entonces se fundamenta en describir las propiedades, buenas o malas, del material a usarse como sub-base considerando las condiciones y propiedades mecánicas deseables para ese fin. Se utiliza sobre todo para vías terrestres donde resulta ser de mucha utilidad al determinar la calidad de suelo de sub-rasante. El sistema agrupa a los suelos con base en su capacidad para soportar cargas basándose en los límites de plasticidad e índice de plasticidad y en ciertas propiedades granulométricas. Esta clasificación divide los suelos en dos clases: Una formada por suelos granulares y otra formada por suelos de granulometría fina.

---

<sup>11</sup> AASHTO M-145

Existen siete grupos básicos de suelo los cuales están designados desde la A-1 hasta la A-7, los suelos son designados en estos grupos de acuerdo a su funcionamiento, el A-1 resulta ser el mejor y el A-7 es el peor suelo. Desde la A-1 hasta la A-3 los suelos son arenas y gravas, siguiendo con A-4 hasta A-7 los cuales son limos y arcillas.

Dentro de cada uno de estos grupos se hace una distinción de sub-grados de acuerdo a la calidad, lo que es indicado por una letra adicional o un número. Además cada grupo designado se complementa con un índice de grupo. Aquellos suelos que tiene un comportamiento similar se hallan dentro del mismo índice de grupo; la clasificación de un suelo en un determinado grupo, se basa en su grado de plasticidad y el porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200 (0.075mm);

La Tabla 3.1 representa de manera resumida la clasificación AASHTO, en donde se procede de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo y en la primera columna, donde el suelo cumple con las especificaciones señaladas en cada columna; se leerá en el renglón correspondiente la clasificación de grupo y sub-grupo.

**El Sistema Unificado de Clasificación Suelos (SUCS)** describe los suelos de manera general como grava, arena, limo y arcilla; la mayor parte de suelos naturales resultan ser una mezcla de dos o más de estos elementos, pudiendo o no contener materia orgánica.

**TABLA 3.1: CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO**

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (Igual O Menor Del 35% Pasa El Tamiz N°200)							Materiales Limo-Arcillosos (Más Del 35% Pasa El Tamiz N°200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
SUB-GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	
%Que Pasa El Tamiz												
N°10	50 máx.											
N°40	30máx.	50 máx.	51 máx.									
N°200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min	36 min.	36min.	36min.	
Características del material que pasa el tamiz N°40												
Limite liquido			No plástico	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 máx.	
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	
Índice De Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Tipos De Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillas				Suelos limosos		Suelo arcilloso		
Terreno De Fundación	Excelente a bueno						Regular a deficiente					
<p><b>NOTA:</b> el índice de plasticidad de los suelos A-7.5 es igual o menor que su límite líquido (LL-30), El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.                      El grupo A-7 es sud-divido en A-7-5 o A-7-6 dependiendo de su límite plástico (L.P.)                      Si el LP ≥ 30, la clasificación es A.7-6                      Si el LP &lt; 30, la clasificación es A.-7-5</p>												

**FUENTE: AASHTO**

El sistema unificado (SUCS) utiliza la siguiente simbología, para suelos gruesos:

- I. Gravas: **GW, GC, GP Y GM.** Arenas: **SW, SC, SP Y SM.**

Donde las siglas representan:

**G**: Gravas o suelos gravosos, **S**: Arenas o suelos arenosos, **W**: Bien graduado, **C**: Arcilla inorgánica, **P**: Mal graduado, **M**: Limo inorgánico o arena muy fina.

Así por ejemplo, **SM** significa suelos arenosos con cierto contenido de limo.

II. Para los materiales finos, limosos o arcillosos: suelos de baja o mediana compresibilidad **ML**, **CL** y **OL**, Suelos de alta compresibilidad **MH**, **CH** y **OH**.

Donde las siglas representan:

**O**: Limos, arcillas y mezclas limo-arcillosas con alto contenido de materia orgánica, **L**: baja o mediana compresibilidad, **H**: Alta compresibilidad.

Así por ejemplo **CH** significa suelos arcillosos con alta compresibilidad.

Existen diversos criterios que limitan y especifican las características que debe tener un suelo para considerarse apto para la elaboración de mezclas de suelo-cemento.

El **ACI 230-1R** establece que la granulometría de los agregados no es tan restrictiva como en los hormigones, pero señala que los materiales con pasante por la malla N°200 de entre 5 y 35% producen un suelo-cemento más económico.

También indica que el tamaño nominal máximo debe limitarse a 50mm, con no menos de 55% de material pasante por la malla No. 4 (4.75mm).

Los suelos que pueden ser utilizados para la elaboración de Suelo-Cemento deberán cumplir con las siguientes características:

- a) Contenido de finos que pasa tamiz No. 200 inferior a 50%.
- b) Contenido de arcilla inferior a 15%.
- c) Retenido en la malla No. 4 menor del 45%.
- d) Contenido de materia orgánica inferior al 2%.
- e) Suelos con clasificación GW, GP, SW, SP, GM, SM, GC, SC, ML, Se descartan los desechos de construcción y suelos orgánicos.
- f) pH mínimo = 12.1
- g) La humedad de la mezcla tendrá una tolerancia máxima de 5% por encima de la humedad óptima.
- h) Límite líquido menor al 50%.
- i) Índice plástico menor a 25%.
- j) Contenido de arcillas y limos menor al 25%.

### **3.3 CEMENTO**

El cemento debe cumplir con las normativas AASHTO M-85 o ASTM C-150.

Cualquier tipo de cemento puede utilizarse en la estabilización de los suelos. El cemento portland normal Tipo I es el más utilizado, aunque también se puede usar cemento de alta resistencia inicial del Tipo II. Estos cementos deben cumplir con la norma ASTM C 150. Se han realizado varios trabajos de investigación que concluyen que el cemento Portland Tipo I permite a la mezcla alcanzar mayor resistencia que el Tipo II, pues contiene mayor cantidad de Aluminato Tricalcico<sup>12</sup> y sulfato de calcio, pero el Tipo II es preferible al Tipo I cuando se trata de reducir agrietamientos. Los cementos expansivos han demostrado ser muy efectivos en suelos granulares gruesos para minimizar el agrietamiento. Cuando se trata suelos con cantidades apreciables de finos plásticos los cementos expansivos han demostrado eficazmente una disminución en el agrietamiento que se produce.

La Portland Cement Association (PCA) establece que cualquier tipo de cemento Portland que cumpla con los requisitos y pruebas de las últimas especificaciones ASTM C 150, C 595, C 1157 o C 91, puede ser utilizado.

Los requerimientos de cementos varían según el tipo de suelo y de las propiedades deseadas para el suelo-cemento. El contenido de cemento puede variar entre valores tan bajos como el 4% o tan altos como el 15% del peso seco del suelo. De una manera general, el contenido de cemento requerido aumenta a medida que aumenta el contenido de arcilla del suelo utilizado.

---

<sup>12</sup> El aluminato tricálcico es el compuesto químico que reacciona inmediatamente al agregar agua al cemento.

La Tabla 3.2 proporciona el rango normal de cantidades de cemento requeridas para los varios tipos de suelos, clasificados por las AASHTO.

**TABLA 3.2: CANTIDADES DE CEMENTOS REQUERIDAS, PCA.**

GRUPO DE SUELO SEGÚN AASHTO	GRUPO DE SUELO SEGÚN LA SUCS	PORCIENTO POR VOLUMEN	PORCIENTO POR PESO
A-1-a	GW,GP,GM, SP,SM Y SW	5-7	3-5
A-1-b	GP,GM, SM Y SP	7-9	5-8
A-2-4	GM,GC,SM,SC	7-10	5-9
A-2-5	GM,GC,SM,SC	7-10	5-9
A-2-6	GM,GC,SM,SC	7-10	5-9
A-2-7	GM,GC,SM,SC	7-10	5-9
A-3	SP	8-12	7-11
A-4	ML,CL	8-12	7-12
A-5	CL, CH, MH	8-12	8-13
A-6	CH, CL	10-14	9-15
A-7	OH , MH, CH	10-14	10-16

**FUENTE: AASHTO**

### 3.4 AGUA

La calidad del agua debe cumplir con la norma **ASTM C 1602**.

El agua se utiliza para la hidratación del cemento Portland al igual que para conseguir la máxima compactación de la mezcla. Los contenidos del agua del suelo-cemento varían usualmente dentro del rango del 10 al 20% del peso del suelo-cemento en suelos plásticos y menores al 10% en suelos granulares.

El agua tiene como funciones principales:



- Hidratar el cemento para producir la aglutinación de las partículas sólidas.
- Producir la lubricación entre las partículas para facilitar la compactación.

Se recomienda que el agua a utilizarse sea relativamente limpia y libre de cantidades apreciables de ácidos álcalis y materia orgánica que puedan afectar al cemento, puede usarse agua potable, aguas relativamente limpia, libre de ácidos o materiales orgánicos.

Durante la construcción, el suelo-cemento se hidrata completamente hasta después de 43 días en suelos plásticos, y en unos 28 días en suelos granulares.

### **3.5 ADITIVOS**

La mayoría de aditivos utilizados en mezclas de suelo-cemento, están destinados a retrasar el proceso de fraguado y es utilizado cuando la mezcla se ha elaborado en planta y es transportada al sitio de colocación.

Debido a las condiciones climáticas es necesario agregarle algún tipo de adición como por ejemplo puzolanas y cenizas volantes según ASTM C 618, han sido usadas en mayor cantidad que los aditivos químicos.

Este tipo de adiciones puede llegar a incrementar la resistencia a largo plazo de las mezclas, optimizar la dosificación de cemento y mejorar en algunos casos la trabajabilidad de las mezclas.

Los aditivos más usados son<sup>13</sup>:

- a) **Aditivos Higroscópicos:** Azúcar, Cloruro de sodio, cloruro de calcio.
- b) **Aditivos para reducir el contenido de agua durante el mezclado:** Ligno-sulfatos (Pozzolite 8).
- c) **Agentes fluoculantes:** Cal
- d) **Agentes reductores de calor de hidratación de la mezcla:** FlyAsh y carbonatos de sodio.
- e) **Agentes endurecedores y selladores de superficie:** Sales de sodio, silicatos de sodio, hidróxido de sodio, silicato de sodio.
- f) **Aditivos expansivos:** Sulfato de sodio, sales, aluminio.
- g) **Cementos expansivos:** Cemento Portland tipo IV.
- h) **Agentes para favorecer la liga entre la capa de suelo-cemento:** Lignosulfato de calcio y ácido carboxílico hidroxilatado.

La efectividad de cada aditivo es en función del tipo de suelo y de las condiciones ambientales, generalmente existe una cantidad óptima de aditivo que produce un mejor resultado.

---

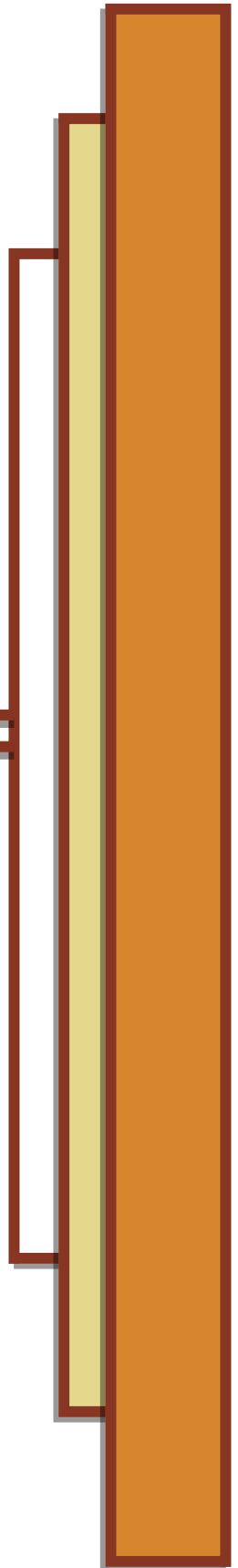
<sup>13</sup> Basado en el documento técnico *Suelo-Cemento Usos, Propiedades y Aplicaciones* (pág. 23). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

Los aditivos que han resultado ser más beneficiosos para reducir el agrietamiento, en base a ASTM C618, son los siguientes:

Cenizas volantes (FlyAsh), Pozzolite, Cloruro de calcio, Sulfato de magnesio, sodio y calcio, Cementos expansivos, Hidróxidos de sodio (solamente en caolinitas).

Si se cumple con exactitud con cada una de las especificaciones de los materiales del suelo-cemento, algunas de las propiedades que esta mezcla posee se verán favorecidas. Para ampliar el conocimiento sobre estas, en el siguiente capítulo se explica la influencia que las mismas tienen en el suelo-cemento.

# **CAPÍTULO 4: PROPIEDADES DEL SUELO-CEMENTO**



## **4.1 INTRODUCCIÓN**

Las propiedades del suelo-cemento están influenciadas por algunos factores como los siguientes: Tipo y proporción de suelo, del cemento y del contenido de agua; grado de compactación, uniformidad de la mezcla, condiciones de curado y edad de la mezcla compactada.

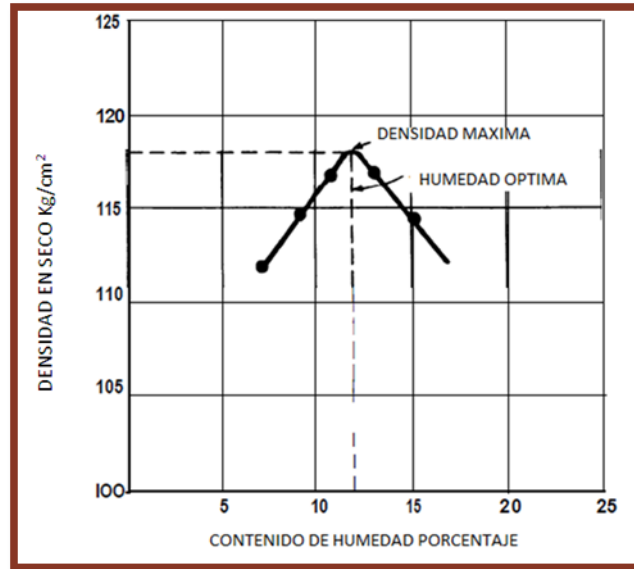
Como consecuencia de estos factores existe un amplio rango de propiedades específicas, las cuales se despliegan a lo largo del contenido de este capítulo

## **4.2 DENSIDAD**

De acuerdo al ACI 230-1R (Institute, 2009) la densidad del suelo se suele medir en términos de la densidad en seco, no obstante la densidad húmeda se puede utilizar para campo de control de densidad. La prueba de la humedad-densidad designada bajo la norma ASTM D 558 (ASTM, 2003), se utiliza para determinar el contenido de humedad adecuado y la densidad (se refiere al contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima) para que la mezcla de suelo-cemento se compacte. Una curva típica de la humedad y densidad se muestra en la Imagen 4.1.

La acción de floculación del cemento tiende a producir un aumento en el contenido de humedad óptima y una disminución de la densidad máxima, mientras que la alta gravedad específica del cemento en relación con el del suelo tiende a producir una mayor densidad.

**IMAGEN 4.1: CURVA DE HUMEDAD-DENSIDAD.**



**FUENTE: ACI 230-1R, (FIG. 4.1)**

Se ha demostrado que para un determinado contenido de cemento, a mayor densidad, mayor será la resistencia a la compresión de mezclas de suelo-cemento-cohesivos<sup>14</sup>.

También se ha demostrado que si se producen retrasos prolongados entre la mezcla de suelo-cemento y su compactación estos retrasos influirán en la densidad y la fuerza de resistencia de la misma.

A través de estudios<sup>15</sup> se ha constatado que un retraso de más de 2 horas entre los resultados de la mezcla y la compactación ocasiona una disminución significativa en la densidad y fuerza de compresión. Los efectos provocados por estos retrasos pueden ser minimizados si el suelo-cemento es mezclado de

<sup>14</sup> Estudios realizados por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

<sup>15</sup> Estudios realizados por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

manera intermitentemente varias veces por horas y si el contenido de humedad al momento de la compactación corresponde al óptimo o ligeramente por encima del óptimo.

### **4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**

La resistencia a la compresión simple es la propiedad de suelo-cemento que se toma generalmente como referencia y se cuantifica con base a la norma ASTM D 1633. Sirve como criterio para determinar el mínimo de cemento para diseñar la mezcla de suelo-cemento. Esta propiedad se ve afectada de la misma manera que la densidad tanto por el grado de compactación como por el contenido de agua.

Puesto que la mayor parte de la estructura de suelo-cemento puede permanecer saturado o confinado durante su vida de servicio, y como las resistencias del suelo-cemento son menores en condiciones saturadas al aplicar el procedimiento del ASTM D 1633 deben determinarse la resistencia a compresión saturando los especímenes antes de ser sometidos a la rotura por compresión sin confinamiento.

Las Tablas 4.1 y 4.2 presentan los rangos de las resistencias a la compresión sin confinamiento a los 7 y 28 días, agrupados según los materiales más comúnmente usados para las bases de suelo-cemento. La resistencia corresponde a especímenes saturados.

**TABLA 4.1: ESPECÍMENES CURADOS A 7 Y 28 DÍAS**

TIPO DE SUELO			RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPECIMENES SATURADOS* (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			7 DIAS	28 DIAS
<b>Suelos de arena y grava:</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>	21.0 – 42.0	28.0 – 70.0
	<b>GW, GC, GP GM, SW, SC, SP, SM</b>	<b>Grupos A-1, A-2, A-3</b>		
<b>Suelos limosos</b>	<b>ML y CL</b>	<b>Grupos A-4 y A-5</b>	18.0 – 35.0	21.0 – 63.0
<b>Suelos arcillosos</b>	<b>MH y CH</b>	<b>Grupos A-6 y A-7</b>	14.0 – 28.0	18.0 – 42.0

\* Especímenes curados a 7 y 28 días, luego saturados en agua antes del ensayo de resistencia.

*FUENTE: MONOGRAFÍAS, CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, BASES DE AGREGADOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO*

**TABLA 4.2: REQUISITOS MÍNIMOS A COMPRESIÓN SIMPLE PARA SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO.**

<b>RESISTENCIA MINIMA A COMPRESION A 7 DIAS (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
27.0

*FUENTE: CONDICIONES TÉCNICAS MR0232 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO, FOVIAL 2009.*

En general se exige en capas de sub-rasante estabilizada valores de 1.5 MPa (15.30 Kg/cm<sup>2</sup>) a 7 días y en capas de base o sub-base valores comprendidos entre 2.0 MPa (20.39 Kg/cm<sup>2</sup>) y 2.5 MPa (25.49 Kg/cm<sup>2</sup>).

Es importante mencionar que la resistencia a la compresión simple aumenta apreciablemente con el tiempo. Como se ha podido comprobar a través de un gran número de ensayos y mediciones. La resistencia a la compresión simple aumenta considerablemente en los primeros 90 días de una a tres veces más que los 7



días, según el tipo de suelo, tipo y contenido de cemento. Mientras que en edades posteriores se muestra un crecimiento más lento<sup>16</sup>.

#### 4.4 RESISTENCIA A FLEXIÓN

El comportamiento del suelo-cemento respecto a su resistencia a la flexión se ha conocido directa e indirectamente a través de diversos ensayos, como por ejemplo el de elaboración de vigas según ASTM D1635, o bien mediante ensayos de tracción indirecta.

La resistencia a tracción por flexión en suelo-cemento fluctúa aproximadamente entre un tercio de la resistencia sin confinamiento a la compresión para mezclas de baja resistencia y un quinto para mezclas de altas resistencias. Una buena aproximación para determinar el módulo de rotura a la flexión se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$MR = 0.37(f'c)^{0.88} \text{ (Valores en kg/cm}^2\text{)}$$

**Siendo:**  $f'c$  = Esfuerzo a compresión del concreto a los 28 días.

*Ref.: Monografías, Centro Técnico del Hormigón, Bases de Agregados Estabilizados con Cemento*

Los valores de resistencia a la tracción deducidos de los resultados de las pruebas de tracción por flexión, de la tracción indirecta por compresión y de la tracción directa, pueden diferir como consecuencia del efecto de la concentración

---

<sup>16</sup> Quintanilla, C.A. (2007). Capítulo 4: Propiedades en *El Estado del Arte del Suelocemento en Estructuras de Pavimentos* (Primera Edición, Pág. 24) Panamá: Federación Interamericana del Cemento - FICEM

de los esfuerzos y de las diferencias entre los módulos elásticos por compresión y por tracción.

#### **4.5 RETRACCIÓN**

La retracción de la mezcla de suelo-cemento es el resultado de la pérdida de agua por el secado y de las reacciones ocurridas durante la hidratación del cemento.

En el suelo-cemento, durante el proceso de secado, se produce retracción. Como resultado de esta retracción se produce una fisura, las características de la fisura dependen del contenido de cemento, del tipo de suelo, del contenido de agua, del grado de compactación y de las condiciones de curado.

El patrón de la *fisuración* del suelo-cemento depende fundamentalmente del tipo de suelo utilizado para la mezcla. En los que se emplean arcillas, se producen las mayores retracciones totales, pero las *fisuras* son más finas y menos espaciadas (entre 300 y 600 cm).

Con el fin de minimizar la fisuración por retracción en el suelo-cemento su superficie debe mantenerse húmeda durante todo el periodo de curado y debe colocarse con un contenido de humedad ligeramente mayor al contenido óptimo.

#### **4.6 MÓDULO DE ELASTICIDAD**

Esta es una propiedad muy importante en el diseño estructural de pavimentos, ya que si se obtiene un elevado módulo de elasticidad, se puede

lograr que las deformaciones posibles generadas por las cargas impuestas por el tráfico vehicular sean menores.

Para obtener elevados módulos de elasticidad, es necesario el tratamiento de suelos con cemento, por lo que se obtiene una rigidez tal que es aprovechada para una distribución de carga y un buen desempeño de la estructura del pavimento durante su vida útil.

El módulo de elasticidad estático y dinámico es muy variable y depende del tipo del suelo y de la cantidad de cemento principalmente. En general, este módulo es bajo comparándolo con el del concreto y muy alto si se le compara con el del suelo natural compactado.

Los valores más comunes a los 28 días de curado del módulo de elasticidad estático en mezclas de suelo-cemento que en cierta proporción son granulares varían entre 4,000 (40,788.64 Kg/cm<sup>2</sup>) y 7,000 Mpa (71380.13 Kg/cm<sup>2</sup>)<sup>17</sup>.

Los resultados obtenidos de los ensayos a realizar para determinar esta propiedad serán con la finalidad de que sea representativo del tipo del suelo y contenido de cemento a emplear en los diferentes proyectos que se ejecutaran.

#### **4.7 RESISTENCIA AL DESGASTE**

Esta propiedad no es evaluada en el suelo-cemento cuando se utiliza en estructuras de pavimentos, ya que tal como lo ha demostrado la experiencia y

---

<sup>17</sup> Quintanilla, C.A. (2007). Capítulo 4: Propiedades en *El Estado del Arte del Suelocemento en Estructuras de Pavimentos* (Primera Edición, Pág. 26) Panamá: Federación Interamericana del Cemento - FICEM

diversas investigaciones, es un material excelente para soportar esfuerzos perpendiculares a la superficie, pero muy deficiente para resistir las fuerzas abrasivas del tránsito circulando directamente sobre él. En este tipo de aplicaciones se recurre a proteger las capas de suelo-cemento colocando sobre ella una capa de rodadura de concreto hidráulico, concreto asfáltico, o tratamientos superficiales asfálticos.

#### 4.8 PERMEABILIDAD

La permeabilidad de la mayoría de suelos se disminuye con la adición de cemento Portland. Dicha reducción de la permeabilidad, depende principalmente del tipo de suelo, contenido de cemento y de una compactación adecuada. Cuando se diseñan mezclas de suelo-cemento con fines de impermeabilización, como el caso de cimentaciones de rellenos sanitarios, estanques u otros tipos de obras para almacenamiento permanente o temporal de agua. Las mezclas de suelo-cemento elaboradas con suelos finos son las que presentan y mantienen con el tiempo una menor permeabilidad.

Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad **K** de mezclas de suelo-cemento elaboradas con suelos areno-limosos, varían entre  $0.4 \times 10^{-6}$  y  $3 \times 10^{-6}$  cm/s. El porcentaje de cemento en estos casos suele ser inferior al 5% en peso<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Quintanilla, C.A. (2007). Capítulo 4: Propiedades en *El Estado del Arte del Suelocemento en ructuras de Pavimentos* (Primera Edición, Pág. 28) Panamá: Federación Interamericana del Cemento - FICEM

Al llegar a esta etapa del documento, se ha ampliado sobre los términos generales de la mezcla de suelo-cemento, desde sus definiciones e inclusive sus propiedades. Por lo consiguiente en los capítulos restantes se detallará el procedimiento que se ha realizado para las pruebas a las que fue sometido el diseño de mezcla que se evalúa para el curado acelerado en especímenes de suelo-cemento en laboratorio, incluyendo el análisis que conlleva los resultados que se han obtenido.

# **CAPÍTULO 5: PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO**

---

---

## **5.1 INTRODUCCIÓN**

El contenido de este capítulo trata de una manera detallada el proceso de cada una de las pruebas de laboratorio que se han llevado a cabo para realizar la caracterización del suelo que se utilizó en el desarrollo de la investigación, dentro de las cuales se encuentran la Granulometría, Límites de Atterberg y Gravedad Específica.

Se explica la forma en la que el diseño de la mezcla se llevó a cabo para la elaboración de especímenes de suelo-cemento, con el fin de mostrar con detalle todo el camino que es necesario recorrer para evaluar el curado acelerado de los especímenes.

## **5.2 SELECCIÓN DEL BANCO PARA LA EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO**

La selección del lugar para la extracción del material con el cual se elaboró la mezcla de suelo-cemento se realizó con la ayuda del ingeniero consultor del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, ISCYC, tomando la decisión de estudiar el suelo de un banco de material cercano a la ciudad de Santa Ana. El banco que cumplía con las características de un suelo areno-limoso bien graduado. Dicho suelo se encuentra ubicado en el Cantón San Jacinto, Municipio de Coatepeque, en el Departamento de Santa Ana, como lo muestra la Imagen 5.1. Este suelo fue sometido a pruebas de caracterización previas al diseño de la mezcla de suelo-cemento, como se muestra en la Sección 5.3 del presente capítulo.

**IMAGEN 5.1: VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DEL BANCO DE SUELO<sup>19</sup>.**



FUENTE: © 2011 GOOGLE EARTH.

**IMAGEN 5.2: BANCO DE EXTRACCIÓN DE SUELO.**



FUENTE: GRUPO DE TESIS.

---

<sup>19</sup> © 2011 Google Earth.



### **5.3 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**

Para iniciar el desarrollo de las pruebas fue necesario caracterizar los materiales; es decir, tanto del suelo como de la mezcla, La Imagen 5.3 presenta un diagrama resumen de las muestras que se realizaron al suelo para su adecuada caracterización, mismas que se detallan a continuación.

#### **5.3.1 GRANULOMETRÍA (SEGÚN ASTM D 422)<sup>20</sup>**

La granulometría de un suelo es el ensayo en el cual se efectúa una medición y gradación de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de los a cada uno de los tamaños correspondientes, provistos por una escala granulométrica.

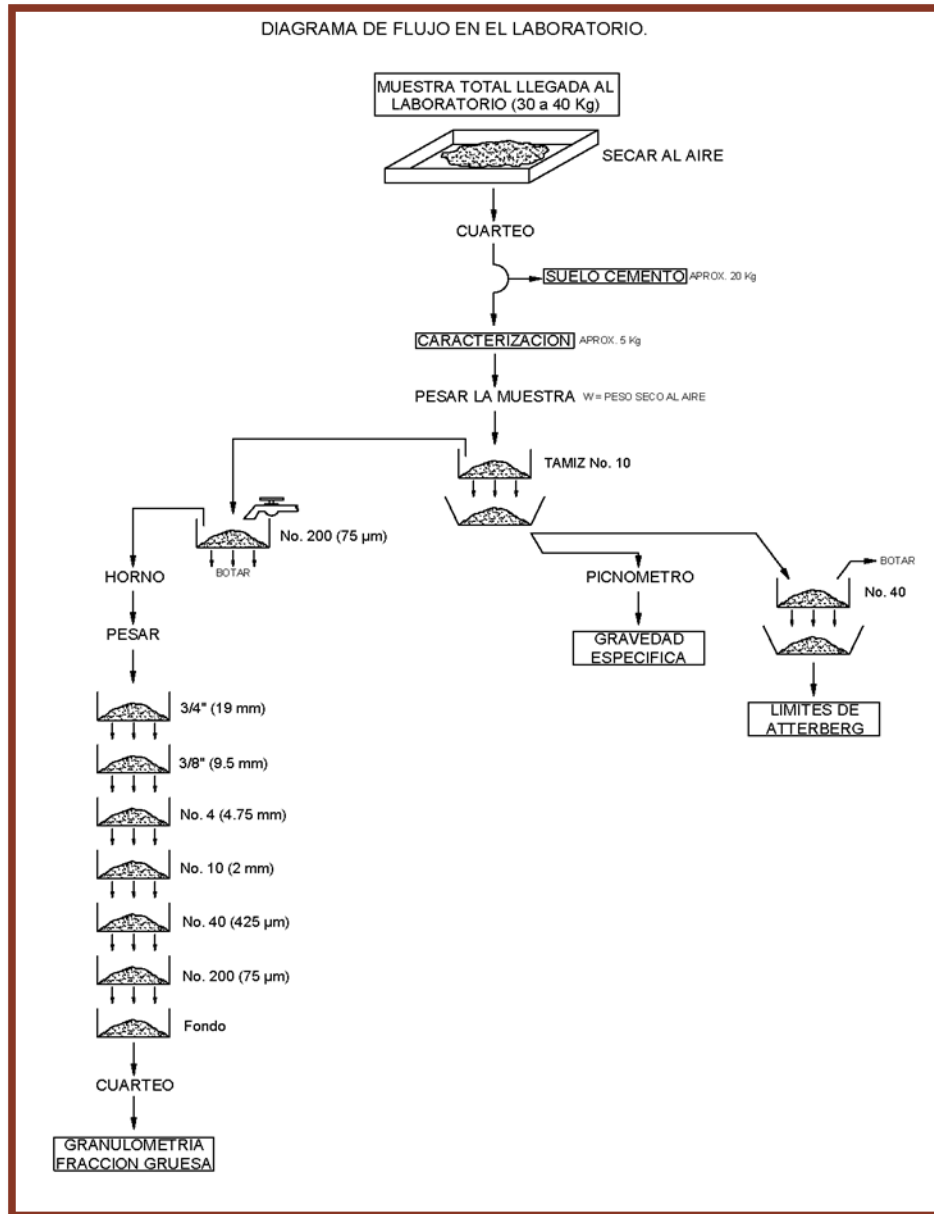
El método consiste en hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices.

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido para cada diámetro de tamiz. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

---

<sup>20</sup> Ver norma completa en Anexo 1.

**IMAGEN 5.3: PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS.**



FUENTE: GRUPO DE TESIS.

### 5.3.1.1 MATERIAL Y EQUIPO

- a. Muestra de Suelo:** Representativa del lugar de extracción antes mencionado en la Sección 5.2 y en condición “secada al aire”.

- b. Agente Dispersor:** Solución de hexametáfosfato de sodio o metáfosfato de sodio.
- c. Agua:** Destilada o desmineralizada.
- d. Balanzas:** Con sensibilidad de 0.01g para determinar masas de material que pase el tamiz No. 10.
- e. Aparato Agitador o Batidora.**
- f. Termómetro:** Con precisión de 0.5°C.
- g. Juego de Tamices:** Un juego en los que se incluyan los presentados en la Tabla 5.1.

**TABLA 5.1: JUEGO DE TAMICES ESTÁNDAR.**

3" (75 mm)	No. 10 (2 mm)
2" (50 mm)	No. 20 (850 µm)
1 ½" (37.5 mm)	No. 40 (425 µm)
1" (25 mm)	No. 60 (250 µm)
¾" (19 mm)	No. 140 (106 µm)
⅜" (9.5 mm)	No. 200 (75 µm)
No. 4 (4.75 mm)	Tapa y Fondo

*FUENTE: NORMA ASTM D 422, VOLUMEN 04.08*

- h. Vibrador Eléctrico o Rop-Tap.**
- i. Recipiente de Baño María o Cuarto a Temperatura Controlada:** En el cual pueda mantenerse la temperatura constante cerca de los 20°C.
- j. Beaker:** Con capacidad de 250ml.
- k. Horno de Secado.**
- l. Reductor de Muestras:** Separador mecánico o partidor de muestras.

**m. Misceláneos:** Agitador, piseta, pala, brochas, recipientes para espécimen, cucharones, franelas, papel toalla, bandejas, guantes.

**5.3.1.2 PROCEDIMIENTO:**

- I. Se expuso al aire la muestra de suelo a temperatura ambiente hasta que seicara completamente.
- II. Se procedió a reducir el suelo a una cantidad representativa, por medio del partidor de muestras que se observa en la Imagen 5.4, de manera que la muestra de ensayo fuese la suficiente para proporcionar las cantidades requeridas según las Tablas 5.2 y 5.3.

**IMAGEN 5.4: REDUCCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO A TAMAÑO DE PRUEBA.**



**FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.**

Tabla 5.2: Masa Mínima de Porción de Suelo Retenido en Tamiz No. 10 a Usar en Tamizado, Según Tamaño Máximo de Partículas.

<b>Tamaño máximo nominal de la partícula, Pulg (mm)</b>	<b>Masa mínima aproximada de porción, g</b>
3/8 (8.5)	500
3/4 (19)	1000
1 (25.4)	2000
1 ½ (38.1)	3000
2 (50.8)	4000
3 (76.2)	5000

FUENTE: NORMA ASTM D 422, VOLUMEN 04.08

TABLA 5.3: MASA MÍNIMA DE PORCIÓN DE SUELO QUE PASA EL TAMIZ NO. 10, SEGÚN TIPO DE SUELO.

<b>Suelos arcillosos y limosos</b>	65 g
<b>Suelos arenosos</b>	115 g

FUENTE: NORMA ASTM D 422, VOLUMEN 04.08

- III. Posteriormente se tamizó toda la muestra de ensayo por la malla No. 10 y se pulverizó cualquier grupo existente en la fracción retenida en dicha malla hasta que todas las partículas se encontraran desmenuzadas.
- IV. Se tamizó nuevamente por la malla No. 10 el material de la fracción retenida y se lavó este material después del tamizado como lo muestra la Imagen 5.5, para posteriormente secar y registrar su masa como la masa del material grueso (Mg).
- V. Se tamizó el material grueso del paso anterior en la malla No. 4 (4.75 mm) y se registró la masa que se retuvo.
- VI. Posteriormente, se mezcló completamente las fracciones del material que pasó la malla No. 10 (2mm) del paso 3 y 4, luego se seleccionó de acuerdo

a la Tabla 5.3 la masa mínima de la muestra a utilizar, dependiendo del tipo de suelo que se tuviera.

**IMAGEN 5.5: LAVADO DE MATERIAL LUEGO DEL TAMIZADO.**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

- VII.** Se determinó y registró la masa de un recipiente o tara, limpio y seco para obtener la humedad higroscópica del material que pasó la malla No. 10.
- VIII.** Se tomó una porción de 10 a 15 g de la muestra previamente seleccionada en el paso 6 y se colocó en el recipiente, para secarla a masa constante en el horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . finalmente se determinó su masa seca.

**A. ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LA PORCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ NO. 10 (2MM):**

- i. Se procedió a separar la porción del material grueso retenido en el Tamiz No. 10 (obtenida del paso 4), tamizando por medio del vibrador eléctrico, como lo muestran las Imágenes 5.6 y 5.7

**IMAGEN 5.6: COLOCACIÓN DEL MATERIAL EN EL JUEGO DE TAMICES.**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

**IMAGEN 5.7: CRIBADO DE LA MUESTRA POR MEDIO DEL VIBRADOR ELÉCTRICO.**


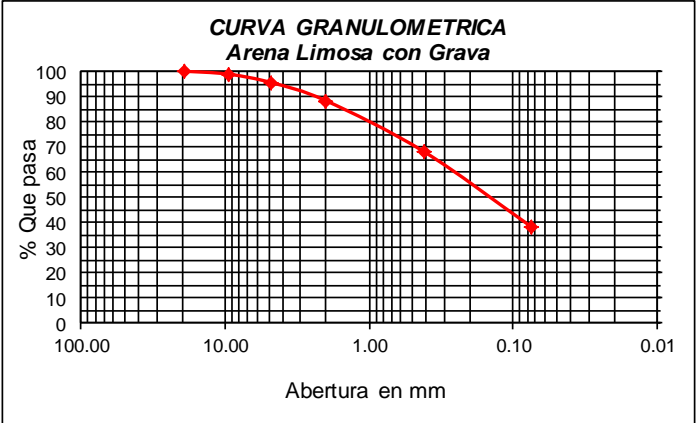


*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

- ii. Finalmente se determinó la masa de cada fracción retenida del material en cada una de las mallas, utilizando una balanza, verificando que la suma de las masas de cada tamiz fuese igual a la original de la muestra tamizada.

Los resultados obtenidos de la prueba de granulometría se muestran a continuación en la Tabla 5.4.

**TABLA 5.4: TABLA DE RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

 <b>Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto</b> <b>Laboratorio de Investigaciones ISCYC</b> Urb. Madre Selva, 3 <sup>ra</sup> etapa Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164					
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO</b>					
<b>ASTM D-422</b>					
PROYECTO :		TESIS: EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE			
		SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS			
TIPO DE MUESTRA :		Suelo, banco de extraccion ubicado en canton Sn. Jacinto, Coatepeque Santa Ana			
FECHA DE ENSAYO :		12 de enero de 2011			
<b>HOJA DE LABORATORIO</b>					
MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
					Grava = 4,56 %
					Arena = 57,13 %
3/4"	0	0	0.00	100.00	Fino = 38,31 %
3/8"	11.50	1.14	1.14	98.86	
No.4	34.50	3.42	4.56	95.44	Clasificacion realizada en
No.10	72.00	7.14	11.70	88.30	laboratorio del ISCYC
No.40	203.10	20.14	31.83	68.17	<b>SM = Arena Limosa con Grava</b>
No.200	301.20	29.86	61.69	38.31	
FONDO	386.37	38.31	100.00	0	
SUMAS	1008.674	100.0			
 <p style="text-align: center;"><b>CURVA GRANULOMETRICA</b> <b>Arena Limosa con Grava</b></p> <p>Masa de muestra humeda, g = 1035                  Contenido de humedad, % = 2,61                  M. De muestra seca corregida, g = 1008,674                  M. De muestra seca despues de lavado, g = 669,6                  Masa de fino, g = 339,274</p>					
<a href="http://www.iscyc.org">www.iscyc.org</a>					

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.



### 5.3.2 LÍMITES DE ATTERBERG (SEGÚN ASTM D 4318)<sup>21</sup>

Los límites de Atterberg son también llamados límites de consistencias y estos se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, y constituyen valores muy importantes para la caracterización de los conjuntos de partículas de suelo.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro consistencias dependiendo de su humedad las cuales son: **Estado Sólido** (cuando está seco) en el que el volumen del suelo no varía con el secado, **Estado Semi-Sólido** en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido pero su volumen disminuye con el secado, **Estado Plástico** cuando el suelo se comporta plásticamente y el **Estado Líquido** cuando el suelo se vuelve altamente incompresible. Los contenidos de humedad entre un estado y otro son los denominados límites de Atterberg y los ensayos que se realizan en laboratorios de ingeniería civil para obtenerlos son los siguientes:

**A. Límite Líquido:** El Límite Líquido se define por convención como el contenido de humedad de un suelo para el cual una *acanaladura* en el equipo normalizado (Copa Casagrande) puede cerrarse mediante 25 golpes, en una longitud de 13 mm.

**B. Límite Plástico:** Se define por convención como el contenido de humedad para el cual un cilindro de 3.2 mm de diámetro comienza a desmoronarse.

---

<sup>21</sup> Ver normativa completa en Anexo 2.

Este se realizó con la misma muestra de suelo que se utilizó en la prueba de límite líquido, y se determina, presionando y enrollando la fracción pequeña de suelo plástico en forma de cilindro de un diámetro de 3.2 mm (1/8 pulg.), 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, luego se registra la masa de la muestra que ha quedado.

**C. El índice de plasticidad:** Éste se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, datos que se habrán obtenido con anterioridad, y cuyos resultados forman parte de un mismo periodo de prueba.

El procedimiento a realizar para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, será en base a la norma **ASTM D 4318**, cumpliendo con las condiciones técnicas nacionales.

#### **5.3.2.1 MATERIAL Y EQUIPO**

##### **LÍMITE LÍQUIDO:**

- a. 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).
- b. Agua:** Destilada o desmineralizada.
- c. Aparato del límite líquido (Copa de Casagrande):** Es un dispositivo mecánico, constituido de una copa de latón suspendida en un carraje, diseñado para controlar su caída hacia una base de caucho duro. El

dispositivo puede ser operado manualmente o a través de un motor eléctrico.

- d. **Calibrador:** Fabricado de metal y utilizado para para ajustar la altura de caída de la copa.
- e. **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.
- f. **Balanza:** Con una legibilidad de 0.01 g.
- g. **Recipiente para mezclado y almacenamiento:** De material de porcelana, vidrio o plástico; de aproximadamente 4 ½ pulg de diámetro.
- h. **Espátula o cuchillo:** Con dimensiones de aproximadamente 2 cm de ancho y 10 a 13 cm de largo.
- i. **Tamices:** Tamiz No. 40 (425 µm) y No. 10 (2.00 mm), de 8” de diámetro y 2” de altura.
- j. **Botella de lavado:** Para agregar cantidades controladas de agua al suelo y lavado de finos de las partículas gruesas.
- k. **Horno de Secado:** Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  en toda la cámara de secado.
- l. **Charola de lavado:** De fondo plano, redonda, con una profundidad de 7.6 cm y ligeramente más grande en el fondo que un tamiz de 8” de diámetro.

**m. 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.

### **LÍMITE PLÁSTICO**

**a. Placa de vidrio:** Con dimensiones de 30 cm de ancho y largo y de 1 cm de espesor.

**b. Misceláneos:** Cepillo plástico, franelas, bolsas plásticas, horno.

### ***5.3.2.2 PROCEDIMIENTO***

#### **A. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO:**

1. Se enrasó la copa Casagrande con una mezcla homogénea del suelo con agua, este se hace hasta formar una superficie horizontal como se muestra en la Imagen 5.8.
2. Luego se formó una zanja en el suelo, manteniendo perpendicular el acanalador a la superficie de la copa de bronce como muestra las Imagen 5.9.
3. Se rotó la manivela a una velocidad constante y posteriormente se cuenta el número de golpes necesarios para cerrar la zanja en una longitud de 13 mm.
4. Desde la zona en que se cerró la zanja se extrae el suelo para determinar su humedad como muestra la Imagen 5.10.

**IMAGEN 5.8: COPA CASAGRANDE CON MUESTRA DE SUELO.**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

**IMAGEN 5.9: CANAL HECHO POR EL RANURADOR.**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

## **B. LÍMITE PLÁSTICO:**

1. Se toma una porción del suelo que se utilizó para obtener el límite líquido y se forma un cilindro de 3mm de diámetro como se muestra en la Imagen 5.11.

**IMAGEN 5.10: TOMA DE MUESTRA PARA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD.**



**FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.**

**IMAGEN 5.11: ELABORACIÓN DE CILINDRO CON MUESTRA DE SUELO.**



**FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.**

2. Cuando el cilindro comienza a desmoronarse como se muestra en la Imagen 5.12, y no puede formarse nuevamente, se determina su humedad.

**IMAGEN 5.12: CILINDRO LUEGO DE LA PRUEBA.**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

Los resultados del ensayo de los límites de Atterberg se muestran en la Tabla 5.5.

### **5.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA (SEGÚN ASTM D 854)<sup>22</sup>**

Es la relación de la densidad de los sólidos de suelo entre la densidad del agua a la temperatura de ensayo y multiplicada por un coeficiente de temperatura, dando como resultado un valor adimensional.


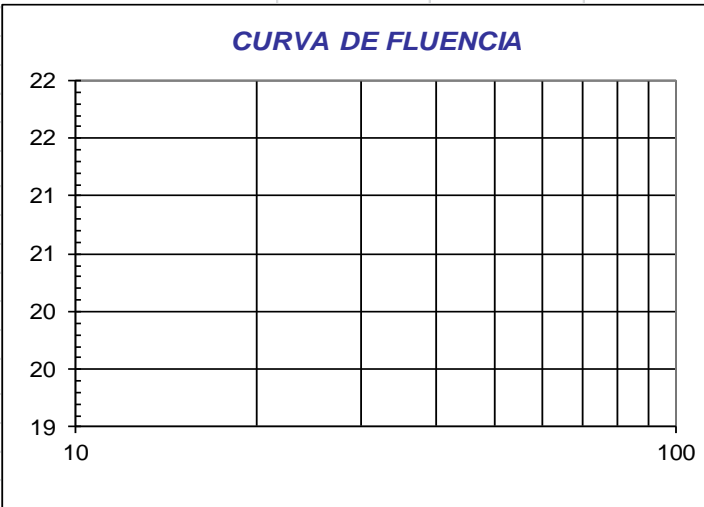
La gravedad específica de un suelo se utiliza en el cálculo de las relaciones de fase de los suelos, en los cálculos de los ensayos de granulometría por sedimentación, compresibilidad y potencial de expansión.

La realización de esta prueba fue con base a la norma ASTM D 854.

---

<sup>22</sup> Ver normativa completa en Anexo 3.

**TABLA 5.5: TABLA DE RESULTADOS DE LÍMITES DE ATTERBERG.**

	<b>INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO</b> <b>LABORATORIO DE INVESTIGACIONES ISCYC</b> <b>LIMITES DE ATTERBERG</b> <b>ASTM D 4318</b>			
PROYECTO :	TESIS: EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS			
FECHA DE ENSAYO:	12-ene-11			
<b>LIMITE PLASTICO (ASTM D 4318)</b>				
<b>PRUEBA No</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
CAPSULA No				
PESO HUMEDO +TARA (g)				<b>El suelo no presenta plasticidad</b>
PESO SECO +TARA (g)	<b>NP</b>			
PESO AGUA (g)				
TARA (g)				NP = no practicable
PESO SECO (g)				
CONTENIDO DE AGUA %				
<b>LIMITE LIQUIDO (ASTM D 4318)</b>				
<b>PRUEBA No</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
No DE GOLPES	--	--	--	
CAPSULA No	--	--	--	
PESO HUMEDO +TARA (g)	--	--	--	
PESO SECO +TARA (g)	--	--	--	
PESO AGUA (g)	--	--	--	
TARA (g)	--	--	--	
PESO SECO (g)	--	--	--	
CONTENIDO DE AGUA%	--	--	--	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 60%;"> <p style="text-align: center; color: blue;"><b>CURVA DE FLUENCIA</b></p>  </div> <div style="width: 35%;"> <p>L.Liquido(%) =</p> <p>L.Plástico(%) =</p> <p>I. Plástico(%) =</p> <p style="margin-top: 20px;"><b>Clasificación de la Muestra :</b> <b>areno limoso (SM)</b></p> </div> </div>				

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.



### 5.3.3.1 MATERIAL Y EQUIPO

- a. **Muestra de suelo:** Suelo húmedo, representativo de los sólidos del suelo que se utilizará durante toda la investigación.
- b. **Agua destilada**
- c. **Picnómetro:** Frasco volumétrico con una capacidad mayor que 100 ml.
- d. **Balanza:** Con una precisión equivalente al 0.1% de la masa de la muestra.
- e. **Horno de secado:** Horno controlado termostáticamente capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.
- f. **Termómetro:** Capaz de medir el rango de temperatura dentro del cual se lleva a cabo el ensayo.
- g. **Desecador:** Una cámara de secado, de tamaño suficiente, que contenga gel de sílice o sulfato anhidro de calcio.
- h. **Aparato de extracción de aire:** Una placa calentadora (hot plate) o mechero Bunsen, capaz de mantener una temperatura adecuada para hervir agua.
- i. **Misceláneos:** Tamiz N<sup>o</sup>.4 (4.75mm), franelas, *piseta*.

### 5.3.3.2 PROCEDIMIENTO

- A. **CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO** (Se explica el procedimiento, pero se aclara que este literal no se realizó puesto que en el laboratorio de ISCYC los

mismos poseen una tabla con los valores obtenidos de la calibración, la cual es mostrada en el Anexo 4).

1. Es necesario determinar la masa del frasco volumétrico seco y limpio, la cual se debe repetir por lo menos cinco veces para obtener una masa promedio.
2. Es importante llenar el frasco volumétrico con agua desairada debajo de la marca de calibración, esto depende del tipo de frasco que se utilizará.
3. Cuando el frasco se ha llenado, se sumerge en un recipiente para someterlo a baño de María, junto con un termómetro, un beaker con agua y pipeta; se dejan permanecer por lo menos tres horas, hasta que alcancen un equilibrio térmico.
4. Al finalizar el periodo en el que se realiza equilibrio térmico, se retira el frasco volumétrico y se realiza ajustes al nivel del agua; luego es necesario determinar y registrar la masa del frasco volumétrico más agua.
5. Para concluir el procedimiento de calibrado del frasco volumétrico, se determina y se registra la temperatura del agua dentro del mismo. Todos los pasos desde el punto 3 se repiten para obtener cinco medidas independientes.

#### **B. DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA**

Con los datos de calibración que se ha obtenido del paso A, se determinó la masa del frasco volumétrico limpio y seco a utilizar.

Es necesario que la muestra sea tamizada y se identifique si es húmeda o secada al horno, para determinar uno de los dos procedimientos que son especificados más detalladamente en la norma ASTM D 854.

Para el caso de la presente investigación, se realizó con muestras de suelo húmedo, cuyo procedimiento fue el siguiente:

1. Se determinó el contenido de humedad de la muestra.
2. En seguida se colocaron aproximadamente 100 ml de agua y se agregó la muestra de ensayo hasta formar una lechada, dentro de un recipiente de mezclado.
3. Luego de formar la lechada se vertió dentro del frasco volumétrico, procurando con la ayuda de una piseta que ninguna partícula quedase adherida en el cuello del frasco, tal como lo ilustra la Imagen 5.13.

**IMAGEN 5.13: LECHADA DE SUELO EN FRASCO VOLUMÉTRICO.**



FUENTE: GRUPO DE TESIS.

4. Agregando agua hasta un nivel de entre  $\frac{1}{3}$  y un  $\frac{1}{2}$  de la altura del cuerpo principal de éste, se agitó el agua y suelo en el frasco, evitando que las partículas de suelo se adhirieran en el interior del mismo.
5. Se procedió a desairar la lechada de suelo extrayendo el aire atrapado, a través de aplicar calor para que la misma se mantuviera a ebullición, como se muestra en la Imagen 5.14, al mismo tiempo se procedía a agitarla tanto como lo necesitara para prevenir que cualquier partícula de suelo se adhiriera o secase en el vidrio sobre la superficie de la lechada. Este proceso fue mantenido por una duración mínima de 2 horas, luego de que la lechada empezase a burbujear completamente se retira.

***IMAGEN 5.14: EXTRACCIÓN DEL AIRE DE LA LECHADA POR MEDIO DE CALOR.***



***FUENTE: GRUPO DE TESIS.***

6. El frasco volumétrico, termómetro y el beaker con agua, se colocaron dentro de horno (apagado) dejándolos reposar hasta el siguiente día para que los mismos alcanzasen el equilibrio térmico.

7. Luego de que alcanzaron el equilibrio térmico, se ajustó el nivel del agua en el picnómetro hasta la marca de calibración, agregando agua con una piseta con un gotero, tal como se muestra en la Imagen 5.15.
8. Se procedió a secar el borde y todo el exterior del picnómetro; además de determinar la masa del mismo, suelo y agua; fue tomada la temperatura y registrada como la temperatura de ensayo de la mezcla suelo-agua.

***IMAGEN 5.15: AJUSTE DEL NIVEL DE AGUA HASTA MARCA DE CALIBRACIÓN.***




***FUENTE: GRUPO DE TESIS.***

9. Fue obtenida la masa de un recipiente (tara) y vertida en el la lechada, agregando agua al beaker cuando fuere necesario para depositar todo el suelo; para su posterior secado se colocó en un horno mantenido a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Luego de un día de secado fue retirado del horno y después de enfriar se obtuvo la masa de los sólidos del suelo más el recipiente.

10. Con los datos obtenidos durante el ensayo, se obtuvo la gravedad específica del suelo, resultados que se muestran en la Tabla 5.6.

**TABLA 5.6: TABLA DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.**

 <p><b>Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto</b>  <b>Centro de Investigaciones ISCYC</b>  <i>Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,</i>  <i>Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164</i></p>																													
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS SOLIDOS POR PICNOMETRO DE AGUA ASTM D 854-02</b>																													
PROYECTO :	TESIS: EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS																												
UBICACIÓN DE BANCO DE EXTRACCION :	BANCO DE SUELO EN CANTON SN. JACINTO, COATEPEQUE, SANTA ANA																												
CLASIFICACION DEL SUELO:	Areno-Limoso (SM)																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">PICNOMETRO</th> <th style="text-align: center;">1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[Mp] Masa frasco seco (g)</td> <td style="text-align: center;">174.040</td> </tr> <tr> <td>[Vp] Volumen del picnometro (mL)</td> <td style="text-align: center;">499.717</td> </tr> <tr> <td>[Tt] Temperatura de ensayo (°C)</td> <td style="text-align: center;">23.500</td> </tr> <tr> <td>[ρ<sub>wl</sub>] Densidad del agua (g/mL)</td> <td style="text-align: center;">0.997</td> </tr> <tr> <td>[K] Coeficiente de temperatura</td> <td style="text-align: center;">0.999</td> </tr> <tr> <td>[M<sub>pws</sub>] Masa de picnometro+agua+ muestra (g)</td> <td style="text-align: center;">722.000</td> </tr> <tr> <td>[M<sub>t</sub>] Masa de tara (g)</td> <td style="text-align: center;">116.000</td> </tr> <tr> <td>[M<sub>t+ss</sub>] Masa de tara + muestra (g)</td> <td style="text-align: center;">201.500</td> </tr> <tr> <td>[Ms] Masa muestra secada al horno (g)</td> <td style="text-align: center;">85.500</td> </tr> <tr> <td>[M<sub>pwl</sub>] Masa de Picnometro + agua (g)</td> <td style="text-align: center;">672.468</td> </tr> <tr> <td>[ρ<sub>s</sub>] Densidad de la muestra (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td style="text-align: center;">2.371</td> </tr> <tr> <td>[G<sub>t</sub>] Gravedad especifica a temperatura de ensayo</td> <td style="text-align: center;">2.377</td> </tr> <tr> <td>[G<sub>20°C</sub>] GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO A 20° C</td> <td style="text-align: center;">2.375</td> </tr> </tbody> </table>		PICNOMETRO	1	[Mp] Masa frasco seco (g)	174.040	[Vp] Volumen del picnometro (mL)	499.717	[Tt] Temperatura de ensayo (°C)	23.500	[ρ <sub>wl</sub> ] Densidad del agua (g/mL)	0.997	[K] Coeficiente de temperatura	0.999	[M <sub>pws</sub> ] Masa de picnometro+agua+ muestra (g)	722.000	[M <sub>t</sub> ] Masa de tara (g)	116.000	[M <sub>t+ss</sub> ] Masa de tara + muestra (g)	201.500	[Ms] Masa muestra secada al horno (g)	85.500	[M <sub>pwl</sub> ] Masa de Picnometro + agua (g)	672.468	[ρ <sub>s</sub> ] Densidad de la muestra (g/cm <sup>3</sup> )	2.371	[G <sub>t</sub> ] Gravedad especifica a temperatura de ensayo	2.377	[G <sub>20°C</sub> ] GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO A 20° C	2.375
PICNOMETRO	1																												
[Mp] Masa frasco seco (g)	174.040																												
[Vp] Volumen del picnometro (mL)	499.717																												
[Tt] Temperatura de ensayo (°C)	23.500																												
[ρ <sub>wl</sub> ] Densidad del agua (g/mL)	0.997																												
[K] Coeficiente de temperatura	0.999																												
[M <sub>pws</sub> ] Masa de picnometro+agua+ muestra (g)	722.000																												
[M <sub>t</sub> ] Masa de tara (g)	116.000																												
[M <sub>t+ss</sub> ] Masa de tara + muestra (g)	201.500																												
[Ms] Masa muestra secada al horno (g)	85.500																												
[M <sub>pwl</sub> ] Masa de Picnometro + agua (g)	672.468																												
[ρ <sub>s</sub> ] Densidad de la muestra (g/cm <sup>3</sup> )	2.371																												
[G <sub>t</sub> ] Gravedad especifica a temperatura de ensayo	2.377																												
[G <sub>20°C</sub> ] GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO A 20° C	2.375																												

*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

Una vez obtenidos los datos de la caracterización del suelo, se procedió a realizar el diseño de la mezcla de suelo-cemento utilizando para ésta los dos tipos de cemento que se conocen mayormente en el país, estos son el C 1157 Tipo GU y el C 91 o Cemento de Albañilería.

## **5.4 DISEÑO DE LA MEZCLA**

El diseño de la mezcla consistió en determinar el contenido óptimo de cemento para alcanzar la resistencia requerida por las especificaciones técnicas del FOVIAL<sup>23</sup>, con la cual posteriormente se pudo elaborar las probetas para ensayos de compresión.

### **5.4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO:**

- a. Primeramente para obtener este valor se elaboraron 3 especímenes (Imagen 5.16) para 3%, y 3 especímenes para 5% con contenido de cemento tipo C 91, de igual forma para el cemento C 1157 tipo GU, teniendo un total de 12 especímenes. Estos porcentajes se muestran en la Tabla 3.2, en la cual se selecciona el menor valor, es decir, de 3 y 5%, los cuales en base a la clasificación SUCS corresponden a un suelo tipo SM.
- b. Habiendo fijado los porcentajes de cemento necesarios para encontrar el contenido de cemento óptimo, se procedió a encontrar la densidad máxima aparente y humedad óptima por medio del ensayo Proctor.<sup>24</sup> Dichos resultados se muestran en las Tablas 5.7 y 5.8 para las mezclas con 3 y 5% de cemento C 91, como también, en las Tablas 5.9 y 5.10 para las mezclas con 3 y 5% de cemento C 1157, respectivamente. Posteriormente se elaboraron los cilindros mencionados en el literal anterior, para luego ser


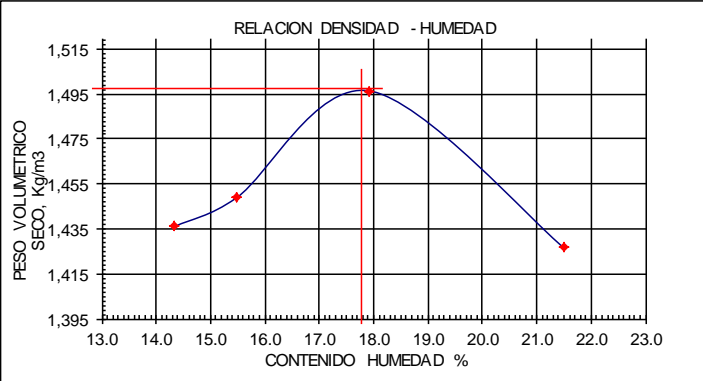
---

<sup>23</sup> Ver Anexo 5.

<sup>24</sup> Ver Anexo 6.

ensayados a compresión según el procedimiento que se detalla en la sección 5.7.

**TABLA 5.7: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 3% DE CEMENTO C91**

 <b>Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto</b> <b>Centro de Investigaciones ISCYC</b> <i>Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,</i> <i>Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164</i>											
<b>RELACION DENSIDAD-HUMEDAD</b>											
<b>AASHTO T - 180</b>											
PROYECTO:	EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS										
METODO:	A			MARTILLO:	10 lb						
FECHA DE ENSAYO:	del 19 al 20 Enero 2011			GOLPES P / C	25/5						
OBSERVACIONES:	Porcentaje de cemento C91, 3%										
<b>PESO UNITARIO</b>											
ENSAYO No.	1	2	3	4	OBSERVACIONES						
% AGUA DE LABORATORIO	14.0%	16.0%	18.0%	20.0%							
AGUA AGREGADA (C.C)	420.0	480	540.0	600							
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5776	5805	5890	5861	Masa de la muestra (gr):						
PESO MOLDE (g)	4250	4250	4250	4250	3000						
PESO MUES. HUMEDA (g)	1526	1555	1640	1611	0.83% de humedad						
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	929.4	929.4	929.4	929.4	2975.3g masa seca						
PESO VOL. HUMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1642	1673	1765	1733	3% cemento= 89.26g						
PESO VOL. SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,436	1,449	1,496	1,427							
<b>HUMEDAD</b>											
RECIPIENTE No.	3	2	v	k	OBSERVACIONES						
PESO HUMEDO+TARA (grs)	327.1	355.2	367.3	371.3							
PESO SECO + TARA (grs)	307.0	329.8	337.7	335.3							
PESO AGUA (grs)	20.1	25.4	29.6	36.0							
TARA (grs)	166.8	165.7	172.5	167.8							
PESO SECO (grs)	140.2	164.1	165.2	167.5							
% HUMEDAD	14.3	15.5	17.9	21.5							
											
				<table border="1"> <tr> <td>P.V.H. max.=</td> <td>1762</td> </tr> <tr> <td>P.V.S. max.=</td> <td>1496</td> </tr> <tr> <td>% De Humedad Optima</td> <td>17.75</td> </tr> </table>		P.V.H. max.=	1762	P.V.S. max.=	1496	% De Humedad Optima	17.75
P.V.H. max.=	1762										
P.V.S. max.=	1496										
% De Humedad Optima	17.75										

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.



**TABLA 5.8: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 5% DE CEMENTO C91**



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto**  
**Centro de Investigaciones ISCYC**

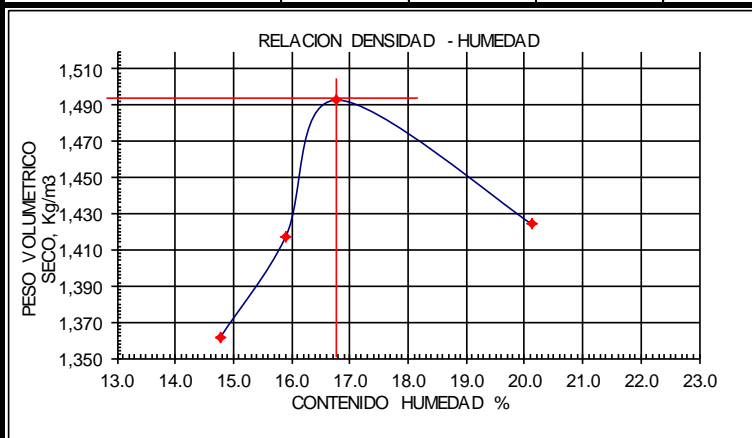
*Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,  
 Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164*

**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
**AASHTO T - 180**

PROYECTO:	EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS		
METODO	A	MARTILLO:	10 lb
FECHA DE ENSAYO:	del 19 al 20 Enero 2011	GOLPES P / C	25/5
OBSERVACIONES:	Porcentaje de cemento C91, 5%		

PESO UNITARIO						
ENSAYO No.	1	2	3	4	5	OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	15.0%	17.0%	19.0%	21.0%		
AGUA AGREGADA (C.C)	375.0	425	475.0	525		
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5702	5776	5870	5840		Masa de la muestra (gr):
PESO MOLDE (g)	4250	4250	4250	4250		2500
PESO MUES. HUMEDA (g)	1452	1526	1620	1590		0.83% de humedad
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	929.4	929.4	929.4	929.4		2479.4 g masa seca
PESO VOL. HUMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1562	1642	1743	1711		5% cemento= 123.4g
PESO VOL. SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,361	1,417	1,493	1,424		

HUMEDAD						
RECIPIENTE No.	B-16	C	B	G	I	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	267.5	199.6	321.8	228.9		
PESO SECO + TARA (grs)	243.5	183.2	298.0	204.1		
PESO AGUA (grs)	24.0	16.4	23.8	24.8		
TARA (grs)	81.0	80.0	156.0	80.9		
PESO SECO (grs)	162.5	103.2	142.0	123.2		
% HUMEDAD	14.8	15.9	16.8	20.1		



P.V.H. max.=	1745
P.V.S. max.=	1494
% De Humedad Optima	16.8

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

**TABLA 5.9: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 3% DE CEMENTO C1157**



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto**  
**Centro de Investigaciones ISCYC**

*Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,  
 Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164*

**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
**AASHTO T - 180**

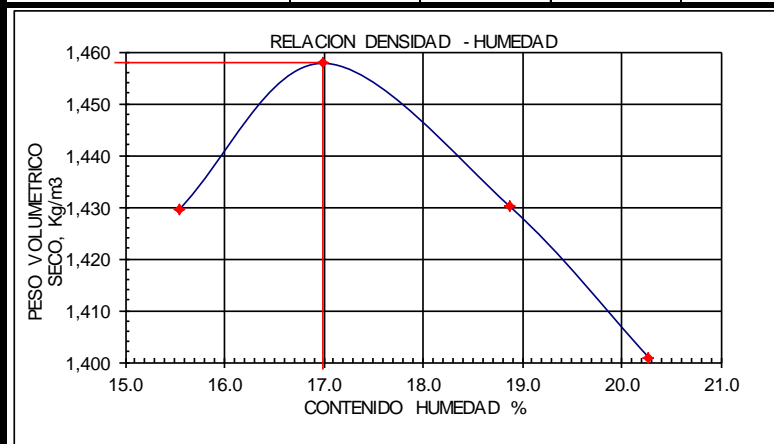
PROYECTO:	EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACCELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS		
METODO	A	MARTILLO:	10 lb
FECHA DE ENSAYO:	del 19 al 20 Enero 2011	GOLPES P / C	25/5
OBSERVACIONES:	Porcentaje de cemento C1157 Tipo GU, 3%		

**PESO UNITARIO**

ENSAYO No.	1	2	3	4	5	OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	16.0%	18.0%	20.0%	22.0%		
AGUA AGREGADA (C.C)	400.0	450	500.0	550		
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5785	5835	5830	5816		Masa de la muestra (gr):
PESO MOLDE (g)	4250	4250	4250	4250		2500
PESO MUES. HUMEDA (g)	1535	1585	1580	1566		0.83% de humedad
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	929.4	929.4	929.4	929.4		2479.4g masa seca
PESO VOL. HUMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1652	1705	1700	1685		3% cemento= 74.38g
PESO VOL. SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,429	1,458	1,430	1,401		

**HUMEDAD**

RECIPIENTE No.	1	3	2	V	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	407.5	428.4	438.4	454.8	
PESO SECO + TARA (grs)	375.3	390.4	395.1	407.2	
PESO AGUA (grs)	32.2	38.0	43.3	47.6	
TARA (grs)	168.1	166.7	165.7	172.4	
PESO SECO (grs)	207.2	223.7	229.4	234.8	
% HUMEDAD	15.5	17.0	18.9	20.3	



P.V.H. max.=	1706
P.V.S. max.=	1458
% De Humedad Optima	17

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

**TABLA 5.10: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 5% DE CEMENTO C1157**



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto**  
**Centro de Investigaciones ISCC**

*Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,  
 Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164*

**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
**AASHTO T - 180**

PROYECTO: EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACCELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS

METODO A MARTILLO: 10 lb

FECHA DE ENSAYO del 19 al 20 Enero 2011 GOLPES P / C 25/5

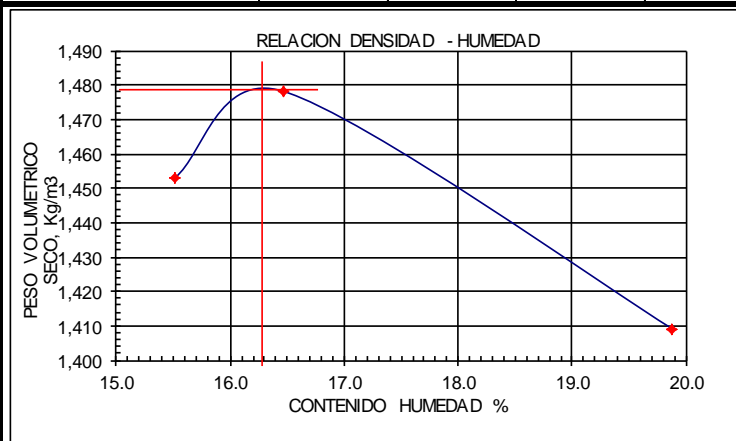
OBSERVACIONES: Porcentaje de cemento C1157 Tipo GU, 5%

**PESO UNITARIO**

ENSAYO No.	1	2	3		OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	17.0%	19.0%	21.0%		
AGUA AGREGADA (C.C)	425.0	475	525.0		
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5810	5850	5820		Masa de la muestra (gr):
PESO MOLDE (g)	4250	4250	4250		2500
PESO MUES. HUMEDA (g)	1560	1600	1570		0.83% de humedad
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	929.4	929.4	929.4		2479.4g masa seca
PESO VOL. HUMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1679	1722	1689		3% cemento= 74.38g
PESO VOL. SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,453	1,478	1,409		

**HUMEDAD**

RECIPIENTE No.	K	S	B-16		OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	441.8	424.8	317.1		
PESO SECO + TARA (grs)	405.0	388.4	278.0		
PESO AGUA (grs)	36.8	36.4	39.1		
TARA (grs)	167.8	167.3	81.3		
PESO SECO (grs)	237.2	221.1	196.7		
% HUMEDAD	15.5	16.5	19.9		



P.V.H. max.=	<b>1720</b>
P.V.S. max.=	<b>1479</b>
% De Humedad Optima	<b>16.3</b>

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

- c. El promedio de la resistencia a compresión alcanzada por cada porcentaje se ubicó en dos tablas individuales (Tabla 5.11 y 5.12).

**TABLA 5.11: RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON 3 Y 5% DE CEMENTO C 91.**

CEMENTO C 91											
CILINDRO N°	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PESO-VOL (g/cm <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROM.
<b>3.00%</b>											
1	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1584.90	1690.77	2100.00	26.21	<b>27.42</b>
2	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1608.30	1715.73	2330.00	29.08	
3	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1599.50	1706.34	2160.00	26.96	
<b>5.00%</b>											
1	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1601.10	1708.05	2940.00	36.70	<b>36.82</b>
2	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1576.80	1682.12	2770.00	34.57	
3	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1603.40	1710.50	3140.00	39.19	

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

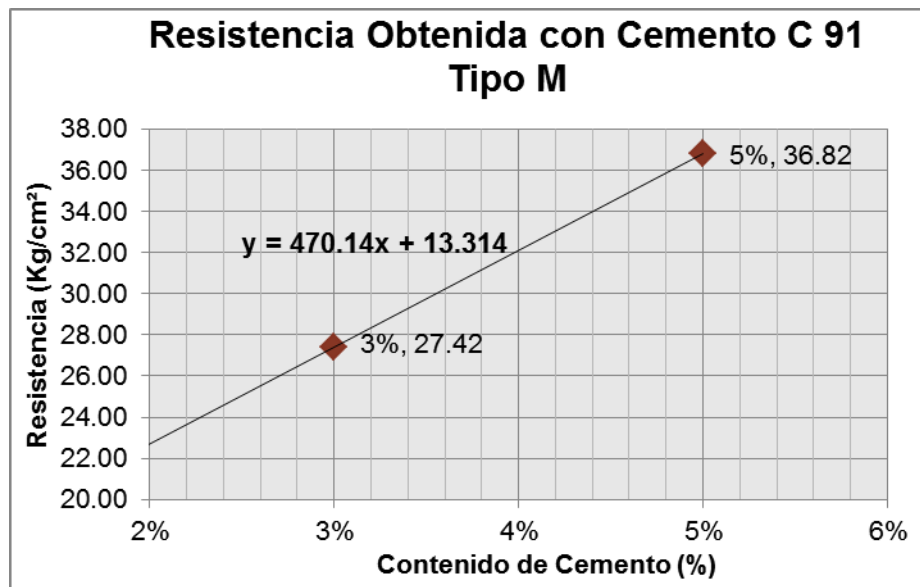
**TABLA 5.12: RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON 3 Y 5% DE CEMENTO C 1157.**

CEMENTO C 1157 (GU)											
CILINDRO N°	FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PESO-VOL (g/cm <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROM.
<b>3.00%</b>											
1	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1584.50	1690.34	2430.00	30.33	<b>33.76</b>
2	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1606.00	1713.27	2980.00	37.19	
<b>5.00%</b>											
1	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1601.30	1708.26	3482.00	43.46	<b>43.85</b>
2	20/01/11	31/01/11	7	10.10	11.70	80.12	1601.60	1708.58	3545.00	44.25	

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

d. Finalmente para cada tipo de cemento, se obtuvieron las respectivas gráficas para cada tabla mostrada anteriormente (Gráfica 5.1 y 5.2), las cuales indican el contenido del mismo en porcentaje en el eje de las abscisas y la resistencia obtenida a compresión con dicho porcentaje en el eje de las ordenadas. Los puntos de las gráficas se unieron por medio de una línea recta con la cual se pudo encontrar una ecuación que se utilizó para obtener el contenido óptimo de cemento necesario para alcanzar la resistencia requerida, según especificaciones técnicas del Fondo Vial (FOVIAL)<sup>25</sup>, la cual es de 27 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo a los 7 días.

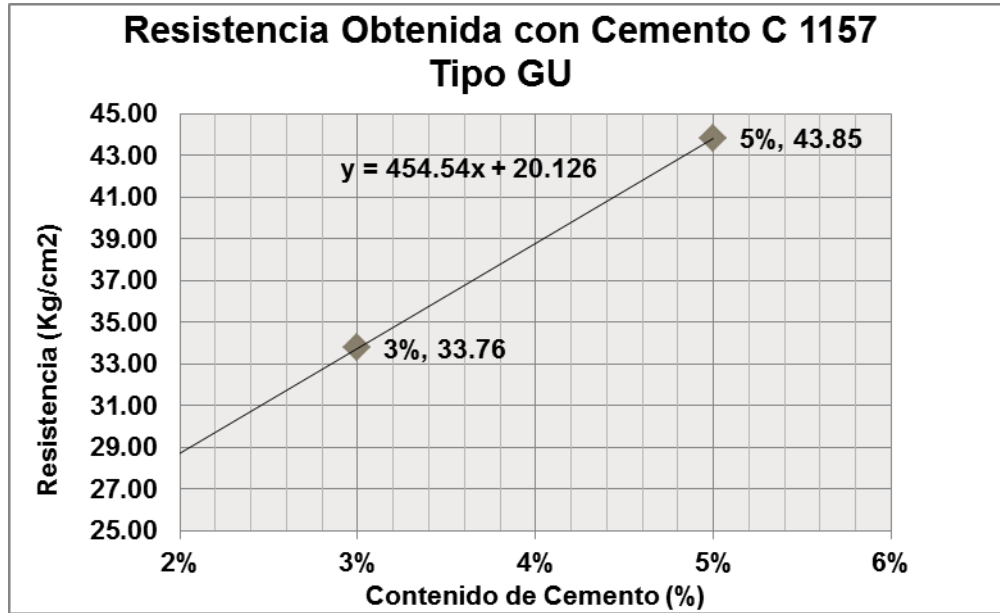
**GRÁFICA 5.1: RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON 3 Y 5% DE CEMENTO C 91.**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

<sup>25</sup> Ver Anexo 5.

**GRÁFICA 5.2: RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON 3 Y 5% DE CEMENTO C 1157**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

**IMAGEN 5.16: ESPECÍMENES ELABORADOS PARA DISEÑO DE MEZCLA.**



*FUENTE: GRUPO DE TESIS.*

- e. Obtenidas las ecuaciones para cada tipo de cemento, se procedió a despejar el valor del contenido de cemento para el cual se obtuviera una

resistencia ligeramente por encima de los 27 Kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual se efectuó con 32 kg/cm<sup>2</sup>, dando como resultado lo siguiente:

- **Despejando en la ecuación obtenida para el cemento C91:**

$$32 = 470.14 \cdot x + 13.314$$

$$x = \frac{(32 - 13.314) \text{ kg/cm}^2}{470.14 \text{ kg/cm}^2}$$

$$x = 0.0397 \cdot 100$$

$$x = 3.97\%$$

Redondeando el resultado, se obtiene un valor de 4% de cemento C 91.

- **Despejando en la ecuación obtenida para el cemento C1157:**

$$32 = 454.54 \cdot x + 20.126$$

$$x = \frac{(32 - 20.126) \text{ kg/cm}^2}{454.54 \text{ kg/cm}^2}$$

$$x = 0.0261 \cdot 100$$

$$x = 2.61\%$$

- f. Habiendo encontrado los contenidos de cemento necesarios para alcanzar la resistencia mínima antes mencionada (27 kg/cm<sup>2</sup>), es decir, 4% para la mezcla con cemento C 91 y 2.61% para la mezcla con cemento C 1157, se procedió a determinar la densidad máxima aparente y la humedad óptima para dichos porcentajes de cemento.

#### **5.4.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA APARENTE Y DE LA HUMEDAD ÓPTIMA**

Esta se realizó con el contenido de cemento más probable y adecuado para el suelo en estudio, el cual se fijó de antemano en la sección 5.4.1, estos datos se obtuvieron mediante el ensayo Proctor, basándose en la especificación AASHTO T-180, método A<sup>26</sup>, y cuyos resultados se muestran en las Tablas 5.13 y 5.14.

#### **5.5 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CON MEZCLA DE SUELO-CEMENTO**

El procedimiento que se realizó para la elaboración de los especímenes de prueba es el que se detalla a continuación:

- a. Se procedió a secar la muestra de suelo al sol para mantener la humedad del suelo dentro de la rama seca de la curva de humedad-densidad, como se muestra en la Imagen 5.17.

**IMAGEN 5.17: SECADO DEL SUELO UTILIZADO.**


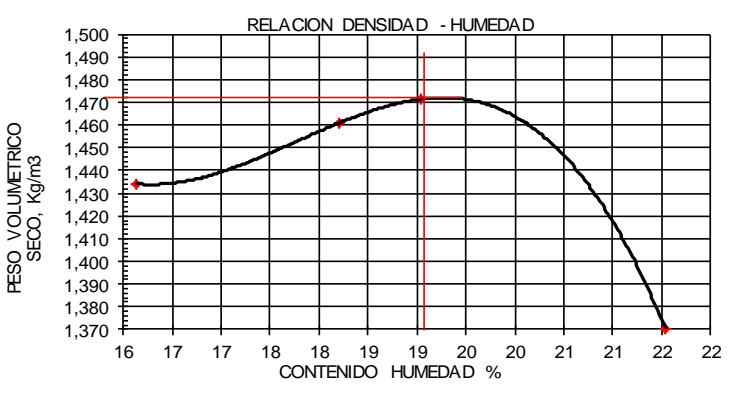


---

<sup>26</sup> Ver Anexo 6.



**TABLA 5.13: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 4% DE CEMENTO C91**

		<b>Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto</b> <b>Centro de Investigaciones ISCYC</b> <i>Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,</i> <i>Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164</i>									
<b>RELACION DENSIDAD-HUMEDAD</b> <b>AASHIO T - 180</b>											
PROYECTO:	EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS										
METODO:	A			MARTILLO:	10 lb						
FECHA DE ENSAYO:	14 de marzo de 2011			GOLPES P / C	25/5						
OBSERVACIONES:	Porcentaje de cemento C91, 4%										
<b>PESO UNITARIO</b>											
ENSAYO No.	1	2	3	4	OBSERVACIONES						
% AGUA DE LABORATORIO	17%	19.0%	21%	23.0%							
AGUA AGREGADA (C.C)	425	475	525	575							
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5793	5850	5873	5793	Masa de la muestra (g):						
PESO MOLDE (g)	4245	4245	4245	4245	2500						
PESO MUES. HUMEDA (g)	1548	1605	1628	1548							
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	929.4	929.4	929.4	929.4							
PESO VOL. HUMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1666	1727	1752	1666							
PESO VOL. SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,434	1,461	1,471	1,370							
<b>HUMEDAD</b>											
RECIPIENTE No.	2	1	V	C	OBSERVACIONES						
PESO HUMEDO+TARA (grs)	442.4	442.3	442.1	440.6							
PESO SECO + TARA (grs)	404.0	400.1	399.0	392.2							
PESO AGUA (grs)	38.4	42.2	43.1	48.4							
TARA (grs)	166.0	168.3	172.7	167.5							
PESO SECO (grs)	238.0	231.8	226.3	224.7							
% HUMEDAD	16.1	18.2	19.0	21.5							
<b>RELACION DENSIDAD - HUMEDAD</b>											
											
<table border="1" style="float: right;"> <tr> <td>P.V.H. max.=</td> <td style="color: red;">1757</td> </tr> <tr> <td>P.V.S. max.=</td> <td style="color: red;">1473</td> </tr> <tr> <td>% De Humedad Optima =</td> <td style="color: red;">19.3</td> </tr> </table>						P.V.H. max.=	1757	P.V.S. max.=	1473	% De Humedad Optima =	19.3
P.V.H. max.=	1757										
P.V.S. max.=	1473										
% De Humedad Optima =	19.3										

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

**TABLA 5.14: RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD PARA MEZCLA CON 2.61% DE CEMENTO C1157**



**Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto**  
**Centro de Investigaciones ISCYC**

Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,  
 Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164

**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
**AASHTO T - 180**

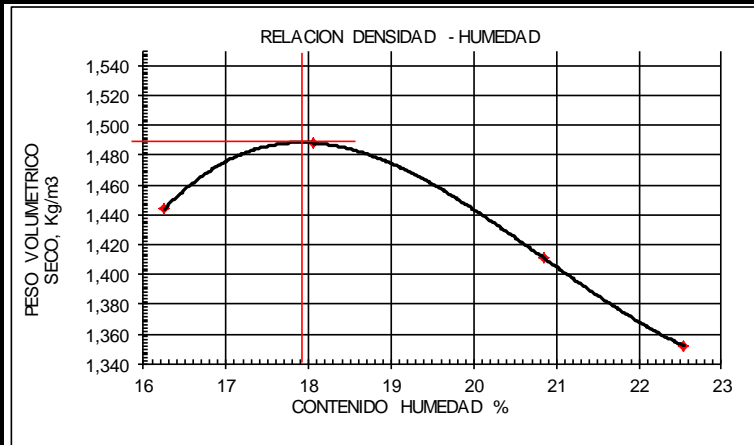
PROYECTO:	EVALUACION EN LABORATORIO DEL CURADO ACELERADO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTABLE PARA BASES DE CARRETERAS		
METODO:	A	MARTILLO:	10 lb
FECHA DE ENSAYO:	14 de marzo de 2011	GOLPES P/ C	25/5
OBSERVACIONES:	Porcentaje de cemento C1157 Tipo GU, 2,61%		

**PESO UNITARIO**

ENSAYO No.	1	3	4	5	OBSERVACIONES
% AGUA DE LABORATORIO	17%	21%	23.0%	25%	
AGUA AGREGADA (C.C)	425	525	575	625	
PESO MUESTRA+ MOLDE (g)	5805	5878	5830	5785	Masa de la muestra (g):
PESO MOLDE (g)	4245	4245	4245	4245	2500
PESO MUES. HUMEDA (g)	1560	1633	1585	1540	
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	929.4	929.4	929.4	929.4	
PESO VOL. HUMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1679	1757	1705	1657	
PESO VOL. SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,444	1,488	1,411	1,352	

**HUMEDAD**

RECIPIENTE No.	S	O	K	R	OBSERVACIONES
PESO HUMEDO+TARA (grs)	437.8	439.3	417.9	441.9	
PESO SECO + TARA (grs)	400.0	397.7	374.8	391.6	
PESO AGUA (grs)	37.8	41.6	43.1	50.3	
TARA (grs)	167.4	167.4	168.0	168.5	
PESO SECO (grs)	232.6	230.3	206.8	223.1	
% HUMEDAD	16.3	18.1	20.8	22.5	



P.V.H. max.=	1758
P.V.S. max.=	1491
%De Humedad Optima	17.9

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

- b.** Luego de tener seco el suelo, se procedió a obtener el contenido de humedad de la muestra por medio de la máquina de humedad, para realizar la corrección de masa seca por humedad.
- c.** A continuación se procedió a pesar las muestras de suelo y los contenidos de cemento según el diseño con cada uno de ellos.
- d.** Para elaborar los especímenes se procedió a colocar el suelo en una bandeja junto con el porcentaje de cemento según el diseño. Mezclando continuamente de manera que se obtuviera una mezcla homogénea.
- e.** Posteriormente al mezclado del suelo con el cemento, se procedió a añadir el agua para alcanzar la humedad óptima de la mezcla la cual fue calculada mediante la corrección de humedad realizada anteriormente, y mezclando para homogenizar todos los componentes de la mezcla (ver Imagen 5.18).

***IMAGEN 5.18: HOMOGENIZADO DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO***



***FUENTE: GRUPO DE TESIS.***

- f. Una vez homogenizada la mezcla de suelo-cemento, se procedió a elaborar los especímenes colocando 5 capas de suelo y luego compactando por medio de 25 golpes con la ayuda del martillo de 10 lb, por cada capa. Utilizando como molde los cilindros de 4" utilizados en la prueba AASHTO T-180 (ver Imagen 5.19).

**IMAGEN 5.19: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES**



FUENTE: GRUPO DE TESIS.

- g. Luego de haber colocado y compactado las 5 capas de mezcla en los cilindros (ver Imagen 5.20), se procedió a la extracción del espécimen utilizando un extractor hidráulico manual.
- h. Finalmente los cilindros fueron colocados en bolsas para someterlos a curado tanto por método convencional como por curado acelerado usando temperatura.

**IMAGEN 5.20: EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES.**



*FUENTE: GRUPO DE TESIS.*

## **5.6 CURADO DE ESPECÍMENES**

Para la investigación se efectuaron dos tipos de curado, los cuales se detallan a continuación:

### **5.6.1 CURADO CONVENCIONAL**

El curado convencional se efectuó aislando los especímenes por medio de la envoltura de los mismos en papel periódico humedecido y luego fueron colocados dentro de bolsas plásticas de manera que los mismos no perdieran humedad mientras alcanzaban la edad de 7 días. Alcanzada esta edad, los especímenes se sumergieron en una pila de curado durante 4 horas para posteriormente ser ensayados y obtener la resistencia de los mismos, dato que se tomaría como parámetro de control (ver Imagen 5.21 y 5.22).

**IMAGEN 5.21: CURADO CONVENCIONAL.**



*FUENTE: GRUPO DE TESIS.*

**IMAGEN 5.22: COLOCACIÓN DE ESPECÍMENES EN TANQUE DE CURADO**



*FUENTE: GRUPO DE TESIS.*

### **5.6.2 CURADO ACELERADO**

Después de extraer los especímenes de los moldes, fueron introducidos dentro de bolsas plásticas para evitar la pérdida de la humedad de éstos. Posteriormente, como se muestra en la Imagen 5.23, dichos especímenes embolsados fueron colocados dentro del horno de secado a dos diferentes temperaturas: 40 y 60°C, para posteriormente ser sacados de éste a tres diferentes edades, las cuales fueron 1, 2 y 3 días, con el fin de que el calor generado por el mismo, produjera vapor dentro de las bolsas en los cuales se encontraban los especímenes y se lograra el curado acelerado de los especímenes. La Imagen presenta la manera en la cual se evaluaron las dos temperaturas antes mencionadas en los diferentes especímenes elaborados, así

como también se presentan los resultados obtenidos en la Sección 5.8 de éste capítulo.

**IMAGEN 5. 23: CURADO ACELERADO**



*FUENTE: GRUPO DE TESIS.*

### **5.7 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS (SEGÚN ASTM D 1633)<sup>27</sup>**

En el caso del presente estudio se elaboraron un total de 48 especímenes cuyas dimensiones fueron las mismas de los cilindros utilizados para las pruebas de compactación Proctor de 4 pulgadas. El procedimiento a realizar para esta prueba fue con base en la norma ASTM D 1633.

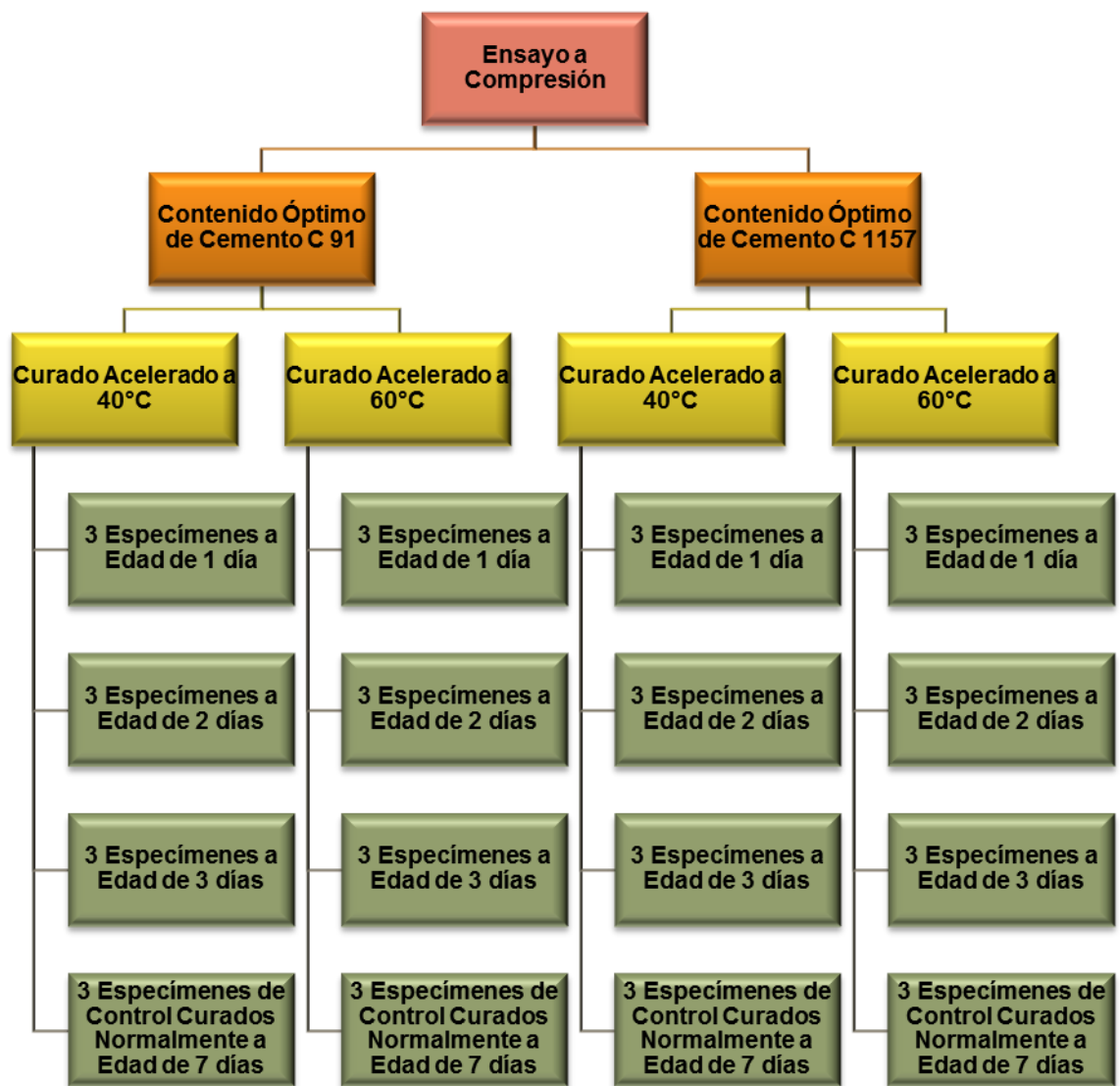
La metodología para la realización de ésta prueba se presenta por medio de un organigrama mostrado en la Imagen 5.24.

---

<sup>27</sup> Ver normativa completa en Anexo 7.

Los resultados de los ensayos a compresión realizados en los especímenes curados tanto con el método del curado acelerado como con el curado convencional, se muestran en la sección 5.8.

**IMAGEN 5.24: ORGANIGRAMA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS A ESPECÍMENES.**



FUENTE: GRUPO DE TESIS.



## 5.8 RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

A continuación se presentan los resultados de la resistencia alcanzada por los especímenes sometidos a las diferentes temperaturas de curado reuniéndolos por medio de tablas y realizando gráficas para su mayor comprensión. Se presentan resultados tanto de la resistencia alcanzada por los diferentes tipos y edades de curado, así como también se muestra resultados del peso volumétrico que poseían dichos especímenes.

### 5.8.1 ENSAYOS A COMPRESIÓN A ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 4% DE CEMENTO C 91

#### 5.8.1.1 ESPECÍMENES CURADOS A 40°C

**TABLA 5.15: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%) CURADOS A 40°C**

VOLUMEN DE ESPECÍMENES: 929.4 cm<sup>3</sup>

DIA 1					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,592.90	1,588.50	1,709.17	2,650.00	33.10
E <sub>2</sub>	1,593.60	1,589.20	1,709.92	2,550.00	31.80
E <sub>3</sub>	1,589.30	1,584.80	1,705.19	2,350.00	29.30
PROMEDIO	<b>1,591.93</b>	<b>1,587.50</b>	<b>1,708.09</b>	<b>2,516.67</b>	<b>31.40</b>
DIA 2					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1584.70	1580.80	1,700.88	3230.00	40.32
E <sub>2</sub>	1602.80	1598.20	1,719.60	2850.00	<b>35.58</b>
E <sub>3</sub>	1597.50	1593.60	1,714.65	3260.00	40.70
PROMEDIO	<b>1,595.00</b>	<b>1,590.87</b>	<b>1,711.71</b>	<b>3,113.33</b>	<b>40.51</b>
DIA 3					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1556.30	1544.00	1,661.29	3780.00	47.19
E <sub>2</sub>	1560.00	1549.60	1,667.31	3820.00	47.69
E <sub>3</sub>	1560.90	1542.00	1,659.13	3370.00	<b>42.07</b>
PROMEDIO	<b>1,559.07</b>	<b>1,545.20</b>	<b>1,662.58</b>	<b>3,656.67</b>	<b>47.44</b>

Nota: Los datos presentados en color rojo no fueron tomados en cuenta ya que no son cercanos a los demás resultados, sin embargo se requieren como mínimo dos resultados.

### 5.8.1.2 ESPECÍMENES CURADOS A 60°C

**TABLA 5.16: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%) CURADOS A 60°C**

VOLUMEN DE ESPECÍMENES: 929.4 cm<sup>3</sup>

DIA 1					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,625.40	1,586.30	1,706.80	2,930.00	36.58
E <sub>2</sub>	1,609.10	1,572.30	1,691.74	2,800.00	34.96
E <sub>3</sub>	1,613.10	174.30	187.54	2,800.00	34.96
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,615.87</b>	<b>1,110.97</b>	<b>1,195.36</b>	<b>2,843.33</b>	<b>35.50</b>
DIA 2					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,587.90	1,557.70	1,676.03	3,910.00	48.80
E <sub>2</sub>	1,600.40	1,568.10	1,687.22	3,820.00	47.80
E <sub>3</sub>	1,589.60	1,558.40	1,676.78	3,780.00	47.20
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,592.63</b>	<b>1,561.40</b>	<b>1,680.01</b>	<b>3,836.67</b>	<b>47.93</b>
DIA 3					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,602.50	1,556.10	1,674.31	3,950.00	49.30
E <sub>2</sub>	1,598.00	1,552.60	1,670.54	3,770.00	47.10
E <sub>3</sub>	1,596.10	1,553.10	1,671.08	3,860.00	48.20
<b>PROMEDIO</b>	<b>1598.87</b>	<b>1553.93</b>	<b>1671.97</b>	<b>3860.00</b>	<b>48.20</b>

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

### 5.8.1.3 ESPECÍMENES CURADOS CONVENCIONALMENTE

**TABLA 5.17: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%) CURADOS CONVENCIONALMENTE**

VOLUMEN DE ESPECÍMENES: 929.4 cm<sup>3</sup>

DIA 3					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E1	1567.40	1587.70	1708.31	1610.00	20.10
E2	1569.70	1579.50	1699.48	1660.00	20.70
<b>PROMEDIO</b>	<b>1568.55</b>	<b>1583.60</b>	<b>1703.89</b>	<b>1635.00</b>	<b>20.40</b>
DIA 7					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1517.00	1598.70	1720.14	3400.00	42.45
E <sub>2</sub>	1530.00	1589.70	1710.46	3160.00	39.45
E <sub>3</sub>	1540.30	1608.10	1730.26	3160.00	39.45
<b>PROMEDIO</b>	<b>1529.10</b>	<b>1598.83</b>	<b>1720.29</b>	<b>3240.00</b>	<b>40.45</b>

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

## 5.8.2 ENSAYO A COMPRESIÓN A ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 2.61% DE CEMENTO C 1157

### 5.8.2.1 ESPECÍMENES CURADOS A 40°C

**TABLA 5.18: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 (2.61%) CURADOS A 40°C**

VOLUMEN DE ESPECÍMENES: 929.4 cm<sup>3</sup>

DIA 1					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,575.10	1,571.40	1,460.46	2,040.00	25.47
E <sub>2</sub>	1,567.40	1,562.00	1,451.72	2,140.00	26.72
E <sub>3</sub>	1,551.30	1,545.70	1,436.57	2,200.00	27.46
PROMEDIO	1,564.60	1,559.70	1,449.59	2,126.67	26.55
DIA 2					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,564.60	1,557.30	1,447.35	2,530.00	31.59
E <sub>2</sub>	1,557.70	1,550.30	1,440.85	2,530.00	31.59
E <sub>3</sub>	1,550.50	1,542.30	1,433.41	2,460.00	30.71
PROMEDIO	1,557.60	1,549.97	1,440.54	2,506.67	31.30
DIA 3					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,552.40	1,540.40	1,431.65	2,870.00	35.83
E <sub>2</sub>	1,555.50	1,545.70	1,436.57	2,370.00	29.59
E <sub>3</sub>	1,542.30	1,532.00	1,423.84	2,580.00	32.21
PROMEDIO	1,550.07	1,539.37	1,430.69	2,606.67	32.54

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

### 5.8.2.2 ESPECÍMENES CURADOS A 60°C

**TABLA 5.19: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 (2.61%) CURADOS A 60°C**

VOLUMEN DE ESPECÍMENES: 929.4 cm<sup>3</sup>

DIA 1					
ESPECIMEN	PESO RECIEN HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,553.00	1,539.30	1,656.23	2,220.00	27.70
E <sub>2</sub>	1,548.60	1,538.40	1,655.26	2,130.00	26.60
E <sub>3</sub>	1,554.30	1,544.30	1,661.61	2,150.00	26.80
PROMEDIO	1,551.97	1,540.67	1,657.70	2,166.67	27.03

DIA 2					
ESPECIMEN	PESO RECIENTE HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>3</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,530.10	1,500.80	1,614.81	2,680.00	33.46
E <sub>2</sub>	1,536.80	1,505.20	1,619.54	2,610.00	32.58
E <sub>3</sub>	1,558.60	1,524.00	1,639.77	2,890.00	36.08
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,541.83</b>	<b>1,510.00</b>	<b>1,624.70</b>	<b>2,726.67</b>	<b>33.02</b>
DIA 3					
ESPECIMEN	PESO RECIENTE HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>3</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,539.90	1,502.50	1,616.63	2,840.00	35.46
E <sub>2</sub>	1,554.70	1,513.60	1,628.58	2,350.00	29.54
E <sub>3</sub>	1,549.20	1,509.60	1,624.27	2,570.00	32.08
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,547.93</b>	<b>1,508.57</b>	<b>1,623.16</b>	<b>2,586.67</b>	<b>33.77</b>

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

### 5.8.2.3 ESPECÍMENES CURADOS CONVENCIONALMENTE

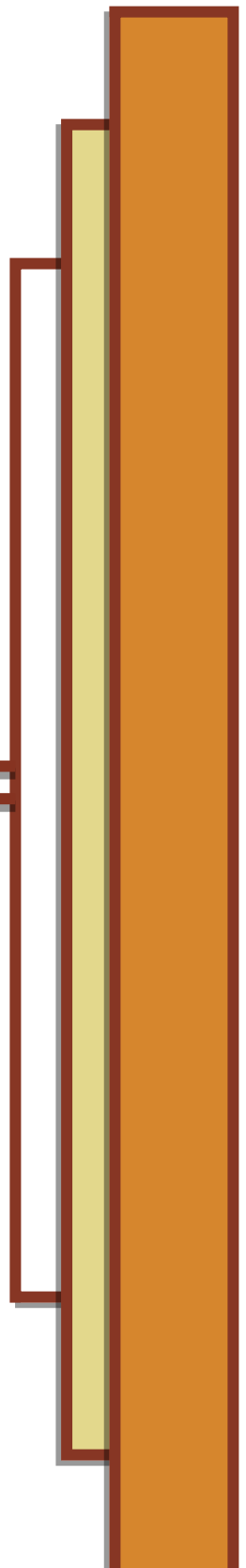
**TABLA 5.20: RESULTADOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 (2.61%) CURADOS CONVENCIONALMENTE**

VOLUMEN DE ESPECÍMENES: 929.4 cm<sup>3</sup>

DIA 3					
ESPECIMEN	PESO RECIENTE HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>3</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E1	1,557.30	1,594.40	1,715.52	2,060.00	25.72
E2	1,526.30	1,578.60	1,698.52	1,740.00	21.72
E3	1,553.30	1,601.80	1,723.48	2,010.00	25.09
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,545.63</b>	<b>1,591.60</b>	<b>1,712.50</b>	<b>1,936.67</b>	<b>24.18</b>
DIA 7					
ESPECIMEN	PESO RECIENTE HECHO (g)	PESO ANTES DE ENSAYO (g)	PESO VOLUMETRICO (kg/cm <sup>3</sup> )	CARGA MAXIMA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )
E <sub>1</sub>	1,551.20	1,606.70	1,728.75	2,430.00	30.34
E <sub>2</sub>	1,564.70	1,611.30	1,733.70	2,550.00	31.84
E <sub>3</sub>	1,542.60	1,604.20	1,726.06	2,120.00	26.47
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,552.83</b>	<b>1,607.40</b>	<b>1,729.50</b>	<b>2,366.67</b>	<b>31.09</b>

FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

# **CAPÍTULO 6: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**



## **6.1 INTRODUCCIÓN**

Los aspectos a tratar en este capítulo son los relacionados con el análisis y comparación de los resultados de los especímenes sometidos a la prueba de compresión son mostrados en graficas con el fin de poder hacer una mejor interpretación de los mismos.

También se realiza una comparación de los resultados obtenidos entre los especímenes sometidos al curado acelerado con cemento C 91 versus el cemento C 1157.

Además de ser comparados los valores de resistencia obtenidos, se pueden observar los datos de los pesos volumétricos que se calcularon y su variación de acuerdo a las condiciones que los especímenes fueron sometidos.

## **6.2 RESULTADO DE ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**

Se realizaron las pruebas correspondientes al suelo descrito en la sección 5.2 para poder caracterizarlo. El ensayo de granulometría brindó resultados satisfactorios (Tabla 5.4) ya que se estableció que el suelo utilizado en la investigación cumplió con una granulometría aceptable con base en los porcentajes necesarios de suelo retenido por la malla No. 200, es decir más del 50%.

En relación a los límites de Atterberg los resultados mostraron que el material no contenía presencia alguna de arcilla ni materia orgánica. Con los datos que se han presentado en el Capítulo 5 de granulometría, límites de consistencia y

gravedad específica se puede clasificar el suelo de acuerdo a la norma ASTM D 2487 como se muestra a continuación:

Con base en el sistema SUCS del cual se basa la norma ASTM D 2487, se clasifica como una ARENA LIMOSA (SM por sus siglas en inglés) pues como se observa en la Tabla 5.1 más del 12% del suelo analizado pasa la malla No. 200<sup>28</sup>.

El porcentaje presente de limo en la muestra de suelo, fue uno de los factores importantes en el incremento del consumo de cemento, puesto que si el suelo presenta arena en menor cantidad se obtiene baja resistencia a la compresión, valor que incrementa al agregarle más material cementante.

### **6.3 RESULTADO DE ENSAYOS PROCTOR Y ENSAYO A COMPRESIÓN**

Estos ensayos se realizaron para la obtención del contenido óptimo de cemento C91 y C1157, los cuales fueron utilizados para elaborar la mezcla de suelo-cemento que alcanzaría la resistencia mínima requerida.

#### **6.3.1 EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE 3 Y 5% DE CEMENTO C 91**

Con base en los resultados del porcentaje de humedad óptima de las Tablas 5.6 y 5.7, en las que se muestra el valor de 17.75 y 16.8 respectivamente, para el cemento C 91 se obtuvieron los resultados de resistencia de los especímenes elaborados con dichas humedades, los cuales arrojaron un promedio de 27.42 kg/cm<sup>2</sup> para 3% y 36.82 kg/cm<sup>2</sup> para 5% de cemento C 91. Estos resultados, tal como se muestra en la Sección 5.4.1, literal “e”; fueron

---

<sup>28</sup> Ver Anexo 8.

interpolados para obtener el valor óptimo de cemento que correspondiera a una resistencia de  $32 \text{ kg/cm}^2$  dando como resultado un contenido de cemento C 91 de 4% del peso total de suelo seco.

### **6.3.2 EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE 3 Y 5% DE CEMENTO C 1157**

Tal como se muestra en las Tablas 5.8 y 5.9, los contenidos de humedad obtenidos para los contenidos de cemento de 3 y 5% de cemento C 1157 fueron de 17.0% y 16.3%, respectivamente. Dichas humedades se utilizaron para elaborar los especímenes con los cuales se encontró la resistencia óptima, los cuales alcanzaron una resistencia de  $33.76 \text{ kg/cm}^2$  para 3% y  $43.85 \text{ kg/cm}^2$  para 5% de cemento C 1157.

Realizando la extrapolación, como se muestra en la Sección 5.4.2, literal “e”, con el valor requerido de  $32 \text{ kg/cm}^2$ , se obtuvo que para el peso del suelo seco se necesitó un 2.61% de contenido de cemento C 1157.

### **6.3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA PARA 4.00% DE CEMENTO C 91 Y 2.61% DE CEMENTO C 1157**

Con el mismo procedimiento realizado en el ensayo Proctor para los contenidos de 3 y 5% de los dos tipos de cementos utilizados, se llevó a cabo la obtención del porcentaje de humedad óptima para los contenidos de cemento óptimos tanto para el C 91 como para el C 1157.

Para la mezcla con 4.00% de cemento C 91, el contenido óptimo de humedad que se obtuvo fue de 19.3%; y para la mezcla con 2.61% de cemento C



1157, el contenido óptimo de humedad que se obtuvo fue de 17.9%, lo que demuestra que la humedad requerida aumenta cuando se incrementa el contenido de cemento de la mezcla. Dichos contenidos de humedad fueron los que se utilizaron para la elaboración de los especímenes que fueron sometidos tanto a curado normal como a curado acelerado a temperaturas de 40 y 60°C.

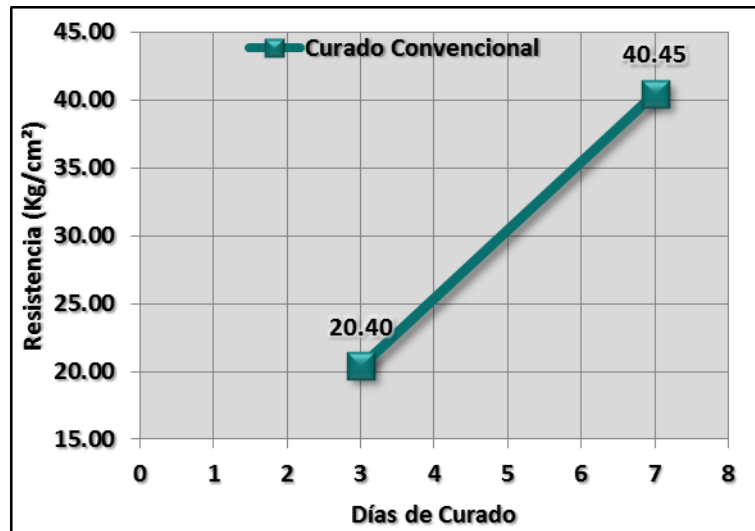
#### **6.4 ESPECÍMENES CURADOS NORMALMENTE**

Los especímenes que fueron sometidos a estas condiciones fueron envueltos en papel periódico mojado, para ser colocados en bolsas plásticas amarradas para mantener la humedad y luego ser ensayados a compresión a edades de 3 y 7 días.

Al cumplir el tiempo de curado en bolsas plásticas, cada uno de los especímenes fue sumergido en agua dentro de un tanque de curado a temperatura aproximada de 25°C por 4 horas previo al ensayo de compresión, esto para recrear las condiciones más desfavorables que se dan en el campo. Los resultados obtenidos de dichos especímenes sirvieron como parámetro de comparación entre la mezcla curada convencionalmente con las mezclas curadas con altas temperaturas.

- a) Para los especímenes elaborados con mezcla al 4.0% de cemento C 91, se obtuvieron resistencias promedio de 20.40 kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días y 40.45 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, tal como lo muestra la Tabla 5.17 y que se presentan a continuación en la Gráfica 6.1.

**GRÁFICA 6.1: CURADO CONVENCIONAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%)**

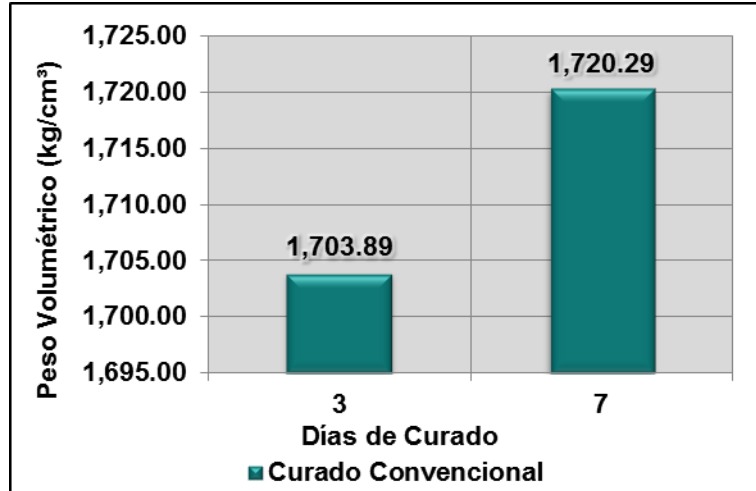


*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

Puede Observarse que los especímenes ensayados a compresión a la edad de 3 días alcanzaron solamente un 50.43% (20.40 kg/cm<sup>2</sup>) de la resistencia total alcanzada por los especímenes ensayados a los 7 días (40.45 kg/cm<sup>2</sup>).

De igual forma se presenta en la Gráfica 6.2 una comparación de los datos promedios de los pesos volumétricos obtenidos de los especímenes sometidos a estas condiciones, basados en los resultados de la Tabla 5.17, lo cual muestra el incremento de su valor al séptimo día de curado.

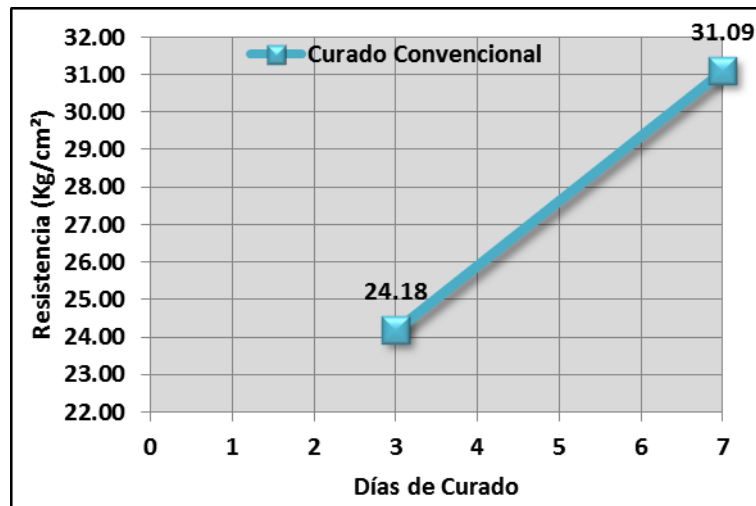
**GRÁFICA 6.2: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.0%)  
SOMETIDOS A CURADO CONVENCIONAL**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

- b) Para los especímenes elaborados con mezcla al 2.61% de cemento C 1157, se obtuvieron resistencias promedio de 24.18 kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días y 31.09 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, tal como lo muestra la Tabla 5.20 y que se presentan a continuación en la Gráfica 6.3.

**GRÁFICA 6.3: CURADO CONVENCIONAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO  
GU (2.61%)**

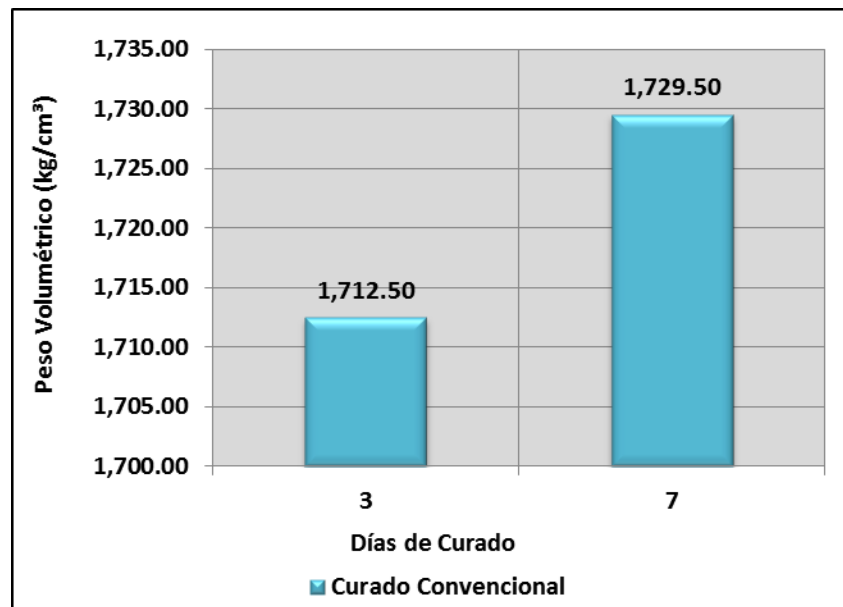


FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

En este caso, los especímenes ensayados a los 3 días de curado lograron un 77.77% (24.18 kg/cm<sup>2</sup>) de la resistencia esperada a los 7 días, la cual fue de 31.09 kg/cm<sup>2</sup>, lo que muestra que a la mitad del tiempo de curado ya ha alcanzado más del 50% de la resistencia que obtendría a los 7 días.

De la misma manera se presenta en la Gráfica 6.4 una comparación de los datos promedios de los pesos volumétricos obtenidos de los especímenes sometidos a estas condiciones, basados en los resultados de la Tabla 5.20. Al igual que en el caso del cemento C 91, los valores del peso volumétrico incrementan desde que son sometidos al curado convencional.

**GRÁFICA 6.4: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) SOMETIDOS A CURADO CONVENCIONAL**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

## 6.5 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA CON 4.0% DE CEMENTO C 91

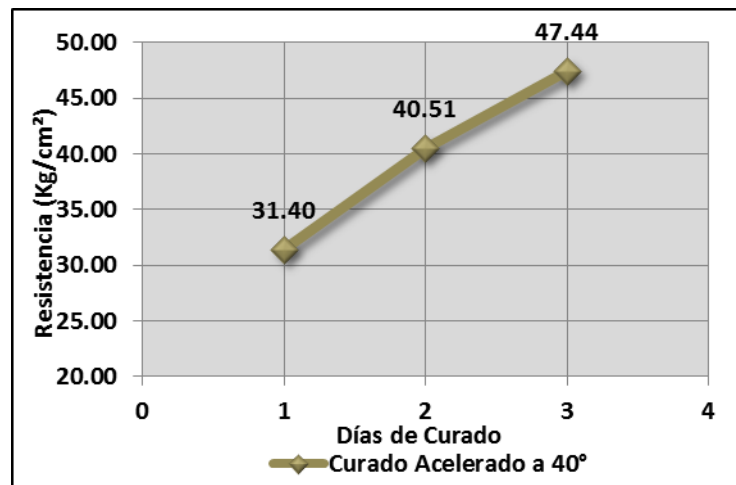
Se presentan los resultados obtenidos mediante gráficas para observar el comportamiento de los especímenes con 4% de cemento C91 sometidos a curado acelerado.

### 6.5.1 CURADO ACELERADO A 40°C

Luego de elaborados los especímenes en grupo de tres, fueron introducidos al horno de secado los cuales al cumplir el periodo de curado de 1, 2 y 3 días se sometieron al ensayo de compresión para evaluar la resistencia que cada uno de ellos obtenían, resultado que se comparó con la resistencia buscada a los 7 días de curado normal.

De los datos que se presentaron en la Tabla 5.15 se obtienen los promedios de resistencia que se muestran en la Gráfica 6.5.

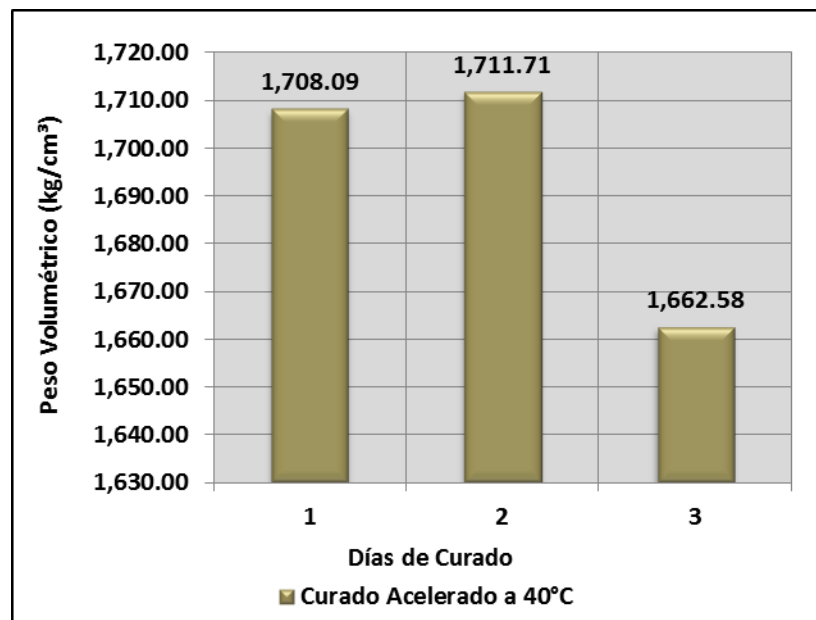
**GRÁFICA 6.5: CURADO ACELERADO A 40°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%)**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

Claramente se puede apreciar un aumento de los valores de resistencia, sobrepasando en todo el momento el valor mínimo requerido por condiciones técnicas utilizadas en el país.

**GRÁFICA 6.6: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 40°C**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

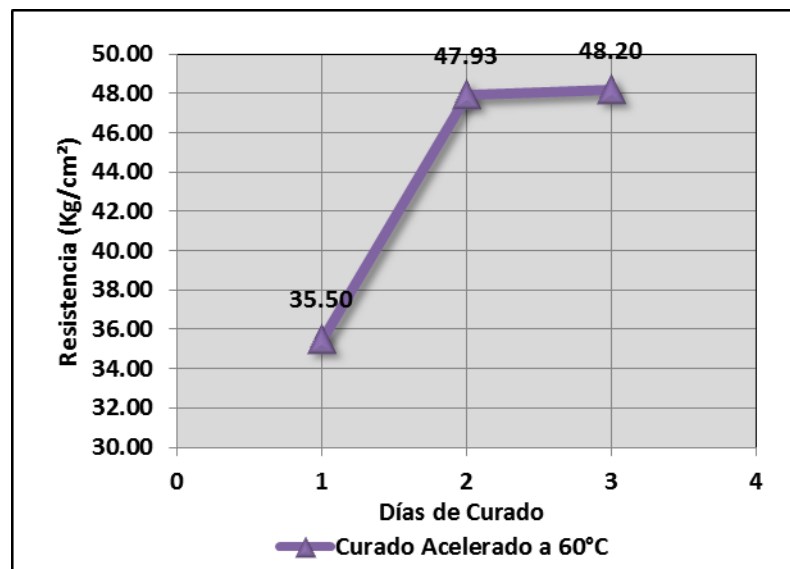
En la Gráfica 6.6 se presentan los promedios obtenidos de los pesos volumétricos de dichos especímenes.

Como puede observarse al segundo día de ser sometido a curado acelerado, el valor se incrementa en tres puntos por encima del valor inicial de 1,708.09 kg/cm<sup>2</sup>, disminuyendo un 2.66% al tercer día de curado acelerado a 40°C.

### 6.5.2 CURADO ACELERADO A 60°C

A continuación se presentan los datos obtenidos de la Tabla 5.16 de los cuales se obtienen los promedios de resistencia que se muestran en la Gráfica 6.7.

**GRÁFICA 6.7: CURADO ACELERADO A 60°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%)**



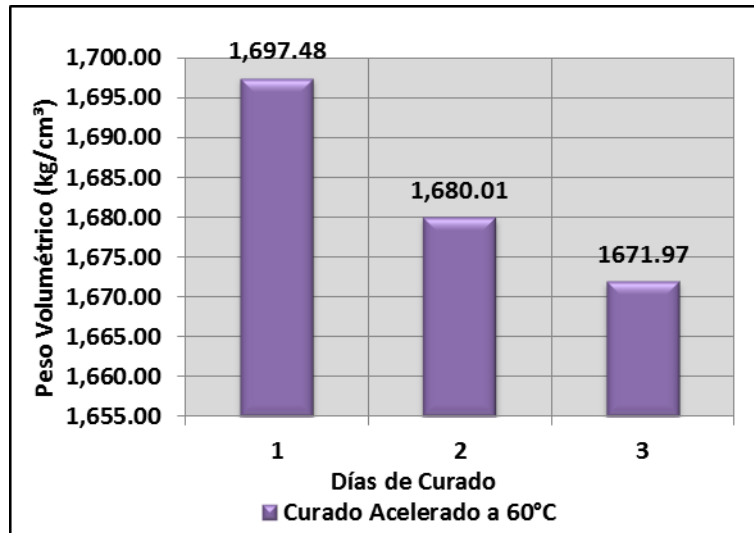
FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

Los valores mostrados indican que cada uno de los días de curado acelerado de especímenes elaborados con cemento C 91 a 60°C sobrepasa la resistencia para la cual se diseñó la mezcla de 32 kg/cm<sup>2</sup>, obteniendo su mayor valor al tercer día.

Los valores presentados en la Gráfica 6.8 demuestran que el valor inicial en el peso volumétrico es el mayor de los obtenidos en el periodo de curado

acelerado, mostrando una disminución de 1.5% a los tres días de estar sometida a las condiciones de curado aquí evaluadas.

**GRÁFICA 6.8: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 60°C**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

## 6.6 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA CON 2.61% DE CEMENTO C 1157

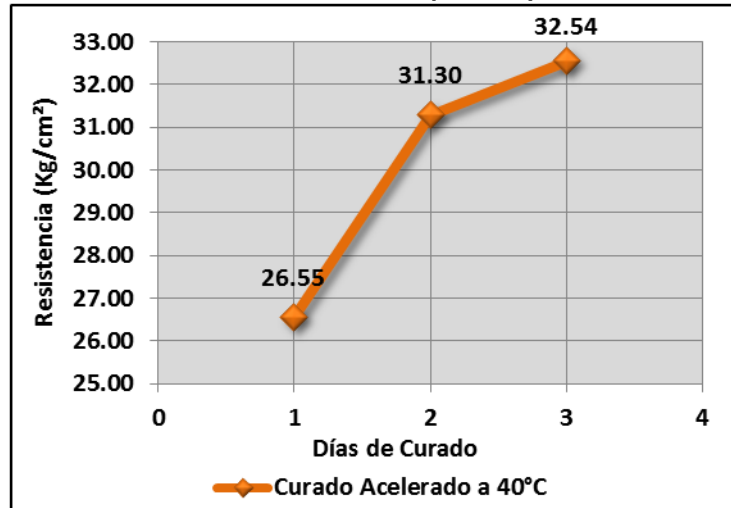
A continuación se presentan los resultados de los ensayos a compresión realizado en los especímenes elaborados con mezcla con cemento al 2.61% de cemento C 1157.

### 6.6.1 CURADO ACELERADO A 40°C

La Gráfica 6.9 presenta los datos recopilados de la Tabla 5.18, en la cual se muestra que el primer día de curado a esta temperatura no alcanza la resistencia mínima requerida, alcanzando su mayor valor al tercer día y sobrepasando la resistencia de diseño de 32 kg/cm<sup>2</sup> un 1.7 %.



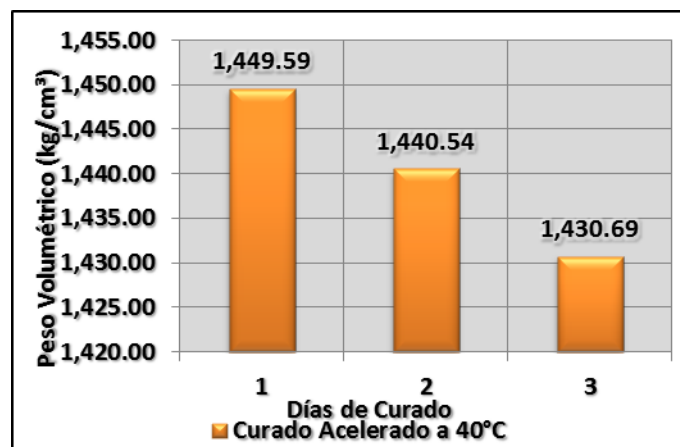
**GRÁFICA 6.9: CURADO ACELERADO A 40°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%)**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

Al igual que en los casos anteriores, los pesos volumétricos calculados para este tipo de condición de curado acelerado a 40° indican una disminución cada día del periodo de evaluación como se puede apreciar en la en la Gráfica 6.10, donde son detallados los valores obtenidos.

**GRÁFICA 6.10: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 40°C**



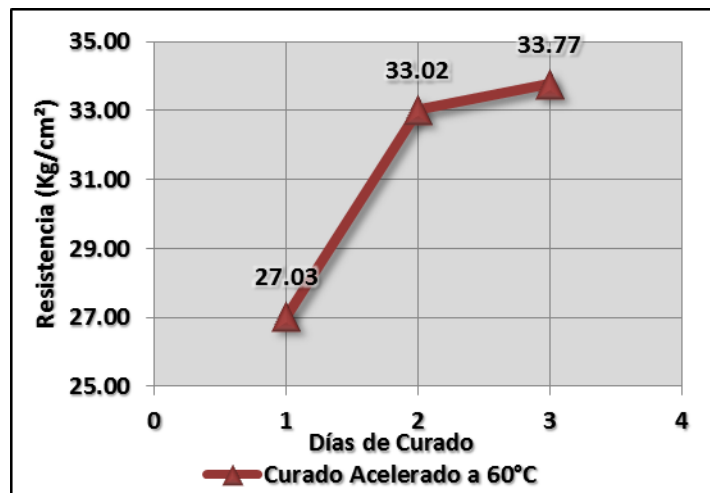
FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

### 6.6.2 CURADO ACELERADO A 60°C

La Gráfica 6.11 muestra el incremento de la resistencia que la mezcla alcanza al someterla a curado acelerado, mostrando su mayor valor de 33.77 kg/cm<sup>2</sup> al tercer día y logrando sobrepasar la resistencia de curado normal de 31.09 kg/cm<sup>2</sup>, mostrada en el gráfico 6.3, un 8.6%.

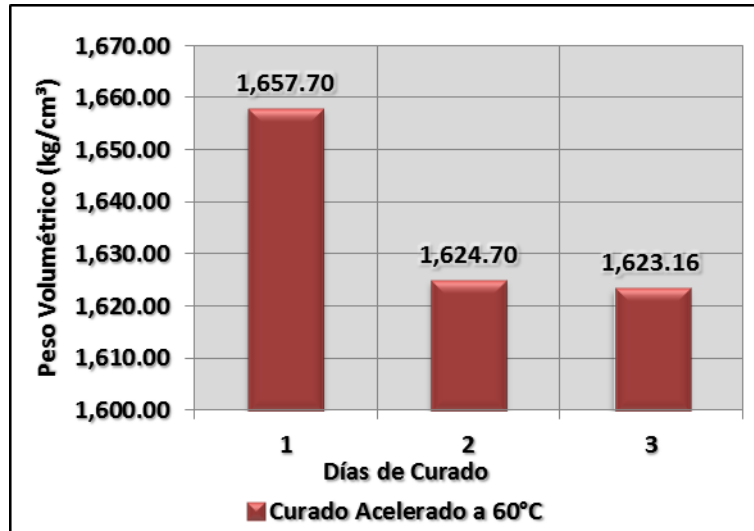
Los pesos volumétricos alcanzados durante el periodo de curado acelerado, con respecto al primer día muestran una reducción en su valor, tal como se observa en la Gráfica 6.12, siguiendo la tendencia a la baja que en las demás condiciones se han obtenido tal como se ha mostrado en las gráficas anteriores a esta.

**GRÁFICA 6.11: CURADO ACELERADO A 60°C PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%)**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

**GRÁFICA 6.12: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%) SOMETIDOS A CURADO ACELERADO A 60°C**



*FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.*

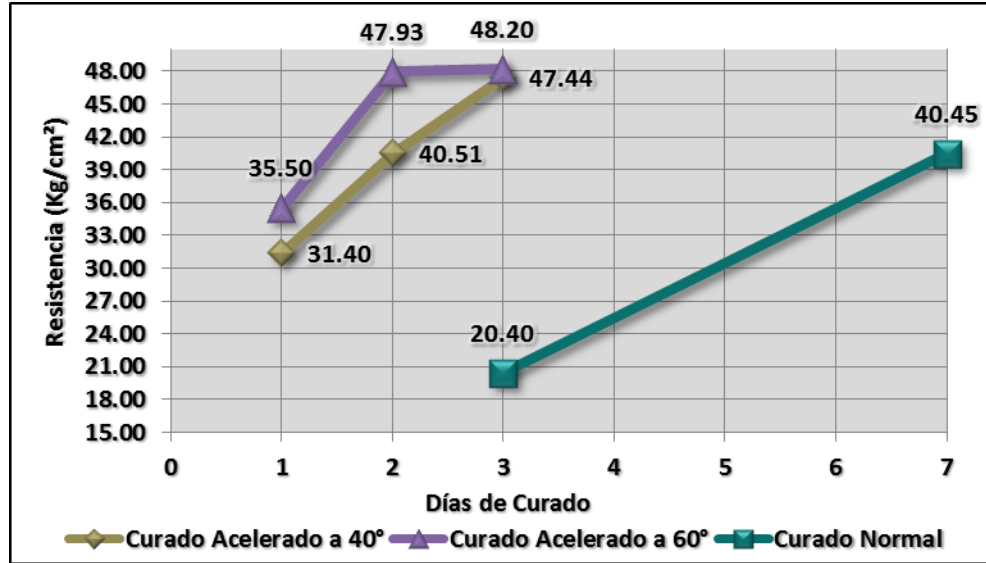
## **6.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN**

En la sección anterior se han presentado los datos graficados de los resultados que se obtuvieron de los ensayos a compresión en cada uno de los cilindros; en la Gráfica 6.13 se resumen los valores para una mejor comprensión de estos.

### **6.7.1 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 4.0% DE CEMENTO C 91**

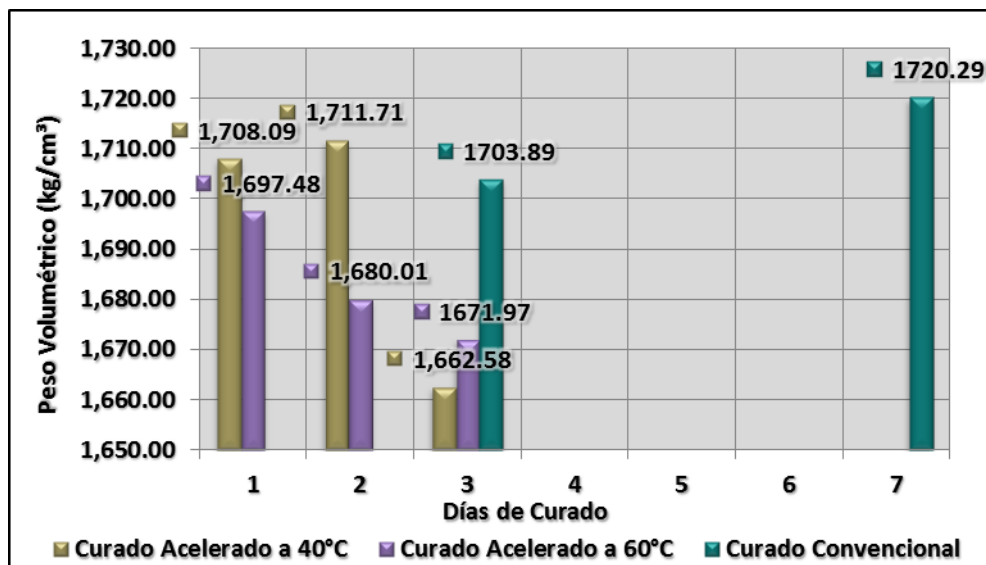
En los datos de la Gráfica 6.13 se observa la tendencia a aumentar de la resistencia que los especímenes alcanzan con la aplicación del curado acelerado en el periodo de evaluación de 1,2 y 3 días; superando así la resistencia que los mismos presentaron al realizar el curado convencional. Logrando en ambos casos en el día 3 un incremento de aproximadamente 18% de la resistencia alcanzada por los especímenes de control ensayados a los 7 días.

**GRÁFICA 6.13: CURADO ACELERADO Y CURADO NORMAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 91 TIPO M (4.00%)**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

**GRÁFICA 6.14: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 91 (4.00%)**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

Los pesos volumétricos de los especímenes de suelo-cemento muestran cambios en sus valores iniciales de acuerdo a la temperatura que los mismos fueron sometidos, como se observa en la Gráfica 6.14, puesto que al segundo día en que se sometieron al curado acelerado con una temperatura de 40°C su valor se ve incrementado, disminuyendo al tercero; no así aplicando la temperatura de 60°C ya que el peso volumétrico disminuye desde el primer día de curado; no alcanzando en ningún caso el valor obtenido a los 7 días de curado normal.

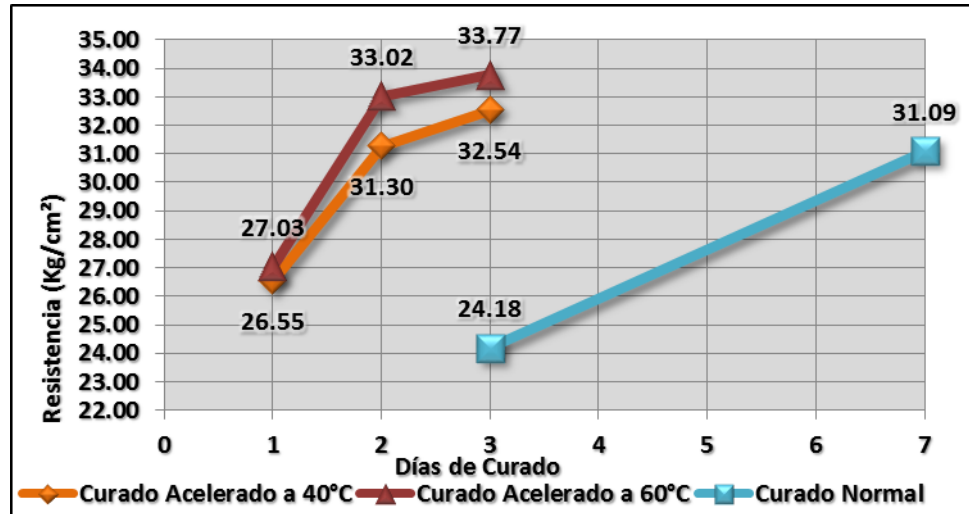
El mayor valor obtenido con el curado acelerado a 40°C fue de 1711.71 kg/cm<sup>2</sup>, con una diferencia de apenas 0.5% bajo el resultado de curado convencional de 1720 kg/cm<sup>2</sup>; comparando este último con el mayor valor arrojado por el curado acelerado a 60°C el cual es de 1697.48 kg/cm<sup>2</sup>, la diferencia fue de escasamente 1.3%

### **6.7.2 ESPECÍMENES ELABORADOS CON MEZCLA AL 2.61% DE CEMENTO C 1157**

En la Gráfica anterior se puede observar el conjunto de resistencias obtenidas para el cemento C 1157; en donde se puede apreciar que el mayor valor de resistencia obtenida fue al tercer día de curado acelerado a 60°C con 33.77 kg/cm<sup>2</sup> estando arriba 2.68 kg/cm<sup>2</sup> (8.6%) del valor obtenido a los 7 días de curado normal.

En el caso de curado acelerado a 40°C a tres días igual sobrepasa al valor obtenido por curado normal a los 7 días con un 4.7%.

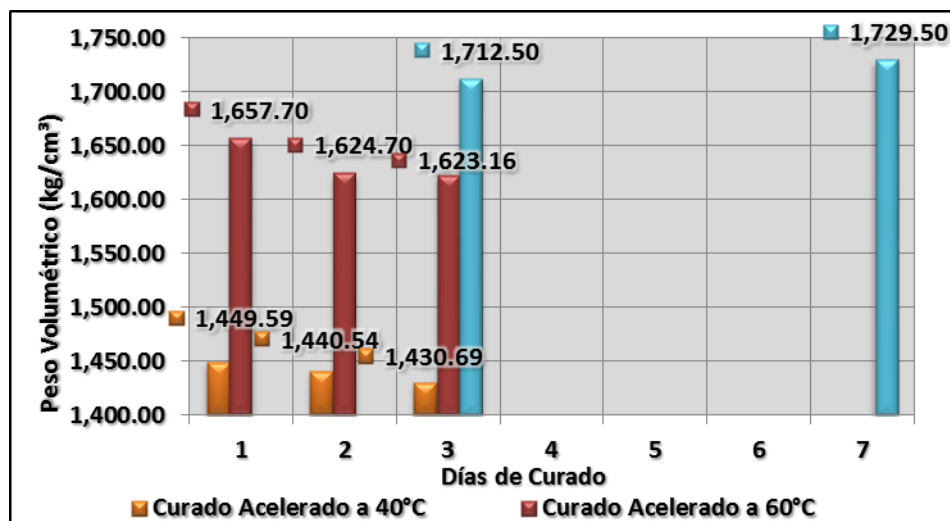
**GRÁFICA 6.15: CURADO ACELERADO Y CURADO NORMAL PARA SUELO-CEMENTO CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%)**



FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

Los valores mencionados en los párrafos anteriores demuestran que el curado acelerado a los tres días por ambas temperaturas ha sobrepasado la resistencia del curado normal a los 7 días y por ende la de 3 días.

**GRÁFICA 6.16: PESOS VOLUMÉTRICOS DE ESPECÍMENES CON CEMENTO C 1157 TIPO GU (2.61%)**

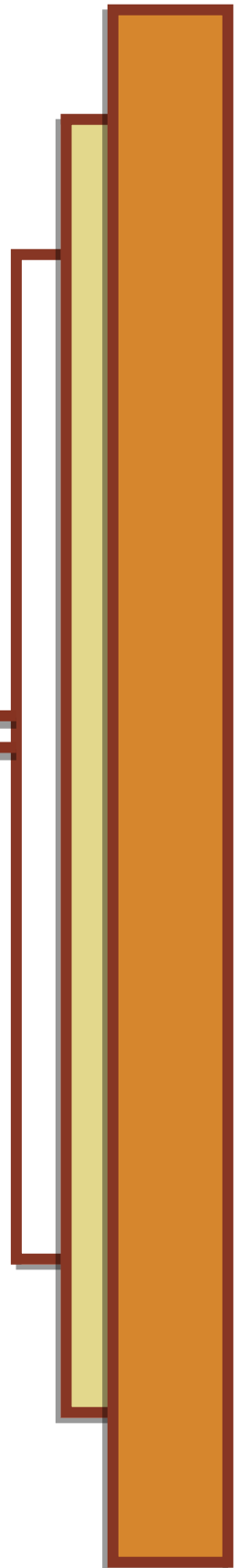


FUENTE: RESULTADOS GRUPO DE TESIS.

Como se muestran en el Gráfico 6.16 los pesos volumétricos para ambas temperaturas evaluadas disminuyen desde el primer día que son sometidos los especímenes a esas circunstancias, siendo los valores más bajos los resultantes del curado acelerado a 40°C.

La diferencia entre el peso volumétrico que se tiene a los 7 días, con el valor obtenido al tercer día de curado acelerado a 40°C es de 20.9% y con el de curado acelerado a 60°C se obtiene un dato de 6.6%, afirmando que los valores más alejados de los mostrados por el curado convencional son los obtenidos por las condiciones de temperatura a 40°C.

# **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**





## 7.1 CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a la investigación realizada se puede concluir que la aplicación del método de curado acelerado en especímenes de suelo-cemento solo es factible realizarla por un periodo no mayor de 3 días ya que durante este tiempo el espécimen adquiere la resistencia demandada. La aplicación de este método por periodos mayores de 3 días es innecesario ya que después del tercer día el espécimen no incrementa su resistencia de manera significativa.
- ✓ La aplicación del curado acelerado a los especímenes elaborados con mezcla de suelo-cemento provoca la disminución del peso volumétrico de los mismos durante el paso de cada día de curado, esto debido a la pérdida de humedad que cada uno sufría al ser manipulado previamente al ensayo de compresión luego de haberse abierto las bolsas, siendo mayor la pérdida de humedad en los especímenes ensayados al tercer día ya que existía mayor vapor de agua en el interior de la bolsa.
- ✓ Utilizando el método del curado acelerado con altas temperaturas se puede llegar a conocer, a temprana edad, la resistencia que una mezcla de suelo-cemento compactado tendrá a una edad posterior para la que fue diseñada.
- ✓ Ambas temperaturas propuestas, es decir 40°C y 60°C, son aplicables para el estudio realizado ya que en ambos casos, la resistencia obtenida a los 7 días es alcanzada a los 2 días de curado acelerado.

- ✓ Los especímenes curados aceleradamente a 60°C alcanzaron la resistencia de control esperada a los 7 días en un tiempo menor que los especímenes curados a 40°C, puesto que para la temperatura de 40°C la resistencia para la cual se diseñaron las mezclas se obtuvo aproximadamente a los 2 días (48 horas); en cambio para la temperatura de 60°C la resistencia de diseño se logró a edades de 1.4 días (33.6 horas) en el caso de la mezcla con cemento C 91; y 1.7 días (40.8 horas) en el caso de la mezcla con cemento C 1157.
- ✓ Tomando en cuenta los factores que influyen durante la elaboración, curado y ensayo de los especímenes; tales como el porcentaje de suelo y cemento utilizado en la mezcla y el precio actual de los mismos, el cemento C 91 es el que muestra mejores ventajas para ser utilizado en la elaboración de mezclas de suelo-cemento y su posterior evaluación en curado acelerado, ya que es el que presenta un precio más económico en comparación con el cemento C 1157, y logra que la mezcla elaborada con dicho material alcance más rápidamente su resistencia de diseño al ser sometido a dicha condición de curado.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Para la elaboración de los especímenes de suelo-cemento que serán sometidos a la prueba de compresión en laboratorio es necesario someterlo a una misma energía de compactación es decir que una sola persona

realice la compactación de los mismos ya que la misma varía entre cada persona.

- ✓ Al momento de realizar el curado acelerado de los especímenes de suelo-cemento, es necesario colocar cada uno de los especímenes en una bolsa plástica individual para evitar que ocasionen daños por el contacto entre los mismos.
- ✓ Es recomendable que antes de someter a la prueba de compresión los especímenes de curado acelerado se dejen enfriar por un periodo mínimo de 20 minutos.
- ✓ Verificar el precio de los materiales utilizados en la mezcla de suelo-cemento, para tomar una decisión más económica al momento de llevar a cabo la elaboración de los especímenes y curado acelerado de los mismos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- M. en I. Eduardo de la Fuente Lavallo.  
SUELO-CEMENTO, sus usos, propiedades y aplicaciones.  
Instituto mexicano del cemento y del concreto, México, 1995.
  
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Notas técnicas.  
Dosificación de mezclas de suelo-cemento.  
Medellín, Colombia, 1983.
  
- Portland Cement Association.  
Soil-cement laboratory hand book.
  
- Comité ACI 230-1R.  
El estado del arte del suelo-cemento.  
American Concrete Institute.
  
- Crespo Villalaz.  
Mecánica de suelos y cimentaciones.  
México D.F. 2005.

- Ramírez Menjivar, Juan Tubias.  
Restitución y estabilización de suelo.  
Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador (UES) ,1990.
  
- FOVIAL.  
Estabilización de Suelos con Cemento, Condiciones Técnicas.  
El Salvador 2009.
  
- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto.  
Revista ISCYC No. 43.  
San Salvador, El Salvador 2006.
  
- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto.  
Revista ISCYC No. 44.  
San Salvador, El Salvador 2007.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ASTM Designation D 1633.  
“Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders”.  
Philadelphia, Pa. (2000).
  
- ASTM Designation D 1632.  
“Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory”.  
Philadelphia, Pa. (2000).
  
- ASTM Designation C 684.  
“Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens”.  
Philadelphia, Pa. (2002).
  
- ASTM Designation C 150.  
“Standard Specification for portland Cement”. American Society for Testing and Materials”.  
Philadelphia, Pa. (2002).

- ASTM Designation C 595  
“Standard Specification for Blended Hydraulic Cements”. American Society for Testing and Materials”.  
Philadelphia, Pa. (2002).
  
- ASTM Designation C 91.  
“Standard Specification for Masonry Cement”. American Society for Testing and Materials”.  
Philadelphia, Pa. (1996).
  
- ASTM Designation D 422.  
“Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils”.  
Philadelphia, Pa. (2002).
  
- ASTM Designation D 4318.  
“Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils”.  
Philadelphia, Pa. (2000).
  
- ASTM Designation D 854.  
“Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer”.  
Philadelphia, Pa. (2002).

- ASTM Designation D 1557.  
“Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))”.  
Philadelphia, Pa. (2002).
  
- AASHTO Designation M 85  
“Standard Specification for Portland Cement”
  
- AASHTO Designation T-180  
“Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop”.
  
- ACI Designation 230-1R  
“Report on Soil Cement”



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acanaladura:** Sinónimo de canal, canaladura o estría, en cuanto que es un surco o moldura hueca más o menos redondeada, de sección semicircular o con ángulos vivos, que se hace en el sentido longitudinal a lo largo de una superficie.
- **Agrietamiento:** Acción de producir una Grieta.
- **Ahuellamiento:** Es una forma de deterioro superficial asociado con las condiciones de carga y climáticas a las que está sometido el pavimento en servicio o su base. Se desarrolla gradualmente y aparece como una depresión continua en las bandas de circulación de los neumáticos, dificultando la maniobrabilidad de los vehículos y ocasionando una disminución en la seguridad.
- **Fisura:** Es una abertura pequeña, que tan solo es superficial.
- **FlyAsh:** (cenizas volantes), son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.
- **Grieta:** Es una abertura profunda de mayor dimensión que la fisura y que generalmente afecta todo el espesor de un material.
- **Piseta:** También llamada frasco lavador, es un frasco cilíndrico de plástico o vidrio con pico largo, que se utiliza en el laboratorio de química o biología,

para contener algún solvente, por lo general agua destilada o desmineralizada.

# ANEXOS

**ANEXO 1:**

**ASTM D 422: STANDARD TEST METHOD FOR PARTICLE-SIZE ANALYSIS OF SOILS.**



Designation: D 422 – 63 (Reapproved 2002)

## Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 422; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This test method covers the quantitative determination of the distribution of particle sizes in soils. The distribution of particle sizes larger than 75  $\mu\text{m}$  (retained on the No. 200 sieve) is determined by sieving, while the distribution of particle sizes smaller than 75  $\mu\text{m}$  is determined by a sedimentation process, using a hydrometer to secure the necessary data (Note 1 and Note 2).

NOTE 1—Separation may be made on the No. 4 (4.75-mm), No. 40 (425- $\mu\text{m}$ ), or No. 200 (75- $\mu\text{m}$ ) sieve instead of the No. 10. For whatever sieve used, the size shall be indicated in the report.

NOTE 2—Two types of dispersion devices are provided: (1) a high-speed mechanical stirrer, and (2) air dispersion. Extensive investigations indicate that air-dispersion devices produce a more positive dispersion of plastic soils below the 20- $\mu\text{m}$  size and appreciably less degradation on all sizes when used with sandy soils. Because of the definite advantages favoring air dispersion, its use is recommended. The results from the two types of devices differ in magnitude, depending upon soil type, leading to marked differences in particle size distribution, especially for sizes finer than 20  $\mu\text{m}$ .

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 421 Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants<sup>2</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>3</sup>

E 100 Specification for ASTM Hydrometers<sup>4</sup>

### 3. Apparatus

3.1 *Balances*—A balance sensitive to 0.01 g for weighing the material passing a No. 10 (2.00-mm) sieve, and a balance sensitive to 0.1 % of the mass of the sample to be weighed for weighing the material retained on a No. 10 sieve.

3.2 *Stirring Apparatus*—Either apparatus A or B may be used.

3.2.1 Apparatus A shall consist of a mechanically operated stirring device in which a suitably mounted electric motor turns a vertical shaft at a speed of not less than 10 000 rpm without load. The shaft shall be equipped with a replaceable stirring paddle made of metal, plastic, or hard rubber, as shown in Fig. 1. The shaft shall be of such length that the stirring paddle will operate not less than  $\frac{3}{4}$  in. (19.0 mm) nor more than  $1\frac{1}{2}$  in. (38.1 mm) above the bottom of the dispersion cup. A special dispersion cup conforming to either of the designs shown in Fig. 2 shall be provided to hold the sample while it is being dispersed.

3.2.2 Apparatus B shall consist of an air-jet dispersion cup<sup>5</sup> (Note 3) conforming to the general details shown in Fig. 3 (Note 4 and Note 5).

NOTE 3—The amount of air required by an air-jet dispersion cup is of the order of 2 ft<sup>3</sup>/min; some small air compressors are not capable of supplying sufficient air to operate a cup.

NOTE 4—Another air-type dispersion device, known as a dispersion tube, developed by Chu and Davidson at Iowa State College, has been shown to give results equivalent to those secured by the air-jet dispersion cups. When it is used, soaking of the sample can be done in the sedimentation cylinder, thus eliminating the need for transferring the slurry. When the air-dispersion tube is used, it shall be so indicated in the report.

NOTE 5—Water may condense in air lines when not in use. This water must be removed, either by using a water trap on the air line, or by blowing the water out of the line before using any of the air for dispersion purposes.

3.3 *Hydrometer*—An ASTM hydrometer, graduated to read in either specific gravity of the suspension or grams per litre of suspension, and conforming to the requirements for hydrometers 151H or 152H in Specifications E 100. Dimensions of both hydrometers are the same, the scale being the only item of difference.

3.4 *Sedimentation Cylinder*—A glass cylinder essentially 18 in. (457 mm) in height and  $2\frac{1}{2}$  in. (63.5 mm) in diameter, and

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.03 on Texture, Plasticity, and Density Characteristics of Soils.

Current edition approved Nov. 10, 2002. Published March 2003. Originally published in 1935. Last previous edition approved in 1998 as D 422 – 63 (1998).

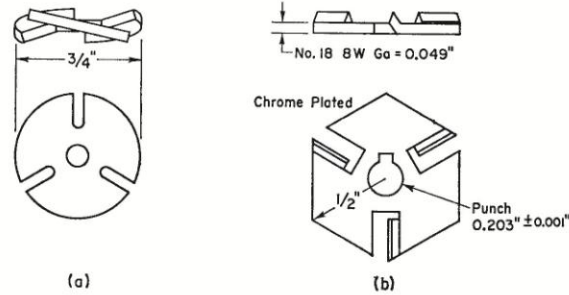
<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.03.

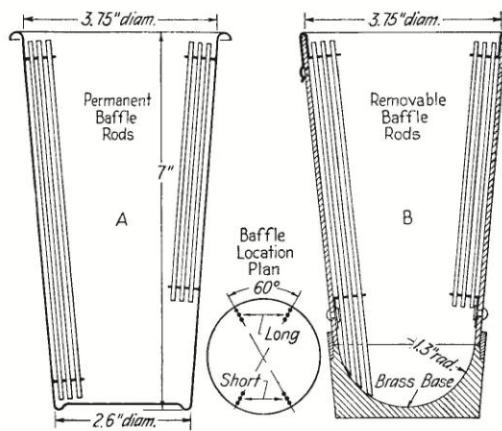
<sup>5</sup> Detailed working drawings for this cup are available at a nominal cost from the American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. Order Adjunct No. ADJD0422.

ASTM D 422 - 63 (2002)



Metric Equivalents					
in.	0.001	0.049	0.203	1/2	3/4
mm	0.03	1.24	5.16	12.7	19.0

FIG. 1 Detail of Stirring Paddles



Metric Equivalents			
in.	1.3	2.6	3.75
mm	33	66	95.2

FIG. 2 Dispersion Cups of Apparatus

NOTE 6—A set of sieves giving uniform spacing of points for the graph, as required in Section 17, may be used if desired. This set consists of the following sieves:

3-in. (75-mm)	No. 16 (1.18-mm)
1½-in. (37.5-mm)	No. 30 (600-µm)
¾-in. (19.0-mm)	No. 50 (300-µm)
½-in. (9.5-mm)	No. 100 (150-µm)
No. 4 (4.75-mm)	No. 200 (75-µm)
No. 8 (2.36-mm)	

3.7 *Water Bath or Constant-Temperature Room*—A water bath or constant-temperature room for maintaining the soil suspension at a constant temperature during the hydrometer analysis. A satisfactory water tank is an insulated tank that maintains the temperature of the suspension at a convenient constant temperature at or near 68°F (20°C). Such a device is illustrated in Fig. 4. In cases where the work is performed in a room at an automatically controlled constant temperature, the water bath is not necessary.

3.8 *Beaker*—A beaker of 250-mL capacity.

3.9 *Timing Device*—A watch or clock with a second hand.

#### 4. Dispersing Agent

4.1 A solution of sodium hexametaphosphate (sometimes called sodium metaphosphate) shall be used in distilled or demineralized water, at the rate of 40 g of sodium hexametaphosphate/litre of solution (Note 7).

NOTE 7—Solutions of this salt, if acidic, slowly revert or hydrolyze back to the orthophosphate form with a resultant decrease in dispersive action. Solutions should be prepared frequently (at least once a month) or adjusted to pH of 8 or 9 by means of sodium carbonate. Bottles containing solutions should have the date of preparation marked on them.

4.2 All water used shall be either distilled or demineralized water. The water for a hydrometer test shall be brought to the temperature that is expected to prevail during the hydrometer test. For example, if the sedimentation cylinder is to be placed in the water bath, the distilled or demineralized water to be used shall be brought to the temperature of the controlled water bath; or, if the sedimentation cylinder is used in a room with controlled temperature, the water for the test shall be at the temperature of the room. The basic temperature for the

marked for a volume of 1000 mL. The inside diameter shall be such that the 1000-mL mark is  $36 \pm 2$  cm from the bottom on the inside.

3.5 *Thermometer*—A thermometer accurate to 1°F (0.5°C).

3.6 *Sieves*—A series of sieves, of square-mesh woven-wire cloth, conforming to the requirements of Specification E 11. A full set of sieves includes the following (Note 6):

3-in. (75-mm)	No. 10 (2.00-mm)
2-in. (50-mm)	No. 20 (850-µm)
1½-in. (37.5-mm)	No. 40 (425-µm)
1-in. (25.0-mm)	No. 60 (250-µm)
¾-in. (19.0-mm)	No. 140 (106-µm)
½-in. (9.5-mm)	No. 200 (75-µm)
No. 4 (4.75-mm)	

ASTM D 422 - 63 (2002)

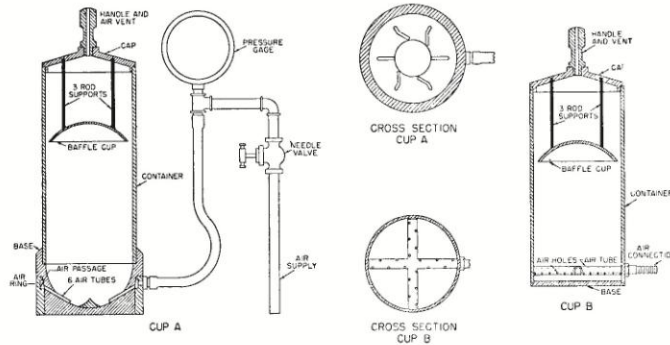
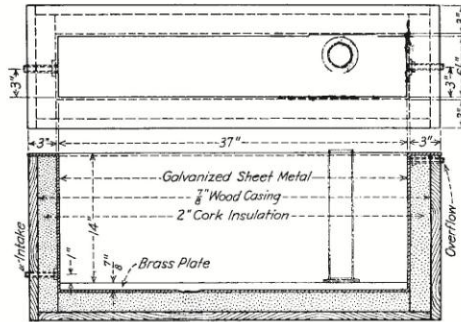


FIG. 3 Air-Jet Dispersion Cups of Apparatus B



Metric Equivalents

in.	3/8	1	3	6 1/4	14	37
mm	22.2	25.4	76.2	158.2	356	940

FIG. 4 Insulated Water Bath

hydrometer test is 68°F (20°C). Small variations of temperature do not introduce differences that are of practical significance and do not prevent the use of corrections derived as prescribed.

**5. Test Sample**

5.1 Prepare the test sample for mechanical analysis as outlined in Practice D 421. During the preparation procedure the sample is divided into two portions. One portion contains only particles retained on the No. 10 (2.00-mm) sieve while the other portion contains only particles passing the No. 10 sieve. The mass of air-dried soil selected for purpose of tests, as prescribed in Practice D 421, shall be sufficient to yield quantities for mechanical analysis as follows:

5.1.1 The size of the portion retained on the No. 10 sieve shall depend on the maximum size of particle, according to the following schedule:

Nominal Diameter of Largest Particles,	Approximate Minimum Mass of Portion, g
in. (mm)	
3/8 (9.5)	500
3/4 (19.0)	1000
1 (25.4)	2000
1 1/2 (38.1)	3000
2 (50.8)	4000
3 (76.2)	5000

5.1.2 The size of the portion passing the No. 10 sieve shall be approximately 115 g for sandy soils and approximately 65 g for silt and clay soils.

5.2 Provision is made in Section 5 of Practice D 421 for weighing of the air-dry soil selected for purpose of tests, the separation of the soil on the No. 10 sieve by dry-sieving and washing, and the weighing of the washed and dried fraction retained on the No. 10 sieve. From these two masses the

percentages retained and passing the No. 10 sieve can be calculated in accordance with 12.1.

NOTE 8—A check on the mass values and the thoroughness of pulverization of the clods may be secured by weighing the portion passing the No. 10 sieve and adding this value to the mass of the washed and oven-dried portion retained on the No. 10 sieve.

#### SIEVE ANALYSIS OF PORTION RETAINED ON NO. 10 (2.00-mm) SIEVE

##### 6. Procedure

6.1 Separate the portion retained on the No. 10 (2.00-mm) sieve into a series of fractions using the 3-in. (75-mm), 2-in. (50-mm), 1½-in. (37.5-mm), 1-in. (25.0-mm), ¾-in. (19.0-mm), ⅝-in. (9.5-mm), No. 4 (4.75-mm), and No. 10 sieves, or as many as may be needed depending on the sample, or upon the specifications for the material under test.

6.2 Conduct the sieving operation by means of a lateral and vertical motion of the sieve, accompanied by a jarring action in order to keep the sample moving continuously over the surface of the sieve. In no case turn or manipulate fragments in the sample through the sieve by hand. Continue sieving until not more than 1 mass % of the residue on a sieve passes that sieve during 1 min of sieving. When mechanical sieving is used, test the thoroughness of sieving by using the hand method of sieving as described above.

6.3 Determine the mass of each fraction on a balance conforming to the requirements of 3.1. At the end of weighing, the sum of the masses retained on all the sieves used should equal closely the original mass of the quantity sieved.

#### HYDROMETER AND SIEVE ANALYSIS OF PORTION PASSING THE NO. 10 (2.00-mm) SIEVE

##### 7. Determination of Composite Correction for Hydrometer Reading

7.1 Equations for percentages of soil remaining in suspension, as given in 14.3, are based on the use of distilled or demineralized water. A dispersing agent is used in the water, however, and the specific gravity of the resulting liquid is appreciably greater than that of distilled or demineralized water.

7.1.1 Both soil hydrometers are calibrated at 68°F (20°C), and variations in temperature from this standard temperature produce inaccuracies in the actual hydrometer readings. The amount of the inaccuracy increases as the variation from the standard temperature increases.

7.1.2 Hydrometers are graduated by the manufacturer to be read at the bottom of the meniscus formed by the liquid on the stem. Since it is not possible to secure readings of soil suspensions at the bottom of the meniscus, readings must be taken at the top and a correction applied.

7.1.3 The net amount of the corrections for the three items enumerated is designated as the composite correction, and may be determined experimentally.

7.2 For convenience, a graph or table of composite corrections for a series of 1° temperature differences for the range of expected test temperatures may be prepared and used as

needed. Measurement of the composite corrections may be made at two temperatures spanning the range of expected test temperatures, and corrections for the intermediate temperatures calculated assuming a straight-line relationship between the two observed values.

7.3 Prepare 1000 mL of liquid composed of distilled or demineralized water and dispersing agent in the same proportion as will prevail in the sedimentation (hydrometer) test. Place the liquid in a sedimentation cylinder and the cylinder in the constant-temperature water bath, set for one of the two temperatures to be used. When the temperature of the liquid becomes constant, insert the hydrometer, and, after a short interval to permit the hydrometer to come to the temperature of the liquid, read the hydrometer at the top of the meniscus formed on the stem. For hydrometer 151H the composite correction is the difference between this reading and one; for hydrometer 152H it is the difference between the reading and zero. Bring the liquid and the hydrometer to the other temperature to be used, and secure the composite correction as before.

##### 8. Hygroscopic Moisture

8.1 When the sample is weighed for the hydrometer test, weigh out an auxiliary portion of from 10 to 15 g in a small metal or glass container, dry the sample to a constant mass in an oven at 230 ± 9°F (110 ± 5°C), and weigh again. Record the masses.

##### 9. Dispersion of Soil Sample

9.1 When the soil is mostly of the clay and silt sizes, weigh out a sample of air-dry soil of approximately 50 g. When the soil is mostly sand the sample should be approximately 100 g.

9.2 Place the sample in the 250-mL beaker and cover with 125 mL of sodium hexametaphosphate solution (40 g/L). Stir until the soil is thoroughly wetted. Allow to soak for at least 16 h.

9.3 At the end of the soaking period, disperse the sample further, using either stirring apparatus A or B. If stirring apparatus A is used, transfer the soil-water slurry from the beaker into the special dispersion cup shown in Fig. 2, washing any residue from the beaker into the cup with distilled or demineralized water (Note 9). Add distilled or demineralized water, if necessary, so that the cup is more than half full. Stir for a period of 1 min.

NOTE 9—A large size syringe is a convenient device for handling the water in the washing operation. Other devices include the wash-water bottle and a hose with nozzle connected to a pressurized distilled water tank.

9.4 If stirring apparatus B (Fig. 3) is used, remove the cover cap and connect the cup to a compressed air supply by means of a rubber hose. A air gage must be on the line between the cup and the control valve. Open the control valve so that the gage indicates 1 psi (7 kPa) pressure (Note 10). Transfer the soil-water slurry from the beaker to the air-jet dispersion cup by washing with distilled or demineralized water. Add distilled or demineralized water, if necessary, so that the total volume in the cup is 250 mL, but no more.

NOTE 10—The initial air pressure of 1 psi is required to prevent the soil-water mixture from entering the air-jet chamber when the mixture is



transferred to the dispersion cup.

9.5 Place the cover cap on the cup and open the air control valve until the gage pressure is 20 psi (140 kPa). Disperse the soil according to the following schedule:

Plasticity Index	Dispersion Period, min
Under 5	5
6 to 20	10
Over 20	15

Soils containing large percentages of mica need be dispersed for only 1 min. After the dispersion period, reduce the gage pressure to 1 psi preparatory to transfer of soil-water slurry to the sedimentation cylinder.

### 10. Hydrometer Test

10.1 Immediately after dispersion, transfer the soil-water slurry to the glass sedimentation cylinder, and add distilled or demineralized water until the total volume is 1000 mL.

10.2 Using the palm of the hand over the open end of the cylinder (or a rubber stopper in the open end), turn the cylinder upside down and back for a period of 1 min to complete the agitation of the slurry (Note 11). At the end of 1 min set the cylinder in a convenient location and take hydrometer readings at the following intervals of time (measured from the beginning of sedimentation), or as many as may be needed, depending on the sample or the specification for the material under test: 2, 5, 15, 30, 60, 250, and 1440 min. If the controlled water bath is used, the sedimentation cylinder should be placed in the bath between the 2- and 5-min readings.

NOTE 11—The number of turns during this minute should be approximately 60, counting the turn upside down and back as two turns. Any soil remaining in the bottom of the cylinder during the first few turns should be loosened by vigorous shaking of the cylinder while it is in the inverted position.

10.3 When it is desired to take a hydrometer reading, carefully insert the hydrometer about 20 to 25 s before the reading is due to approximately the depth it will have when the reading is taken. As soon as the reading is taken, carefully remove the hydrometer and place it with a spinning motion in a graduate of clean distilled or demineralized water.

NOTE 12—It is important to remove the hydrometer immediately after each reading. Readings shall be taken at the top of the meniscus formed by the suspension around the stem, since it is not possible to secure readings at the bottom of the meniscus.

10.4 After each reading, take the temperature of the suspension by inserting the thermometer into the suspension.

### 11. Sieve Analysis

11.1 After taking the final hydrometer reading, transfer the suspension to a No. 200 (75- $\mu$ m) sieve and wash with tap water until the wash water is clear. Transfer the material on the No. 200 sieve to a suitable container, dry in an oven at  $230 \pm 9^\circ\text{F}$  ( $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ) and make a sieve analysis of the portion retained, using as many sieves as desired, or required for the material, or upon the specification of the material under test.

## CALCULATIONS AND REPORT

### 12. Sieve Analysis Values for the Portion Coarser than the No. 10 (2.00-mm) Sieve

12.1 Calculate the percentage passing the No. 10 sieve by dividing the mass passing the No. 10 sieve by the mass of soil originally split on the No. 10 sieve, and multiplying the result by 100. To obtain the mass passing the No. 10 sieve, subtract the mass retained on the No. 10 sieve from the original mass.

12.2 To secure the total mass of soil passing the No. 4 (4.75-mm) sieve, add to the mass of the material passing the No. 10 sieve the mass of the fraction passing the No. 4 sieve and retained on the No. 10 sieve. To secure the total mass of soil passing the  $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) sieve, add to the total mass of soil passing the No. 4 sieve, the mass of the fraction passing the  $\frac{3}{8}$ -in. sieve and retained on the No. 4 sieve. For the remaining sieves, continue the calculations in the same manner.

12.3 To determine the total percentage passing for each sieve, divide the total mass passing (see 12.2) by the total mass of sample and multiply the result by 100.

### 13. Hygroscopic Moisture Correction Factor

13.1 The hygroscopic moisture correction factor is the ratio between the mass of the oven-dried sample and the air-dry mass before drying. It is a number less than one, except when there is no hygroscopic moisture.

### 14. Percentages of Soil in Suspension

14.1 Calculate the oven-dry mass of soil used in the hydrometer analysis by multiplying the air-dry mass by the hygroscopic moisture correction factor.

14.2 Calculate the mass of a total sample represented by the mass of soil used in the hydrometer test, by dividing the oven-dry mass used by the percentage passing the No. 10 (2.00-mm) sieve, and multiplying the result by 100. This value is the weight  $W$  in the equation for percentage remaining in suspension.

14.3 The percentage of soil remaining in suspension at the level at which the hydrometer is measuring the density of the suspension may be calculated as follows (Note 13): For hydrometer 151H:

$$P = [(100\ 000/W) \times G(G - G_1)](R - G_1) \quad (1)$$

NOTE 13—The bracketed portion of the equation for hydrometer 151H is constant for a series of readings and may be calculated first and then multiplied by the portion in the parentheses.

For hydrometer 152H:

$$P = (Ra/W) \times 100 \quad (2)$$

where:

- $a$  = correction factor to be applied to the reading of hydrometer 152H. (Values shown on the scale are computed using a specific gravity of 2.65. Correction factors are given in Table 1).
- $P$  = percentage of soil remaining in suspension at the level at which the hydrometer measures the density of the suspension.
- $R$  = hydrometer reading with composite correction applied (Section 7).

$W$  = oven-dry mass of soil in a total test sample represented by mass of soil dispersed (see 14.2), g.  
 $G$  = specific gravity of the soil particles, and  
 $G_l$  = specific gravity of the liquid in which soil particles are suspended. Use numerical value of one in both instances in the equation. In the first instance any possible variation produces no significant effect, and in the second instance, the composite correction for  $R$  is based on a value of one for  $G_l$ .

**15. Diameter of Soil Particles**

15.1 The diameter of a particle corresponding to the percentage indicated by a given hydrometer reading shall be calculated according to Stokes' law (Note 14), on the basis that a particle of this diameter was at the surface of the suspension at the beginning of sedimentation and had settled to the level at which the hydrometer is measuring the density of the suspension. According to Stokes' law: see Table 2

$$D = \sqrt{[30n980(G - G_l)] \times LT} \tag{3}$$

where:

- $D$  = diameter of particle, mm,
- $n$  = coefficient of viscosity of the suspending medium (in this case water) in poises (varies with changes in temperature of the suspending medium),
- $L$  = distance from the surface of the suspension to the level at which the density of the suspension is being measured, cm. (For a given hydrometer and sedimentation cylinder, values vary according to the hydrometer readings. This distance is known as effective depth (see Table 2)),
- $T$  = interval of time from beginning of sedimentation to the taking of the reading, min.
- $G$  = specific gravity of soil particles, and
- $G_l$  = specific gravity (relative density) of suspending medium (value may be used as 1.000 for all practical purposes).

NOTE 14—Since Stokes' law considers the terminal velocity of a single sphere falling in an infinity of liquid, the sizes calculated represent the diameter of spheres that would fall at the same rate as the soil particles.

15.2 For convenience in calculations the above equation may be written as follows: see Table 3

**TABLE 1 Values of Correction Factor,  $\alpha$ , for Different Specific Gravities of Soil Particles<sup>A</sup>**

Specific Gravity	Correction Factor <sup>A</sup>
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

<sup>A</sup>For use in equation for percentage of soil remaining in suspension when using Hydrometer 152H.

**TABLE 2 Values of Effective Depth Based on Hydrometer and Sedimentation Cylinder of Specified Sizes<sup>A</sup>**

Hydrometer 151H		Hydrometer 152H	
Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, cm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, cm
1.000	16.3	0	16.3
1.001	16.0	1	16.1
1.002	15.8	2	16.0
1.003	15.5	3	15.8
1.004	15.2	4	15.6
1.005	15.0	5	15.5
1.006	14.7	6	15.3
1.007	14.4	7	15.2
1.008	14.2	8	15.0
1.009	13.9	9	14.8
1.010	13.7	10	14.7
1.011	13.4	11	14.5
1.012	13.1	12	14.3
1.013	12.9	13	14.2
1.014	12.6	14	14.0
1.015	12.3	15	13.8
1.016	12.1	16	13.7
1.017	11.8	17	13.5
1.018	11.5	18	13.3
1.019	11.3	19	13.2
1.020	11.0	20	13.0
1.021	10.7	21	12.9
1.022	10.5	22	12.7
1.023	10.2	23	12.5
1.024	10.0	24	12.4
1.025	9.7	25	12.2
1.026	9.4	26	12.0
1.027	9.2	27	11.9
1.028	8.9	28	11.7
1.029	8.6	29	11.5
1.030	8.4	30	11.4
1.031	8.1		
1.032	7.8		
1.033	7.6		
1.034	7.3		
1.035	7.0		
1.036	6.8		
1.037	6.5		
1.038	6.2		

<sup>A</sup>Values of effective depth are calculated from the equation:  
 $L = L_1 + 1/2 [L_2 - (V_B/A)]$  (5)

where:

- $L$  = effective depth, cm,
- $L_1$  = distance along the stem of the hydrometer from the top of the bulb to the mark for a hydrometer reading, cm,
- $L_2$  = overall length of the hydrometer bulb, cm,
- $V_B$  = volume of hydrometer bulb, cm<sup>3</sup>, and
- $A$  = cross-sectional area of sedimentation cylinder, cm<sup>2</sup>

Values used in calculating the values in Table 2 are as follows:

For both hydrometers, 151H and 152H:

- $L_2$  = 14.0 cm
- $V_B$  = 67.0 cm<sup>3</sup>
- $A$  = 27.8 cm<sup>2</sup>

For hydrometer 151H:

- $L_1$  = 10.5 cm for a reading of 1.000
- = 2.3 cm for a reading of 1.031

For hydrometer 152H:

- $L_1$  = 10.5 cm for a reading of 0 g/litre
- = 2.3 cm for a reading of 50 g/litre

$$D = K\sqrt{LT} \tag{4}$$

**TABLE 3 Values of K for Use in Equation for Computing Diameter of Particle in Hydrometer Analysis**

Temperature,* C	Specific Gravity of Soil Particles								
	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	0.1323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

where:

$K$  = constant depending on the temperature of the suspension and the specific gravity of the soil particles. Values of  $K$  for a range of temperatures and specific gravities are given in Table 3. The value of  $K$  does not change for a series of readings constituting a test, while values of  $L$  and  $T$  do vary.

15.3 Values of  $D$  may be computed with sufficient accuracy, using an ordinary 10-in. slide rule.

NOTE 15—The value of  $L$  is divided by  $T$  using the  $A$ - and  $B$ -scales, the square root being indicated on the  $D$ -scale. Without ascertaining the value of the square root it may be multiplied by  $K$ , using either the  $C$ - or  $CI$ -scale.

**16. Sieve Analysis Values for Portion Finer than No. 10 (2.00-mm) Sieve**

16.1 Calculation of percentages passing the various sieves used in sieving the portion of the sample from the hydrometer test involves several steps. The first step is to calculate the mass of the fraction that would have been retained on the No. 10 sieve had it not been removed. This mass is equal to the total percentage retained on the No. 10 sieve (100 minus total percentage passing) times the mass of the total sample represented by the mass of soil used (as calculated in 14.2), and the result divided by 100.

16.2 Calculate next the total mass passing the No. 200 sieve. Add together the fractional masses retained on all the sieves, including the No. 10 sieve, and subtract this sum from the mass of the total sample (as calculated in 14.2).

16.3 Calculate next the total masses passing each of the other sieves, in a manner similar to that given in 12.2.

16.4 Calculate last the total percentages passing by dividing the total mass passing (as calculated in 16.3) by the total mass of sample (as calculated in 14.2), and multiply the result by 100.

**17. Graph**

17.1 When the hydrometer analysis is performed, a graph of the test results shall be made, plotting the diameters of the particles on a logarithmic scale as the abscissa and the percentages smaller than the corresponding diameters to an arithmetic scale as the ordinate. When the hydrometer analysis

is not made on a portion of the soil, the preparation of the graph is optional, since values may be secured directly from tabulated data.

**18. Report**

18.1 The report shall include the following:

- 18.1.1 Maximum size of particles,
- 18.1.2 Percentage passing (or retained on) each sieve, which may be tabulated or presented by plotting on a graph (Note 16),
- 18.1.3 Description of sand and gravel particles:
  - 18.1.3.1 Shape—rounded or angular,
  - 18.1.3.2 Hardness—hard and durable, soft, or weathered and friable,
  - 18.1.4 Specific gravity, if unusually high or low,
  - 18.1.5 Any difficulty in dispersing the fraction passing the No. 10 (2.00-mm) sieve, indicating any change in type and amount of dispersing agent, and
  - 18.1.6 The dispersion device used and the length of the dispersion period.


NOTE 16—This tabulation of graph represents the gradation of the sample tested. If particles larger than those contained in the sample were removed before testing, the report shall so state giving the amount and maximum size.

18.2 For materials tested for compliance with definite specifications, the fractions called for in such specifications shall be reported. The fractions smaller than the No. 10 sieve shall be read from the graph.

18.3 For materials for which compliance with definite specifications is not indicated and when the soil is composed almost entirely of particles passing the No. 4 (4.75-mm) sieve, the results read from the graph may be reported as follows:

- (1) Gravel, passing 3-in. and retained on No. 4 sieve . . . . . %
- (2) Sand, passing No. 4 sieve and retained on No. 200 sieve . . . . . %
  - (a) Coarse sand, passing No. 4 sieve and retained on No. 10 sieve . . . . . %
  - (b) Medium sand, passing No. 10 sieve and retained on No. 40 sieve . . . . . %
  - (c) Fine sand, passing No. 40 sieve and retained on No. 200 sieve . . . . . %
- (3) Silt size, 0.074 to 0.005 mm . . . . . %
- (4) Clay size, smaller than 0.005 mm . . . . . %
  - Colloids, smaller than 0.001 mm . . . . . %

18.4 For materials for which compliance with definite specifications is not indicated and when the soil contains

 **D 422 – 63 (2002)**

material retained on the No. 4 sieve sufficient to require a sieve analysis on that portion, the results may be reported as follows (Note 17):

SIEVE ANALYSIS		HYDROMETER ANALYSIS	
Sieve Size	Percentage Passing		
3-in.	.....	0.074 mm	.....
2-in.	.....	0.005 mm	.....
1½-in.	.....	0.001 mm	.....
1-in.	.....		
¾-in.	.....		
½-in.	.....		
No. 4 (4.75-mm)	.....		

No. 10 (2.00-mm) .....  
 No. 40 (425-µm) .....  
 No. 200 (75-µm) .....

NOTE 17—No. 8 (2.36-mm) and No. 50 (300-µm) sieves may be substituted for No. 10 and No. 40 sieves.

**19. Keywords**

19.1 grain-size; hydrometer analysis; hygroscopic moisture; particle-size; sieve analysis

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

**ANEXO 2:**

**ASTM D 4318: STANDARD TEST METHODS FOR LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT, AND  
PLASTICITY INDEX OF SOILS.**



## Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 4318; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope \*

1.1 These test methods cover the determination of the liquid limit, plastic limit, and the plasticity index of soils as defined in Section 3 on Terminology.

1.2 Two methods for preparing test specimens are provided as follows: *Wet preparation method*, as described in 10.1. *Dry preparation method*, as described in 10.2. The method to be used shall be specified by the requesting authority. If no method is specified, use the wet preparation method.

1.2.1 The liquid and plastic limits of many soils that have been allowed to dry before testing may be considerably different from values obtained on non-dried samples. If the liquid and plastic limits of soils are used to correlate or estimate the engineering behavior of soils in their natural moist state, samples should not be permitted to dry before testing unless data on dried samples are specifically desired.

1.3 Two methods for determining the liquid limit are provided as follows: *Method A*, Multipoint test as described in Sections 11 and 12. *Method B*, One-point test as described in Sections 13 and 14. The method to be used shall be specified by the requesting authority. If no method is specified, use Method A.

1.3.1 The multipoint liquid limit method is generally more precise than the one-point method. It is recommended that the multipoint method be used in cases where test results may be subject to dispute, or where greater precision is required.

1.3.2 Because the one-point method requires the operator to judge when the test specimen is approximately at its liquid limit, it is particularly not recommended for use by inexperienced operators.

1.3.3 The correlation on which the calculations of the one-point method are based may not be valid for certain soils, such as organic soils or soils from a marine environment. It is strongly recommended that the liquid limit of these soils be determined by the multipoint method.

1.4 The plastic limit test is performed on material prepared for the liquid limit test.

1.5 The liquid limit and plastic limit of soils (along with the shrinkage limit) are often collectively referred to as the Atterberg limits. These limits distinguished the boundaries of

the several consistency states of plastic soils.

1.6 The composition and concentration of soluble salts in a soil affect the values of the liquid and plastic limits as well as the water content values of soils (see Method D 2216). Special consideration should therefore be given to soils from a marine environment or other sources where high soluble salt concentrations may be present. The degree to which the salts present in these soils are diluted or concentrated must be given careful consideration.

1.7 The methods described herein are performed only on that portion of a soil that passes the 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve. Therefore, the relative contribution of this portion of the soil to the properties of the sample as a whole must be considered when using these tests to evaluate properties of a soil.

1.8 The values stated in acceptable metric units are to be regarded as the standard, except as noted below. The values given in parentheses are for information only.

1.8.1 The standard units for the resilience tester covered in Annex A1 are inch-pound, not metric. The metric values given are for information only.

1.9 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>
- D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>
- D 420 Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and Construction Purposes<sup>4</sup>
- D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids<sup>4</sup>
- D 1241 Specification for Materials for Soil-Aggregate Sub-base, Base, and Surface Courses<sup>4</sup>
- D 2216 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass<sup>4</sup>
- D 2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)<sup>4</sup>

<sup>1</sup> This standard is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.03 on Texture, Plasticity and Density Characteristics of Soils.

Current edition approved June 10, 2000. Published September 2000. Originally published as D 4318 – 83. Last previous edition D 4318 – 98.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

- D 3282 Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes<sup>4</sup>
- D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction<sup>4</sup>
- D 4753 Specification for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Soil, Rock, and Related Construction Materials Testing<sup>4</sup>
- D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data<sup>5</sup>
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>6</sup>
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 The definitions of terms in this standard are in accordance with Terminology D 653.

#### 3.2 Description of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *Atterberg Limits*—Originally, six “limits of consistency” of fine-grained soils were defined by Albert Atterberg: the upper limit of viscous flow, the liquid limit, the sticky limit, the cohesion limit, the plastic limit, and the shrinkage limit. In current engineering usage, the term usually refers only to the liquid limit, plastic limit, and in some references, the shrinkage limit.

3.2.2 *consistency*—the relative ease with which a soil can be deformed.

3.2.3 *liquid limit (LL,  $w_L$ )*—the water content, in percent, of a soil at the arbitrarily defined boundary between the semi-liquid and plastic states.

3.2.3.1 *Discussion*—The undrained shear strength of soil at the liquid limit is considered to be approximately 2 kPa (0.28 psi).

3.2.4 *plastic limit (PL,  $w_p$ )*—the water content, in percent, of a soil at the boundary between the plastic and semi-solid states.

3.2.5 *plastic soil*—a soil which has a range of water content over which it exhibits plasticity and which will retain its shape on drying.

3.2.6 *plasticity index (PI)*—the range of water content over which a soil behaves plastically. Numerically, it is the difference between the liquid limit and the plastic limit.

3.2.7 *liquidity index*—the ratio, expressed as a percentage of (1) the water content of a soil minus its plastic limit, to (2) its plasticity index.

3.2.8 *activity number (A)*—the ratio of (1) the plasticity index of a soil to (2) the percent by mass of particles having an equivalent diameter smaller than 2  $\mu\text{m}$ .

### 4. Summary of Test Method

4.1 The specimen is processed to remove any material retained on a 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve. The liquid limit is

determined by performing trials in which a portion of the specimen is spread in a brass cup, divided in two by a grooving tool, and then allowed to flow together from the shocks caused by repeatedly dropping the cup in a standard mechanical device. The multipoint liquid limit, Method A, requires three or more trials over a range of water contents to be performed and the data from the trials plotted or calculated to make a relationship from which the liquid limit is determined. The one-point liquid limit, Method B, uses the data from two trials at one water content multiplied by a correction factor to determine the liquid limit.

4.2 The plastic limit is determined by alternately pressing together and rolling into a 3.2-mm ( $1/8$ -in.) diameter thread a small portion of plastic soil until its water content is reduced to a point at which the thread crumbles and can no longer be pressed together and re-rolled. The water content of the soil at this point is reported as the plastic limit.

4.3 The plasticity index is calculated as the difference between the liquid limit and the plastic limit.

### 5. Significance and Use

5.1 These test methods are used as an integral part of several engineering classification systems to characterize the fine-grained fractions of soils (see Practices D 2487 and D 3282) and to specify the fine-grained fraction of construction materials (see Specification D 1241). The liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils are also used extensively, either individually or together, with other soil properties to correlate with engineering behavior such as compressibility, hydraulic conductivity (permeability), compactibility, shrink-swell, and shear strength.

5.2 The liquid and plastic limits of a soil and its water content can be used to express its relative consistency or liquidity index. In addition, the plasticity index and the percentage finer than 2- $\mu\text{m}$  particle size can be used to determine its activity number.

5.3 These methods are sometimes used to evaluate the weathering characteristics of clay-shale materials. When subjected to repeated wetting and drying cycles, the liquid limits of these materials tend to increase. The amount of increase is considered to be a measure of a shale’s susceptibility to weathering.

5.4 The liquid limit of a soil containing substantial amounts of organic matter decreases dramatically when the soil is oven-dried before testing. Comparison of the liquid limit of a sample before and after oven-drying can therefore be used as a qualitative measure of organic matter content of a soil (see Practice D 2487).

NOTE 1—The quality of the result produced by this standard is dependent on the competence of the personnel performing it and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740, generally, are considered capable of competent and objective testing/sampling/inspection/etc. Users of this standard are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself assure reliable results. Reliable results depend on many factors, Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.

### 6. Apparatus

6.1 *Liquid Limit Device*—A mechanical device consisting of a brass cup suspended from a carriage designed to control its

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

drop onto a hard rubber base. Fig. 1 shows the essential features and critical dimensions of the device. The device may be operated by either a hand crank or electric motor.

6.1.1 *Base*—A hard rubber base having a Type D Durometer hardness of 80 to 90, and resilience rebound of at least 77% but no more than 90%. Conduct resilience tests on the finished base with the feet attached. Details for measuring the resilience of the base are given in Annex A1.

6.1.2 *Rubber Feet*, supporting the base, designed to provide isolation of the base from the work surface, and having a Type A Durometer hardness no greater than 60 as measured on the finished feet attached to the base.

6.1.3 *Cup*, brass, with a mass, including cup hanger, of 185 to 215 g.

6.1.4 *Cam*—Designed to raise the cup smoothly and continuously to its maximum height, over a distance of at least 180° of cam rotation, without developing an upward or downward velocity of the cup when the cam follower leaves the cam. (The preferred cam motion is a uniformly accelerated lift curve.)

NOTE 2—The cam and follower design in Fig. 1 is for uniformly accelerated (parabolic) motion after contact and assures that the cup has no velocity at drop off. Other cam designs also provide this feature and may be used. However, if the cam-follower lift pattern is not known, zero velocity at drop off can be assured by carefully filing or machining the cam and follower so that the cup height remains constant over the last 20 to 45° of cam rotation.

6.1.5 *Carriage*, constructed in a way that allows convenient but secure adjustment of the height-of-drop of the cup to 10

mm (0.394 in.), and designed such that the cup and cup hanger assembly is only attached to the carriage by means of a removable pin. See Fig. 2 for definition and determination of the height-of-drop of the cup.

6.1.6 *Motor Drive (Optional)*—As an alternative to the hand crank shown in Fig. 1, the device may be equipped with a motor to turn the cam. Such a motor must turn the cam at  $2 \pm 0.1$  revolutions per second and must be isolated from the rest of the device by rubber mounts or in some other way that prevents vibration from the motor being transmitted to the rest of the apparatus. It must be equipped with an ON-OFF switch and a means of conveniently positioning the cam for height-of-drop adjustments. The results obtained using a motor-driven device must not differ from those obtained using a manually operated device.

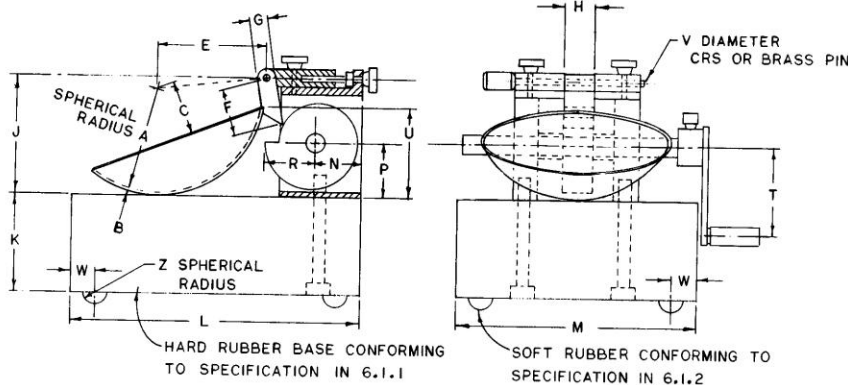
6.2 *Flat Grooving Tool*—A tool made of plastic or noncorroding-metal having the dimensions shown in Fig. 3. The design of the tool may vary as long as the essential dimensions are maintained. The tool may, but need not, incorporate the gage for adjusting the height-of-drop of the liquid limit device.

NOTE 3—Prior to the adoption of this test method, a curved grooving tool was specified as part of the apparatus for performing the liquid limit test. The curved tool is not considered to be as accurate as the flat tool described in 6.2 since it does not control the depth of the soil in the liquid limit cup. However, there are some data which indicate that typically the liquid limit is slightly increased when the flat tool is used instead of the curved tool.

DIMENSIONS

LETTER	A <sup>Δ</sup>	B <sup>Δ</sup>	C <sup>Δ</sup>	E <sup>Δ</sup>	F	G	H	J <sup>Δ</sup>	K <sup>Δ</sup>	L <sup>Δ</sup>	M <sup>Δ</sup>
MM	54 ± 0.5	2 ± 0.1	27 ± 0.5	56 ± 2.0	32	10	16	60 ± 1.0	50 ± 2.0	150 ± 2.0	125 ± 2.0
LETTER	N	P	R	T	U <sup>Δ</sup>	V	W	Z			
MM	24	28	24	45	47 ± 1.0	3.8	13	6.5			

<sup>Δ</sup> ESSENTIAL DIMENSIONS



CAM ANGLE DEGREES	CAM RADIUS
0	0.742 R
30	0.753 R
60	0.764 R
90	0.773 R
120	0.784 R
150	0.796 R
180	0.818 R
210	0.854 R
240	0.901 R
270	0.945 R
300	0.974 R
330	0.995 R
360	1.000 R

FIG. 1 Hand-Operated Liquid Limit Device



ASTM D 4318

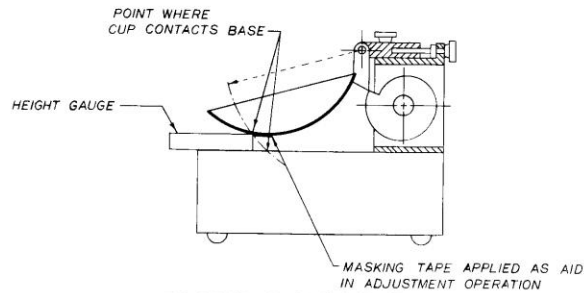


FIG. 2 Calibration for Height-of-Drop

DIMENSIONS

LETTER	A <sup>Δ</sup>	B <sup>Δ</sup>	C <sup>Δ</sup>	D <sup>Δ</sup>	E <sup>Δ</sup>	F <sup>Δ</sup>
MM	2 ± 0.1	11 ± 0.2	40 ± 0.5	8 ± 0.1	50 ± 0.5	2 ± 0.1
LETTER	G	H	J	K <sup>□</sup>	L <sup>Δ</sup>	N
MM	10 MINIMUM	13	60	10 ± 0.05	60 DEG ± 1 DEG	20

<sup>Δ</sup> ESSENTIAL DIMENSIONS

<sup>□</sup> BACK AT LEAST 15 MM FROM TIP

NOTE: DIMENSION A SHOULD BE 1.9-2.0 AND DIMENSION D SHOULD BE 8.0-8.1 WHEN NEW TO ALLOW FOR ADEQUATE SERVICE LIFE

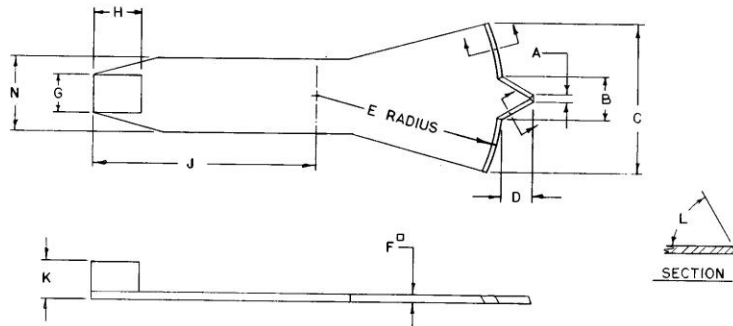


FIG. 3 Grooving Tool (Optional Height-of-Drop Gage Attached)

6.3 *Gage*—A metal gage block for adjusting the height-of-drop of the cup, having the dimensions shown in Fig. 4. The design of the tool may vary provided the gage will rest securely on the base without being susceptible to rocking, and the edge which contacts the cup during adjustment is straight, at least 10 mm (3/8 in.) wide, and without bevel or radius.

6.4 *Water Content Containers*—Small corrosion-resistant containers with snug-fitting lids for water content specimens. Aluminum or stainless steel cans 2.5 cm (1 in.) high by 5 cm (2 in.) in diameter are appropriate.

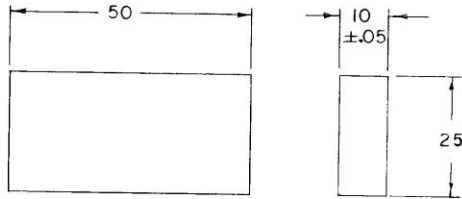
6.5 *Balance*, conforming to Specification D 4753, Class

GP1 (readability of 0.01 g).

6.6 *Mixing and Storage Container*—A container to mix the soil specimen (material) and store the prepared material. During mixing and storage, the container shall not contaminate the material in any way, and prevent moisture loss during storage. A porcelain, glass, or plastic dish about 11.4 cm (4 1/2 in.) in diameter and a plastic bag large enough to enclose the dish and be folded over is adequate.

6.7 *Plastic Limit*:

6.7.1 *Ground Glass Plate*—A ground glass plate at least 30



DIMENSIONS IN MILLIMETRES  
FIG. 4 Height-of-Drop Gage

cm (12 in.) square by 1 cm (3/8 in.) thick for rolling plastic limit threads.

6.7.2 *Plastic Limit-Rolling Device (optional)*—A device made of acrylic conforming to the dimensions shown in Fig. 5.<sup>7,8</sup> The type of unglazed paper attached to the top and bottom plate (see 16.2.2) shall be such that it does not add foreign matter (fibers, paper fragments, etc.) to the soil during the rolling process.

6.8 *Spatula*—A spatula or pill knife having a blade about 2 cm (3/4 in.) wide, and about 10 to 13 cm (3 to 4 in.) long.

6.9 *Sieve(s)*—A 200-mm (8-in.) diameter, 425- $\mu$ m (No. 40) sieve conforming to the requirements of Specification E 11 and

having a rim at least 5 cm (2 in.) above the mesh. A 2.00-mm (No. 10) sieve meeting the same requirements may also be needed.

6.10 *Wash Bottle*, or similar container for adding controlled amounts of water to soil and washing fines from coarse particles.

6.11 *Drying Oven*, thermostatically controlled, preferably of the forced-draft type, capable of continuously maintaining a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) throughout the drying chamber.

6.12 *Washing Pan*, round, flat-bottomed, at least 7.6 cm (3 in.) deep, and slightly larger at the bottom than a 20.3-cm (8-in.) diameter sieve.

## 7. Reagents and Materials

7.1 *Purity of Water*—Where distilled water is referred to in this test method, either distilled or demineralized water may be used. See Note 7 covering the use of tap water.

## 8. Sampling and Specimen

8.1 Samples may be taken from any location that satisfies testing needs. However, Practices C 702, D 75, and D 420 should be used as guides for selecting and preserving samples from various types of sampling operations. Samples in which specimens will be prepared using the wet-preparation method (10.1) must be kept at their as-sampled water content prior to preparation.

8.1.1 Where sampling operations have preserved the natural stratification of a sample, the various strata must be kept separated and tests performed on the particular stratum of interest with as little contamination as possible from other strata. Where a mixture of materials will be used in construction, combine the various components in such proportions that the resultant sample represents the actual construction case.

<sup>7</sup> The plastic limit-rolling device is covered by a patent (U.S. Patent No. 5,027,660).<sup>7</sup> Interested parties are invited to submit information regarding the identification of an alternative(s) to this patented item to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible subcommittee, which you may attend.

<sup>8</sup> Bobrowski, L. J., Jr. and Griekspoor, D. M., "Determination of the Plastic Limit of a Soil by Means of a Rolling Device," *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol 15, No. 3, September 1992, pp. 284-287.

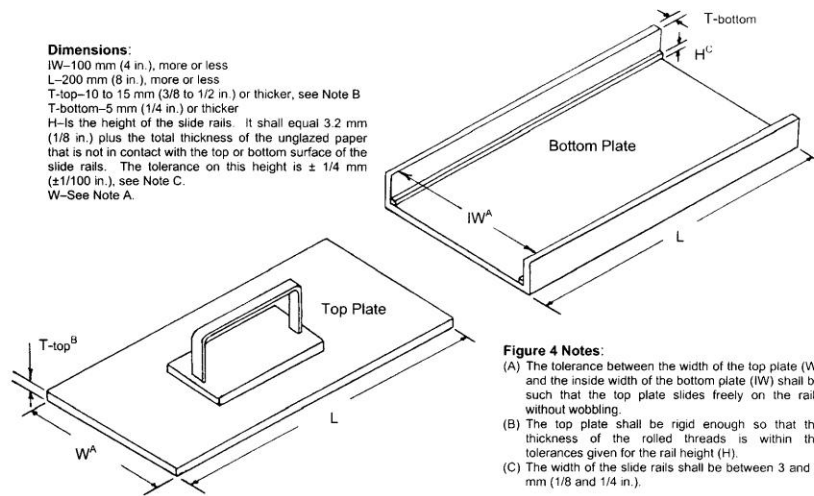


FIG. 5 Plastic Limit-Rolling Device

8.1.2 Where data from these test methods are to be used for correlation with other laboratory or field test data, use the same material as used for those tests where possible.

8.2 *Specimen*—Obtain a representative portion from the total sample sufficient to provide 150 to 200 g of material passing the 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve. Free flowing samples (materials) may be reduced by the methods of quartering or splitting. Non-free flowing or cohesive materials shall be mixed thoroughly in a pan with a spatula or scoop and a representative portion scooped from the total mass by making one or more sweeps with a scoop through the mixed mass.

## 9. Calibration of Apparatus

### 9.1 *Inspection of Wear:*

9.1.1 *Liquid Limit Device*—Determine that the liquid limit device is clean and in good working order. Check the following specific points.

9.1.1.1 *Wear of Base*—The spot on the base where the cup makes contact should be worn no greater than 10 mm ( $\frac{3}{8}$  in.) in diameter. If the wear spot is greater than this, the base can be machined to remove the worn spot provided the resurfacing does not make the base thinner than specified in 6.1 and the other dimensional relationships are maintained.

9.1.1.2 *Wear of Cup*—Replace the cup when the grooving tool has worn a depression in the cup 0.1 mm (0.004 in.) deep or when the rim of the cup has been reduced to half its original thickness. Verify that the cup is firmly attached to the cup hanger.

9.1.1.3 *Wear of Cup Hanger*—Verify that the cup hanger pivot does not bind and is not worn to an extent that allows more than 3 mm ( $\frac{1}{8}$  in.) side-to-side movement of the lowest point on the rim.

9.1.1.4 *Wear of Cam*—The cam shall not be worn to an extent that the cup drops before the cup hanger (cam follower) loses contact with the cam.

9.1.2 *Grooving Tools*—Inspect grooving tools for wear on a frequent and regular basis. The rapidity of wear depends on the material from which the tool is made, and the types of soils being tested. Soils containing a large proportion of fine sand particles may cause rapid wear of grooving tools; therefore, when testing these materials, tools should be inspected more frequently than for other soils.

NOTE 4—The width of the tip of grooving tools is conveniently checked using a pocket-sized measuring magnifier equipped with a millimeter scale. Magnifiers of this type are available from most laboratory supply companies. The depth of the tip of grooving tools can be checked using the depth-measuring feature of vernier calipers.

9.2 *Adjustment of Height-of-Drop*—Adjust the height-of-drop of the cup so that the point on the cup that comes in contact with the base rises to a height of  $10 \pm 0.2$  mm. See Fig. 2 for proper location of the gage relative to the cup during adjustment.

NOTE 5—A convenient procedure for adjusting the height-of-drop is as follows: place a piece of masking tape across the outside bottom of the cup parallel with the axis of the cup hanger pivot. The edge of the tape away from the cup hanger should bisect the spot on the cup that contacts the base. For new cups, placing a piece of carbon paper on the base and allowing the cup to drop several times will mark the contact spot. Attach the cup to the device and turn the crank until the cup is raised to its

maximum height. Slide the height gage under the cup from the front, and observe whether the gage contacts the cup or the tape. (See Fig. 2.) If the tape and cup are both simultaneously contacted, the height-of-drop is ready to be checked. If not, adjust the cup until simultaneous contact is made. Check adjustment by turning the crank at 2 revolutions per second while holding the gage in position against the tape and cup. If a faint ringing or clicking sound is heard without the cup rising from the gage, the adjustment is correct. If no ringing is heard or if the cup rises from the gage, readjust the height-of-drop. If the cup rocks on the gage during this checking operation, the cam follower pivot is excessively worn and the worn parts should be replaced. Always remove tape after completion of adjustment operation.

## 10. Preparation of Test Specimen

10.1 *Wet Preparation Method*—Except where the dry method of specimen preparation is specified (10.2), prepare the specimen for testing as described in the following sections.

### 10.1.1 *Material Passes the 425- $\mu\text{m}$ (No. 40) Sieve:*

10.1.1.1 Determine by visual and manual methods that the specimen from 8.2 has little or no material retained on a 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve. If this is the case, prepare 150 to 200 g of material by mixing thoroughly with distilled or demineralized water on the glass plate or mixing dish using the spatula. If desired, soak the material in a mixing/storage dish with a small amount of water to soften the material before the start of mixing. If using Method A, adjust the water content of the material to bring it to a consistency that would require about 25 to 35 blows of the liquid limit device to close the groove (Note 6). For Method B, the number of blows should be between about 20 and 30 blows.

10.1.1.2 If, during mixing, a small percentage of material is encountered that would be retained on a 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve, remove these particles by hand (if possible). If it is impractical to remove the coarser material by hand, remove small percentages (less than about 15 %) of coarser material by working the material (having the above consistency) through a 425- $\mu\text{m}$  sieve. During this procedure, use a piece of rubber sheeting, rubber stopper, or other convenient device provided the procedure does not distort the sieve or degrade material that would be retained if the washing method described in 10.1.2 were used. If larger percentages of coarse material are encountered during mixing, or it is considered impractical to remove the coarser material by the procedures just described, wash the sample as described in 10.1.2. When the coarse particles found during mixing are concretions, shells, or other fragile particles, do not crush these particles to make them pass a 425- $\mu\text{m}$  sieve, but remove by hand or by washing.

10.1.1.3 Place the prepared material in the mixing/storage dish, check its consistency (adjust if required), cover to prevent loss of moisture, and allow to stand (cure) for at least 16 h (overnight). After the standing period and immediately before starting the test, thoroughly remix the soil.

NOTE 6—The time taken to adequately mix a soil will vary greatly, depending on the plasticity and initial water content. Initial mixing times of more than 30 min may be needed for stiff, fat clays.

### 10.1.2 *Material Containing Particles Retained on a 425- $\mu\text{m}$ (No. 40) Sieve:*

10.1.2.1 Place the specimen (see 8.2) in a pan or dish and add sufficient water to cover the material. Allow the material to soak until all lumps have softened and the fines no longer

adhere to the surfaces of the coarse particles (Note 7).

**NOTE 7**—In some cases, the cations of salts present in tap water will exchange with the natural cations in the soil and significantly alter the test results if tap water is used in the soaking and washing operations. Unless it is known that such cations are not present in the tap water, distilled or demineralized water should be used. As a general rule, water containing more than 100 mg/L of dissolved solids should not be used for either the soaking or washing operations.

10.1.2.2 When the material contains a large percentage of particles retained on the 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve, perform the following washing operation in increments, washing no more than 0.5 kg (1 lb) of material at one time. Place the 425- $\mu\text{m}$  sieve in the bottom of the clean pan. Transfer, without any loss of material, the soil-water mixture onto the sieve. If gravel or coarse sand particles are present, rinse as many of these as possible with small quantities of water from a wash bottle, and discard. Alternatively, transfer the soil-water mixture over a 2.00-mm (No. 10) sieve nested atop the 425- $\mu\text{m}$  sieve, rinse the fine material through and remove the 2.00-mm sieve. After washing and removing as much of the coarser material as possible, add sufficient water to the pan to bring the level to about 13 mm ( $\frac{1}{2}$  in.) above the surface of the 425- $\mu\text{m}$  sieve. Agitate the slurry by stirring with the fingers while raising and lowering the sieve in the pan and swirling the suspension so that fine material is washed from the coarser particles. Disaggregate fine soil lumps that have not slaked by gently rubbing them over the sieve with the fingertips. Complete the washing operation by raising the sieve above the water surface and rinsing the material retained with a small amount of clean water. Discard material retained on the 425- $\mu\text{m}$  sieve.

10.1.2.3 Reduce the water content of the material passing the 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve until it approaches the liquid limit. Reduction of water content may be accomplished by one or a combination of the following methods: (a) exposing to air currents at room temperature, (b) exposing to warm air currents from a source such as an electric hair dryer, (c) decanting clear water from surface of the suspension, (d) filtering in a Büchner funnel or using filter candles, or (e) draining in a colander or plaster of Paris dish lined with high retentivity,<sup>9</sup> high wet-strength filter paper. If a plaster of Paris dish is used, take care that the dish never becomes sufficiently saturated that it fails to absorb water into its surface. Thoroughly dry dish between uses. During evaporation and cooling, stir the material often enough to prevent over-drying of the fringes and soil pinnacles on the surface of the mixture. For materials containing soluble salts, use a method of water reduction (a or b) that will not eliminate the soluble salts from the test specimen.

10.1.2.4 If applicable, remove the material retained on the filter paper. Thoroughly mix this material or the above material on the glass plate or in the mixing dish using the spatula. Adjust the water content of the mixture, if necessary, by adding small increments of distilled or demineralized water or by allowing the mixture to dry at room temperature while mixing on the glass plate. If using Method A, the material should be at a water content that would require about 25 to 35 blows of the liquid limit device to close the groove. For Method B, the

number of blows should be between about 20 and 30. Put, if necessary, the mixed material in the storage dish, cover to prevent loss of moisture, and allow to stand (cure) for at least 16 h. After the standing period and immediately before starting the test, thoroughly remix the specimen.

#### 10.2 Dry Preparation Method:

10.2.1 Dry the specimen from 8.2 at room temperature or in an oven at a temperature not exceeding 60°C until the soil clods will pulverize readily. Disaggregation is expedited if the material is not allowed to completely dry. However, the material should have a dry appearance when pulverized.

10.2.2 Pulverize the material in a mortar with a rubber-tipped pestle or in some other way that does not cause breakdown of individual particles. When the coarse particles found during pulverization are concretions, shells, or other fragile particles, do not crush these particles to make them pass a 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve, but remove by hand or other suitable means, such as washing. If a washing procedure is used, follow 10.1.2.1-10.1.2.4.

10.2.3 Separate the material on a 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve, shaking the sieve by hand to assure thorough separation of the finer fraction. Return the material retained on the 425- $\mu\text{m}$  sieve to the pulverizing apparatus and repeat the pulverizing and sieving operations. Stop this procedure when most of the fine material has been disaggregated and material retained on the 425- $\mu\text{m}$  sieve consists of individual particles.

10.2.4 Place material retained on the 425- $\mu\text{m}$  (No. 40) sieve after the final pulverizing operations in a dish and soak in a small amount of water. Stir this mixture and transfer it to a 425- $\mu\text{m}$  sieve, catching the water and any suspended fines in the washing pan. Pour this suspension into a dish containing the dry soil previously sieved through the 425- $\mu\text{m}$  sieve. Discard material retained on the 425- $\mu\text{m}$  sieve.

10.2.5 Proceed as described in 10.1.2.3 and 10.1.2.4.

### MULTIPOINT LIQUID LIMIT—METHOD A

#### 11. Procedure

11.1 Thoroughly remix the specimen (soil) in its mixing cup, and, if necessary, adjust its water content until the constancy requires about 25 to 35 blows of the liquid limit device to close the groove. Using a spatula, place a portion(s) of the prepared soil in the cup of the liquid limit device at the point where the cup rests on the base, squeeze it down, and spread it into the cup to a depth of about 10 mm at its deepest point, tapering to form an approximately horizontal surface. Take care to eliminate air bubbles from the soil pat, but form the pat with as few strokes as possible. Keep the unused soil in the mixing/storage dish. Cover the dish with a wet towel (or use other means) to retain the moisture in the soil.

11.2 Form a groove in the soil pat by drawing the tool, beveled edge forward, through the soil on a line joining the highest point to the lowest point on the rim of the cup. When cutting the groove, hold the grooving tool against the surface of the cup and draw in an arc, maintaining the tool perpendicular to the surface of the cup throughout its movement. See Fig. 6. In soils where a groove cannot be made in one stroke without tearing the soil, cut the groove with several strokes of the grooving tool. Alternatively, cut the groove to slightly less than

<sup>9</sup> S and S 595 filter paper available in 320-mm circles has proven satisfactory.



FIG. 6 Grooved Soil Patin Liquid Limit Device

required dimensions with a spatula and use the grooving tool to bring the groove to final dimensions. Exercise extreme care to prevent sliding the soil pat relative to the surface of the cup.

11.3 Verify that no crumbs of soil are present on the base or the underside of the cup. Lift and drop the cup by turning the crank at a rate of 1.9 to 2.1 drops per second until the two halves of the soil pat come in contact at the bottom of the groove along a distance of 13 mm ( $\frac{1}{2}$  in.). See Fig. 7.

Note 8—Use of a scale is recommended to verify that the groove has closed 13 mm ( $\frac{1}{2}$  in.).

11.4 Verify that an air bubble has not caused premature closing of the groove by observing that both sides of the groove have flowed together with approximately the same shape. If a bubble has caused premature closing of the groove, reform the soil in the cup, adding a small amount of soil to make up for that lost in the grooving operation and repeat 11.1-11.3. If the soil slides on the surface of the cup, repeat 11.1-11.3 at a higher water content. If, after several trials at successively higher water contents, the soil pat continues to slide in the cup or if the number of blows required to close the groove is always less



FIG. 7 Soil Pat After Groove Has Closed

**D 4318**

than 25, record that the liquid limit could not be determined, and report the soil as nonplastic without performing the plastic limit test.

11.5 Record the number of drops,  $N$ , required to close the groove. Remove a slice of soil approximately the width of the spatula, extending from edge to edge of the soil cake at right angles to the groove and including that portion of the groove in which the soil flowed together, place in a container of known mass, and cover.

11.6 Return the soil remaining in the cup to the dish. Wash and dry the cup and grooving tool and reattach the cup to the carriage in preparation for the next trial.

11.7 Remix the entire soil specimen in the dish adding distilled water to increase the water content of the soil and decrease the number of blows required to close the groove. Repeat 11.1-11.6 for at least two additional trials producing successively lower numbers of blows to close the groove. One of the trials shall be for a closure requiring 25 to 35 blows, one for closure between 20 and 30 blows, and one trial for a closure requiring 15 to 25 blows.

11.8 Determine the water content,  $W^p$ , of the soil specimen from each trial in accordance with Test Method D 2216.

11.8.1 Determination of initial masses (container plus moist soil) should be performed immediately after completion of the test. If the test is to be interrupted for more than about 15 minutes, determine the mass of the water content specimens already obtained at the time of the interruption.

**12. Calculation**

12.1 Plot the relationship between the water content,  $W^p$ , and the corresponding number of drops,  $N$ , of the cup on a semilogarithmic graph with the water content as ordinates on the arithmetical scale, and the number of drops as abscissas on a logarithmic scale. Draw the best straight line through the three or more plotted points.

12.2 Take the water content corresponding to the intersection of the line with the 25-drop abscissa as the liquid limit of the soil and round to the nearest whole number. Computational methods may be substituted for the graphical method for fitting a straight line to the data and determining the liquid limit.

**ONE-POINT LIQUID LIMIT—METHOD B**

**13. Procedure**

13.1 Proceed as described in 11.1-11.5 except that the number of blows required to close the groove shall be 20 to 30. If less than 20 or more than 30 blows are required, adjust the water content of the soil and repeat the procedure.

13.2 Immediately after removing a water content specimen as described in 11.5, reform the soil in the cup, adding a small amount of soil to make up for that lost in the grooving and water content sampling orientations. Repeat 11.2-11.5, and, if the second closing of the groove requires the same number of drops or no more than two drops difference, secure another water content specimen. Otherwise, remix the entire specimen and repeat.

NOTE 9—Excessive drying or inadequate mixing will cause the number of blows to vary.

13.3 Determine water contents of specimens in accordance with 11.8.

**14. Calculation**

14.1 Determine the liquid limit for each water content specimen using one of the following equations:

$$LL^p = W^p \cdot \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

or

$$LL^p = k \cdot W^p$$

where:

- $LL^p$  = one point liquid limit for given trial, %,
- $N$  = number of blows causing closure of the groove for given trial,
- $W^p$  = water content for given trial, %, and
- $k$  = factor given in Table 1.

14.1.1 The liquid limit,  $LL$ , is the average of the two trial liquid-limit values, to the nearest whole number (without the percent designation).

14.2 If the difference between the two trial liquid-limit values is greater than one percentage point, repeat the test as described in 13.1 through 14.1.1.

**PLASTIC LIMIT**

**15. Preparation of Test Specimen**

15.1 Select a 20-g or more portion of soil from the material prepared for the liquid limit test; either, after the second mixing before the test, or from the soil remaining after completion of the liquid limit test. Reduce the water content of the soil to a consistency at which it can be rolled without sticking to the hands by spreading or mixing continuously on the glass plate or in the mixing/storage dish. The drying process may be accelerated by exposing the soil to the air current from an electric fan, or by blotting with paper, that does not add any fiber to the soil. Paper such as hard surface paper toweling or high wet-strength filter paper is adequate.

**16. Procedure**

16.1 From this plastic-limit specimen, select a 1.5 to 2.0 g portion. Form the selected portion into an ellipsoidal mass.

16.2 Roll the soil mass by one of the following methods (hand or rolling device):

**TABLE 1 Factors for Obtaining Liquid Limit from Water Content and Number of Drops Causing Closure of Groove**

N (Number of Drops)	k (Factor for Liquid Limit)
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

16.2.1 *Hand Method*—Roll the mass between the palm or fingers and the ground-glass plate with just sufficient pressure to roll the mass into a thread of uniform diameter throughout its length (see Note 10). The thread shall be further deformed on each stroke so that its diameter reaches 3.2 mm (1/8 in.), taking no more than 2 min (see Note 11). The amount of hand or finger pressure required will vary greatly according to the soil being tested, that is, the required pressure typically increases with increasing plasticity. Fragile soils of low plasticity are best rolled under the outer edge of the palm or at the base of the thumb.

Note 10—A normal rate of rolling for most soils should be 80 to 90 strokes per minute, counting a stroke as one complete motion of the hand forward and back to the starting position. This rate of rolling may have to be decreased for very fragile soils.

Note 11—A 3.2-mm (1/8-in.) diameter rod or tube is useful for frequent comparison with the soil thread to ascertain when the thread has reached the proper diameter.

16.2.2 *Rolling Device Method*—Attach smooth unglazed paper to both the top and bottom plates of the plastic limit-rolling device. Place the soil mass on the bottom plate at the midpoint between the slide rails. Place the top plate in contact with the soil mass(es). Simultaneously apply a slight downward force and back and forth motion to the top plate so that the top plate comes into contact with the slide rails within 2 min (see Notes 10 and 12). During this rolling process, the end(s) of the soil thread(s) shall not contact the side rail(s). If this occurs, roll a smaller mass of soil (even if it is less than that mentioned in Section 16.1).

Note 12—In most cases, two soil masses (threads) can be rolled simultaneously in the plastic limit-rolling device.

16.3 When the diameter of the thread becomes 3.2 mm, break the thread into several pieces. Squeeze the pieces

together, knead between the thumb and first finger of each hand, reform into an ellipsoidal mass, and re-roll. Continue this alternate rolling to a thread 3.2 mm in diameter, gathering together, kneading and re-rolling, until the thread crumbles under the pressure required for rolling and the soil can no longer be rolled into a 3.2-mm diameter thread (see Fig. 8). It has no significance if the thread breaks into threads of shorter length. Roll each of these shorter threads to 3.2 mm in diameter. The only requirement for continuing the test is that these threads can be reformed into an ellipsoidal mass and rolled out again. The operator shall at no time attempt to produce failure at exactly 3.2-mm diameter by allowing the thread to reach 3.2 mm, then reducing the rate of rolling or the hand pressure, or both, while continuing the rolling without further deformation until the thread falls apart. It is permissible, however, to reduce the total amount of deformation for feebly plastic soils by making the initial diameter of the ellipsoidal mass nearer to the required 3.2-mm final diameter. If crumbling occurs when the thread has a diameter greater than 3.2 mm, this shall be considered a satisfactory end point, provided the soil has been previously rolled into a thread 3.2 mm in diameter. Crumbling of the thread will manifest itself differently with the various types of soil. Some soils fall apart in numerous small aggregations of particles, others may form an outside tubular layer that starts splitting at both ends. The splitting progresses toward the middle, and finally, the thread falls apart in many small platy particles. Fat clay soils require much pressure to deform the thread, particularly as they approach the plastic limit. With these soils, the thread breaks into a series of barrel-shaped segments about 3.2 to 9.5 mm (1/8 to 3/8 in.) in length.

16.4 Gather the portions of the crumbled thread together

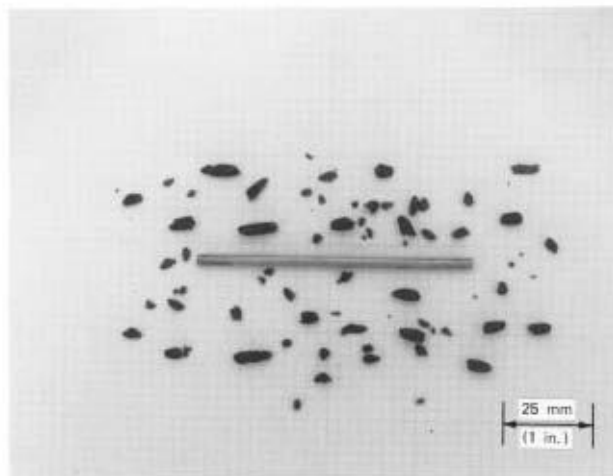


FIG. 8 Lean Clay; Soil at the Plastic Limit

and place in a container of known mass. Immediately cover the container.

16.5 Select another 1.5 to 2.0-g portion of soil from the plastic-limit specimen and repeat the operations described in 16.1 and 16.2 until the container has at least 6 g of soil.

16.6 Repeat 16.1-16.5 to make another container holding at least 6 g of soil. Determine the water content of the soil contained in the containers in accordance with Test Method D 2216. See 11.8.1.

**17. Calculation**

17.1 Compute the average of the two water contents (trial plastic limits) and round to the nearest whole number. This value is the plastic limit, *PL*. Repeat the test if the difference between the two trial plastic limits is greater than the acceptable range for two results listed in Table 2 for single-operator precision, that is, 1.4 percentage points; i.e.,  $(2.8 \times 0.5)$ .

**PLASTICITY INDEX**

**18. Calculation**

18.1 Calculate the plasticity index as follows:

$$PI = LL - PL$$

where:

*LL* = liquid limit (whole number), and

*PL* = plastic limit (whole number).

18.1.1 Both *LL* and *PL* are whole numbers. If either the liquid limit or plastic limit could not be determined, or if the plastic limit is equal to or greater than the liquid limit, report the soil as nonplastic, NP.

**19. Report**

19.1 Report the following information:

19.1.1 Sample identifying information,

19.1.2 Any special specimen selection process used, such as removal of sand lenses from undisturbed sample,

19.1.3 Report sample as air-dried if the sample was air-dried before or during preparation,

19.1.4 Liquid limit, plastic limit, and plasticity index to the nearest whole number, omitting the percent designation. If the

liquid limit or plastic limit tests could not be performed, or if the plastic limit is equal to or greater than the liquid limit, report the soil as nonplastic, NP,

19.1.5 Estimate of the percentage of sample retained on the 425- $\mu$ m (No. 40) sieve, and

19.1.6 Procedure by which liquid limit was performed, if it differs from the multipoint method.

**20. Precision and Bias**

20.1 *Precision*—Criteria for judging the acceptability of test results obtained by these test methods on a range of soil types are given in Tables 2 and 3. In performing these test methods, Method A and the Wet Preparation Method (except soil was air-dried) were used.

20.1.1 These estimates of precision are based on the results of the interlaboratory program conducted by the ASTM Reference Soils and Testing Program.<sup>10</sup> In this program, some laboratories performed three replicate tests per soil type (triplicate test laboratory), while other laboratories performed a single test per soil type (single-test laboratory). A description of the soils tested is given in 20.1.5. The precision estimates vary with soil type and method(s) used. Judgment is required when applying these estimates to another soil and method used (Method A or B, or Wet or Dry Preparation Method).

20.1.2 The data in Table 2 are based on three replicate tests performed by each triplicate test laboratory on each soil type. The single operator and multilaboratory standard deviation shown in Table 2, Column 4, were obtained in accordance with Practice E 691, which recommends each testing laboratory perform a minimum of three replicate tests. Results of two properly conducted tests performed by the same operator on the same material, using the same equipment, and in the shortest practical period of time should not differ by more than the single-operator d2s limits shown in Table 2, Column 5. For definition of d2s see Footnote C in Table 2. Results of two properly conducted tests performed by different operators and

<sup>10</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D18-1013.

**TABLE 2 Summary of Test Results from Triplicate Test Laboratories (Atterberg Limits)**

(1) Soil Type	(2) Number of Triplicate Test Laboratories			(3) Average Value <sup>a</sup> (Percentage Points)			(4) Standard Deviation <sup>b</sup> (Percentage Points)			(5) Acceptable Range of Two Results <sup>c</sup> (Percentage Points)		
	LL	PL	PI	LL	PL	PI	LL	PL	PI	LL	PL	PI
<i>Single-Operator Results (Within-Laboratory Repeatability)</i>												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	0.7	0.5	0.8	2	1	2
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	0.3	0.4	0.5	1	1	1
ML	12	11	11	27.4	23.4 <sup>d</sup>	4.1 <sup>d</sup>	0.5	0.3	0.6	2	1	2
<i>Multilaboratory Results (Between-Laboratory Reproducibility)</i>												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	1.3	2.0	2.5	4	6	7
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	1.0	1.2	1.7	3	3	5
ML	12	11	11	27.4	23.4 <sup>d</sup>	4.1 <sup>d</sup>	1.3	0.9	1.9	4	3	5

<sup>a</sup>The number of significant digits and decimal places presented are representative of the input data. In accordance with Practice D 6026, the standard deviation and acceptable range of results can not have more decimal places than the input data.

<sup>b</sup>Standard deviation is calculated in accordance with Practice E 691 and is referred to as the 1s limit.

<sup>c</sup>Acceptable range of two results is referred to as the d2s limit. It is calculated as  $1.960 \cdot \sqrt{2} \cdot 1s$ , as defined by Practice E 177. The difference between two properly conducted tests should not exceed this limit. The number of significant digits/decimal places presented is equal to that prescribed by this test method or Practice D 6026. In addition, the value presented can have the same number of decimal places as the standard deviation, even if that result has more significant digits than the standard deviation.

<sup>d</sup>For the ML soil, 2 out of 14 triplicate test laboratories reported the soil as nonplastic.



**TABLE 3 Summary of Single-Test Result from Each Laboratory (Atterberg Limits)<sup>A</sup>**

(1) Soil Type	(2) Number of Test Laboratories	(3) Average Value (Percentage Points)			(4) Standard Deviation (Percentage Points)			(5) Acceptable Range of Two Results (Percentage Points)		
		LL	PL	PI	Type Test			LL	PL	PI
					LL	PL	PI			
CH	24	59.9	20.4	39.5	2.1	2.7	3.1	6	7	9
CL	24	33.3	19.9	13.4	0.8	1.3	1.6	2	4	4
ML	18	27.1	23.2 <sup>B</sup>	3.9 <sup>B</sup>	1.3	1.2	1.8	4	3	5

<sup>A</sup>For column footnotes, see Table 3.

<sup>B</sup>For the ML soil, 6 out of 24 laboratories reported the soil as nonplastic.

on different days should not differ by more than the multilaboratory d<sub>2s</sub> limits shown in Table 2, Column 5.

20.1.3 In the ASTM Reference Soils and Testing Program, many of the laboratories performed only a single test on each soil type. This is common practice in the design and construction industry. The data for each soil type in Table 3 are based upon the first test results from the triplicate test laboratories and the single test results from the other laboratories. Results of two properly conducted tests performed by two different

laboratories with different operators using different equipment and on different days should not vary by more than the d<sub>2s</sub> limits shown in Table 3, Column 5. The results in Table 2 and Table 3 are dissimilar because the data sets are different.

20.1.4 Table 2 presents a rigorous interpretation of triplicate test data in accordance with Practice E 691 from pre-qualified laboratories. Table 3 is derived from test data that represents common practice.

20.1.5 *Soil Types*—Based on the multilaboratory test results, the soils used in the program are described below in accordance with Practice D 2487. In addition, the local names of the soils are given.

CH—Fat clay, CH, 99 % fines, LL=60, PI=39, grayish brown, soil had been air dried and pulverized. Local name—Vicksburg Buckshot Clay

CL—Lean clay, CL, 89 % fines, LL=33, PI=13, gray, soil had been air dried and pulverized. Local name—Annapolis Clay

ML—Silt, ML, 99 % fines, LL=27, PI=4, light brown, soil had been air dried and pulverized. Local name—Vicksburg Silt

20.2 *Bias*—There is no acceptable reference value for these test methods; therefore, bias cannot be determined.

**21. Keywords**

21.1 activity; Atterberg limits; liquid limit; plasticity index; plastic limit

**ANNEX**

**(Mandatory Information)**

**A1. Resilience Tester**

A1.1 A device for measuring the resilience of liquid limit device bases is shown in Fig. A1.1. The device consists of a clear acrylic plastic tube and cap, a 3/16-in. diameter steel ball, and a small bar magnet. The cylinder may be cemented to the cap or threaded as shown. The small bar magnet is held in the recess of the cap and the steel ball is fixed into the recess in the underside of the cap with the bar magnet. The cylinder is then turned upright and placed on the top surface of the base to be

tested. Holding the tube lightly against the liquid limit device base with one hand, release the ball by pulling the magnet out of the cap. Use the scale markings on the outside of the cylinder to determine the highest point reached by the bottom of the ball. Repeat the drop at least three times, placing the tester in a different location for each drop. Tests should be conducted at room temperature.

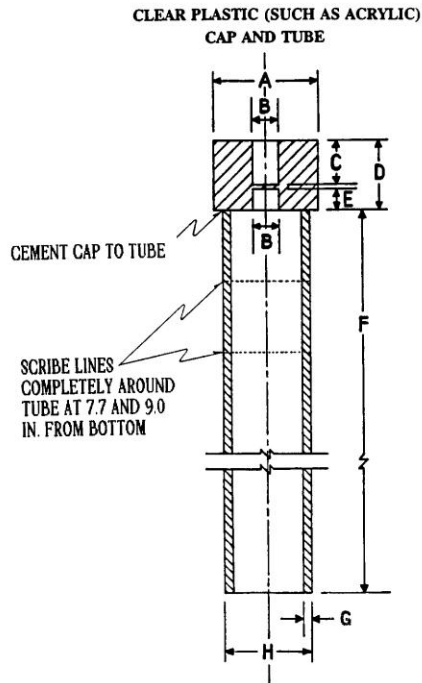


TABLE OF MEASUREMENTS

DIMENSION	DESCRIPTION	ENGLISH, in.	METRIC, mm
A	DIAM. OF CAP	1 1/2	38.10
B	DIAM. OF HOLE	3/8	9.52
C	DEPTH OF HOLE	10/16	15.88
D	HEIGHT OF CAP	1	25.40
E	DEPTH OF HOLE	5/16	7.94
F	LENGTH OF TUBE	10	254.00
G	WALL THICKNESS	1/8	3.18
H	O.D. OF TUBE	1 1/4	31.75

FIG. A1.1 Resilience Tester

SUMMARY OF CHANGES

Committee D18 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (1998) that may impact the use of this standard.

- (1) Replaced "procedure" with "method," when the topic covers how one is to perform a task.
- (2) In Scope covering "units," clarified that the standard units for resilience tester are in inch-pound, not metric.
- (3) Where applicable, replaced "weight" with "mass" or reworded to remove such terms as "weight," "weighing," or "weigh."
- (4) Where applicable, replaced "natural" as an adjective to water content with such terms as "its" or "as-sampled."
- (5) In Apparatus, under 6.6, "storage container" was changed to "mixing and storage container" and subsection reworded to indicate this container/dish may be used to mix the soil. Remaining sections in the standard, where applicable, were reworded to indicate "storage dish" may also be the "mixing dish."
- (6) In Section 8, changed title to include "Specimen," and where applicable reworded to distinguish between the sample and the specimen before processing using the wet or dry preparation method.

- (7) Under Preparation of Test Specimen: The subsections covering the wet and dry preparation methods were reworded to include the required number of blows for Method A and B. In addition, used the term "material" instead of soil or sample, whenever applicable, and replaced "grains" with "particle."
- (8) Under One-Point Liquid Limit, Method B, Section 13 on Preparation of Test Specimen was removed since the information given in that section was moved to 10.1.2.4.
- (9) In the calculation sections, defined that the calculated test result is rounded to the nearest whole number.
- (10) References to Practice C 670 were deleted in text, and references to Practices D 3740, D 6026, E 177, and E 691 were incorporated.
- (11) At the end of the Significance and Use section, a new Note 1 was added referencing Practice D 3740 in accordance with D18 policy, and all subsequent notes were renumbered.
- (12) Section 20.1 on Precision was revised completely.
- (13) In Table 1, corrected the factor for 20 number of drops.
- (14) Appendix X1 was changed to Annex A1, and the scribe



line at “8.0” in Fig. A1.1 was changed to “7.7.”

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2958, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

**ANEXO 3:**

**ASTM D 854: STANDARD TEST METHODS FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SOLIDS BY  
WATER PYCNOMETER.**



Designation: D 854 – 02

## Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 854; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

### 1. Scope \*

1.1 These test methods cover the determination of the specific gravity of soil solids that pass the 4.75-mm (No. 4) sieve, by means of a water pycnometer. When the soil contains particles larger than the 4.75-mm sieve, Test Method C 127 shall be used for the soil solids retained on the 4.75-mm sieve and these test methods shall be used for the soil solids passing the 4.75-mm sieve.

1.1.1 Soil solids for these test methods do not include solids which can be altered by these methods, contaminated with a substance that prohibits the use of these methods, or are highly organic soil solids, such as fibrous matter which floats in water.

NOTE 1—The use of Test Method D 5550 may be used to determine the specific gravity of soil solids having solids which readily dissolve in water or float in water, or where it is impracticable to use water.

1.2 Two methods for performing the specific gravity are provided. The method to be used shall be specified by the requesting authority, except when testing the types of soils listed in 1.2.1.

1.2.1 *Method A*—Procedure for Moist Specimens, described in 9.2. This procedure is the preferred method. For organic soils; highly plastic, fine grained soils; tropical soils; and soils containing halloysite, Method A shall be used.

1.2.2 *Method B*—Procedure for Oven-Dry Specimens, described in 9.3.

1.3 All observed and calculated values shall conform to the guidelines for significant digits and rounding established in Practice D 6026.

1.3.1 The procedures used to specify how data are collected/recorded and calculated in this standard are regarded as the industry standard. In addition, they are representative of the significant digits that generally should be retained. The procedures used do not consider material variation, purpose for obtaining the data, special purpose studies, or any considerations for the user's objectives; and it is common practice to increase or reduce significant digits of reported data to be commensurate with these considerations. It is beyond the scope of these test methods to consider significant digits used in analysis methods for engineering design.

<sup>1</sup> This standard is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.03 on Texture, Plasticity, and Density Characteristics of Soils.

Current edition approved July 10, 2002. Published September 2002. Originally published as D 854 – 45. Last previous edition D 854 – 00<sup>3</sup>.

1.4 *Units*—The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in these test methods.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 127 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate<sup>2</sup>

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids<sup>3</sup>

D 1140 Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than the No. 200 (75- $\mu$ m) Sieve<sup>3</sup>

D 2216 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass<sup>3</sup>

D 2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)<sup>3</sup>

D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction<sup>3</sup>

D 4753 Guide for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Soil, Rock, and Related Construction Materials Testing<sup>3</sup>

D 5550 Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer<sup>3</sup>

D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data<sup>4</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>5</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>5</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.09.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

methods, refer to Terminology D 653.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *specific gravity of soil solids,  $G_s$ ,  $n$* —the ratio of the mass of a unit volume of a soil solids to the mass of the same volume of gas-free distilled water at 20°C.

#### 4. Significance and Use

4.1 The specific gravity of a soil solids is used in calculating the phase relationships of soils, such as void ratio and degree of saturation.

4.1.1 The specific gravity of soil solids is used to calculate the density of the soil solids. This is done by multiplying its specific gravity by the density of water (at proper temperature).

4.2 The term soil solids is typically assumed to mean naturally occurring mineral particles or soil like particles that are not readily soluble in water. Therefore, the specific gravity of soil solids containing extraneous matter, such as cement, lime, and the like, water-soluble matter, such as sodium chloride, and soils containing matter with a specific gravity less than one, typically require special treatment (see Note 1) or a qualified definition of their specific gravity.

4.3 The balances, pycnometer sizes, and specimen masses are established to obtain test results with three significant digits.

NOTE 2—The quality of the result produced by these test methods is dependent on the competence of the personnel performing it, and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing/sampling/inspection/etc. Users of these test methods are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself assure reliable results. Reliable results depend on many factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.

#### 5. Apparatus

5.1 *Pycnometer*—The water pycnometer shall be either a stoppered flask, stoppered iodine flask, or volumetric flask with a minimum capacity of 250 mL. The volume of the pycnometer must be 2 to 3 times greater than the volume of the soil-water mixture used during the deairing portion of the test.

5.1.1 The stoppered flask mechanically sets the volume. The stoppered iodine flask has a flared collar that allows the stopper to be placed at an angle during thermal equilibration and prevents water from spilling down the sides of the flask when the stopper is installed. The wetting the outside of the flask is undesirable because it creates changes in the thermal equilibrium. When using a stopper flask, make sure that the stopper is properly labeled to correspond to the flask.

5.2 *Balance*—A balance meeting the requirements of Guide D 4753 for a balance of 0.01 g readability. When using the 250-mL pycnometers, the balance capacity shall be at least 500 g and when using the 500-mL pycnometers, the balance capacity shall be at least 1000 g.

5.3 *Drying Oven*—Thermostatically controlled oven, capable of maintaining a uniform temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  throughout the drying chamber. These requirements usually require the use of a forced-draft oven.

5.4 *Thermometer*—Thermometer capable of measuring the temperature range within which the test is being performed, readable to the nearest 0.1°C and an immersion depth ranging between 25 to 80 mm. Full immersion thermometers shall not

be used. Either a general-purpose precision mercury thermometer or a digital thermometer with a  $-1$  to  $57^\circ\text{C}$  range will meet this requirement.

5.5 *Desiccator*—A desiccator cabinet or large desiccator jar of suitable size containing silica gel or anhydrous calcium sulfate.

NOTE 3—It is preferable to use a desiccant that changes color to indicate when it needs reconstitution.

5.6 *Entrapped Air Removal Apparatus*—To remove entrapped air (deairing process), use one of the following:

5.6.1 *Hot Plate or Bunsen Burner*, capable of maintaining a temperature adequate to boil water.

5.6.2 *Vacuum System*, a vacuum pump or water aspirator, capable of producing a partial vacuum of 100 mm of mercury (Hg) or less absolute pressure.

NOTE 4—A partial vacuum of 100 mm Hg absolute pressure is approximately equivalent to a 660 mm (26 in.) Hg reading on vacuum gauge at sea level.

5.7 *Insulated Container*—A Styrofoam cooler and cover or equivalent container that can hold between three and six pycnometers plus a beaker, a water bottle, and a thermometer. This is required to maintain a controlled temperature environment where changes will be uniform and gradual.

5.8 *Funnel*—A non-corrosive smooth surface funnel with a stem that extends past the calibration mark on the volumetric flask or stoppered seal on the stoppered flasks. The diameter of the stem of the funnel must be large enough that soil solids will easily pass through.

5.9 *Pycnometer Filling Tube with Lateral Vents (optional)*—A device to assist in adding deaired water to the pycnometer without disturbing the soil-water mixture. The device may be fabricated as follows. Plug a  $\frac{1}{4}$  to  $\frac{3}{8}$  in. diameter plastic tube at one end and cut two small vents (notches) just above the plug. The vents should be perpendicular to the axis of the tube and diametrically opposed. Connect a valve to the other end of the tube and run a line to the valve from a supply of deaired water.

5.10 *Sieve*—No. 4 (4.75 mm) conforming to the requirements of Specification E 11.

5.11 *Blender (optional)*—A blender with mixing blades built into the base of the mixing container.<sup>6</sup>

5.12 *Miscellaneous Equipment*, such as a computer or calculator (optional), specimen dishes, and insulated gloves.

#### 6. Reagents

6.1 *Purity of Water*—Distilled water is used in this test method. This water may be purchased and is readily available at most grocery stores; hereafter, distilled water will be referred to as water.

#### 7. Test Specimen

7.1 The test specimen may be moist or oven-dry soil and shall be representative of the soil solids that passes the U. S. Standard No. 4 sieve in the total sample. Table 1 gives guidelines on recommended dry soil mass versus soil type and pycnometer size.

<sup>6</sup>Manufacturers of such blenders include, but are not limited to, Waring or Osterizer.

**TABLE 1 Recommended Mass for Test Specimen**

Soil Type	Specimen Dry Mass (g) When Using 250 mL Pycnometer	Specimen Dry Mass (g) When Using 500 mL Pycnometer
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Silt or Clay	35 ± 5	50 ± 10

7.1.1 Two important factors concerning the amount of soil solids being tested are as follows. First, the mass of the soil solids divided by its specific gravity will yield four-significant digits. Secondly, the mixture of soil solids and water is a slurry not a highly viscous fluid (thick paint) during the deairing process.

### 8. Calibration of Pycnometer

8.1 Determine the mass of the clean and dry pycnometer to the nearest 0.01 g (typically five significant digits). Repeat this determination five times. One balance should be used for all of the mass measurements. Determine and record the average and standard deviation. The standard deviation shall be less than or equal to 0.02 g. If it is greater, attempt additional measurements or use a more stable or precise balance.

8.2 Fill the pycnometer with deaired water to above or below the calibration mark depending on the type of pycnometer and laboratory preference to add or remove water.

8.2.1 It is recommended that water be removed to bring the water level to the calibration mark. The removal method reduces the chances of altering the thermal equilibrium by reducing the number of times the insulated container is opened.

8.2.2 The water must be deaired to ensure that there are no air bubbles in the water. The water may be deaired using either boiling, vacuum, combination of vacuum and heat, or a deairing device. This deaired water should not be used until it has equilibrated to room temperature. Also, this water shall be added to the pycnometer following the guidance given in 9.6.

8.3 Up to six pycnometers can be calibrated concurrently in each insulated container. Put the pycnometer(s) into a covered insulated container along with the thermometer, a beaker of water, stopper(s) (if a stoppered pycnometer is being used), and deaired water in a bottle along with either an eyedropper or pipette. Let the pycnometer(s) come to thermal equilibrium (for at least 3 h). The equilibrium temperature should be within 4°C of room temperature and between 15 and 30°C.

8.4 Move the insulated container near the balance or vice versa. Open the container and remove one pycnometer. Only the rim of the pycnometer shall be touched as to prevent the heat from handling changing the thermal equilibrium. Either work in the container or place the pycnometer on an insulated block (Styrofoam) while making water level adjustments.

8.4.1 If using a volumetric flask as a pycnometer, adjust the water to the calibration mark, with the bottom of the meniscus level with the mark. If water has to be added, use the thermally equilibrated water from the insulated container. If water has to be removed, use a small suction tube or paper towel. Check for and remove any water beads on the pycnometer stem or on the exterior of the flask. Measure and record the mass of pycnometer and water to the nearest 0.01 g.

8.4.2 If a stoppered flask is used, place the stopper in the

bottle, then remove the excess water using an eyedropper. Dry the rim using a paper towel. Be sure the entire exterior of the flask is dry. Measure and record the mass of pycnometer and water to the nearest 0.01 g.

8.5 Measure and record the temperature of the water to the nearest 0.1°C using the thermometer that has been thermally equilibrated in the insulated container. Insert the thermometer to the appropriate depth of immersion (see 5.4). Return the pycnometer to the insulated container. Repeat the measurements for all pycnometers in the container.

8.6 Readjust the water level in each pycnometer to prepare for the next calibration and allow the pycnometers to thermally equilibrate (for at least 3 h). Repeat the procedure to obtain five independent measurements on each pycnometer. The temperatures do not need to bracket any particular temperature range.

8.7 Using each of these five data points, compute the calibrated volume of each pycnometer,  $V_p$ , using the following equation:

$$V_p = \frac{(M_{pw,c} - M_p)}{\rho_{w,c}} \quad (1)$$

where:

$M_{pw,c}$  = the mass of the pycnometer and water at the calibration temperature, g,

$M_p$  = the average mass of the dry pycnometer at calibration, g, and

$\rho_{w,c}$  = the mass density of water at the calibration temperature g/mL, (Table 2).

8.8 Calculate the average and the standard deviation of the five volume determinations. The standard deviation shall be less than or equal to 0.05 mL (rounded to two decimal places). If the standard deviation is greater than 0.05 mL, the calibration procedure has too much variability and will not yield accurate specific gravity determinations. Evaluate areas of possible refinement (adjusting the volume to the calibration mark, achieving temperature equilibrium, measuring temperature, deairing method or changing to the stoppered flasks) and revise the procedure until the standard deviation is less than or equal to 0.05 mL.

### 9. Procedure

9.1 *Pycnometer Mass*—Using the same balance used to calibrate the pycnometer, verify that the mass of the pycnometer is within 0.06 g of the average calibrated mass. If it is not, re-calibrate the dry mass of the pycnometer.

9.2 *Method A—Procedure for Moist Specimens:*

9.2.1 Determine the water content of a portion of the sample in accordance with Test Method D 2216. Using this water content, calculate the range of wet masses for the specific gravity specimen in accordance with 7.1. From the sample, obtain a specimen within this range. Do not sample to obtain an exact predetermined mass.

9.2.2 To disperse the soil put about 100 mL of water into the mixing container of a blender or equivalent device. Add the soil and blend. The minimum volume of slurry that can be prepared by this equipment will typically require using a 500-mL pycnometer.

9.2.3 Using the funnel, pour the slurry into the pycnometer. Rinse any soil particles remaining on the funnel into the

**TABLE 2 Density of Water and Temperature Coefficient (K) for Various Temperatures<sup>a</sup>**

Temperature (°C)	Density (g/mL) <sup>b</sup>	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) <sup>b</sup>	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) <sup>b</sup>	Temperature Coefficient (K)	Temperature (°C)	Density (g/mL) <sup>b</sup>	Temperature Coefficient (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99757	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

<sup>a</sup>Reference: CRC Handbook of Chemistry and Physics, David R. Lide, Editor-in-Chief, 74<sup>th</sup> Edition, 1993–1994.  
<sup>b</sup>mL = cm<sup>3</sup>.

pycnometer using a wash/spray squirt bottle.

9.2.4 Proceed as described in 9.4.

9.3 Method B—Procedure for Oven-Dried Specimens:

9.3.1 Dry the specimen to a constant mass in an oven maintained at  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Break up any clods of soil using a mortar and pestle. If the soil will not easily disperse after drying or has changed composition, use Test Method A. Refer to 1.2.1 for soils that require use of Test Method A.

9.3.2 Place the funnel into the pycnometer. The stem of the funnel must extend past the calibration mark or stopper seal. Spoon the soil solids directly into the funnel. Rinse any soil particles remaining on the funnel into the pycnometer using a wash/spray squirt bottle.

9.4 Preparing the Soil Slurry—Add water until the water level is between  $\frac{1}{5}$  and  $\frac{1}{2}$  of the depth of the main body of the pycnometer. Agitate the water until slurry is formed. Rinse any soil adhering to the pycnometer into the slurry.

9.4.1 If slurry is not formed, but a viscous paste, use a pycnometer having a larger volume. See 7.1.1.

NOTE 5—For some soils containing a significant fraction of organic matter, kerosene is a better wetting agent than water and may be used in place of distilled water for oven-dried specimens. If kerosene is used, the

entrapped air should only be removed by use of an aspirator. Kerosene is a flammable liquid that must be used with extreme caution.

9.5 Deairing the Soil Slurry—Entrapped air in the soil slurry can be removed using either heat (boiling), vacuum or combining heat and vacuum.

9.5.1 When using the heat-only method (boiling), use a duration of at least 2 h after the soil-water mixture comes to a full boil. Use only enough heat to keep the slurry boiling. Agitate the slurry as necessary to prevent any soil from sticking to or drying onto the glass above the slurry surface.

9.5.2 If only a vacuum is used, the pycnometer must be continually agitated under vacuum for at least 2 h. Continually agitated means the silt/clay soil solids will remain in suspension, and the slurry is in constant motion. The vacuum must remain relatively constant and be sufficient to cause bubbling at the beginning of the deairing process.

9.5.3 If a combination of heat and vacuum are used, the pycnometers can be placed in a warm water bath (not more than  $40^\circ\text{C}$ ) while applying the vacuum. The water level in the bath should be slightly below the water level in the pycnometer, if the pycnometer glass becomes hot, the soil will typically stick to or dry onto the glass. The duration of vacuum



and heat must be at least 1 h after the initiation of boiling. During the process, the slurry should be agitated as necessary to maintain boiling and prevent soil from drying onto the pycnometer.

9.6 *Filling the Pycnometer with Water*—Fill the pycnometer with deaired water (see 8.2.2) by introducing the water through a piece of small-diameter flexible tubing with its outlet end kept just below the surface of the slurry in the pycnometer or by using the pycnometer filling tube. If the pycnometer filling tube is used, fill the tube with water, and close the valve. Place the tube such that the drainage holes are just at the surface of the slurry. Open the valve slightly to allow the water to flow over the top of the slurry. As the clear water layer develops, raise the tube and increase the flow rate. If the added water becomes cloudy, do not add water above the calibration mark or into the stopper seal area. Add the remaining water the next day.

9.6.1 If using the stoppered iodine flask, fill the flask, such that the base of the stopper will be submerged in water. Then rest the stopper at an angle on the flared neck to prevent air entrapment under the stopper. If using a volumetric or stoppered flask, fill the flask to above or below the calibration mark depending on preference.

9.7 If heat has been used, allow the specimen to cool to approximately room temperature.

9.8 *Thermal Equilibrium*—Put the pycnometer(s) into the insulated container. The thermometer, a beaker of water, and some deaired water in a bottle along with either an eyedropper or pipette should also be placed in the insulated container. Keep these items in the closed container overnight to achieve thermal equilibrium.

9.9 *Pycnometer Mass Determination*—If the insulated container is not positioned near a balance, move the insulated container near the balance or vice versa. Open the container and remove the pycnometer. Only touch the rim of the pycnometer because the heat from hands can change the thermal equilibrium. Place the pycnometer on an insulated block (Styrofoam or equivalent).

9.9.1 If using a volumetric flask, adjust the water to the calibration mark following the procedure in 8.4.1.

9.9.2 If a stoppered flask is used, place the stopper in the bottle while removing the excess water using an eyedropper. Dry the rim using a paper towel. Be sure the entire exterior of the flask is dry.

9.10 Measure and record the mass of pycnometer, soil, and water to the nearest 0.01 g using the same balance used for pycnometer calibration.

9.11 *Pycnometer Temperature Determination*—Measure and record the temperature of the slurry/soil-water mixture to the nearest 0.1°C using the thermometer and method used during calibration in 8.5. This is the test temperature,  $T_t$ .

9.12 *Mass of Dry Soil*—Determine the mass of a tare or pan to the nearest 0.01 g. Transfer the soil slurry to the tare or pan. It is imperative that all of the soil be transferred. Water can be added. Dry the specimen to a constant mass in an oven maintained at  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  and cool it in a desiccator. If the tare can be sealed so that the soil can not absorb moisture during cooling, a desiccator is not required. Measure the dry mass of

soil solids plus tare to the nearest 0.01 g using the designated balance. Calculate and record the mass of dry soil solids to the nearest 0.01 g.

NOTE 6—This method has been proven to provide more consistent, repeatable results than determining the dry mass prior to testing. This is most probably due to the loss of soil solids during the de-airing phase of testing.

## 10. Calculation

10.1 Calculate the mass of the pycnometer and water at the test temperature as follows:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \cdot \rho_{w,t}) \quad (2)$$

where:

- $M_{pw,t}$  = mass of the pycnometer and water at the test temperature ( $T_t$ ), g.
- $M_p$  = the average calibrated mass of the dry pycnometer, g.
- $V_p$  = the average calibrated volume of the pycnometer, mL, and
- $\rho_{w,t}$  = the density of water at the test temperature ( $T_t$ ), g/mL from Table 2.

10.2 Calculate the specific gravity at soil solids the test temperature,  $G_t$ , as follows:

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - M_p)} \quad (3)$$

where:

- $\rho_s$  = the density of the soil solids  $\text{Mg/m}^3$  or  $\text{g/cm}^3$ ,
- $\rho_{w,t}$  = the density of water at the test temperature ( $T_t$ ), from Table 2,  $\text{g/mL}$  or  $\text{g/cm}^3$ .
- $M_s$  = the mass of the oven dry soil solids (g), and
- $M_{pw,t}$  = the mass of pycnometer, water, and soil solids at the test temperature, ( $T_t$ ), g.

10.3 Calculate the specific gravity of soil solids at  $20^\circ\text{C}$  as follows:

$$G_{20^\circ\text{C}} = K \cdot G_t \quad (4)$$

where:

- $K$  = the temperature coefficient given in Table 2.

10.4 For soil solids containing particles greater than the 4.75-mm (No. 4) sieve for which Test Method C 127 was used to determine the specific gravity of these particles, calculate an average specific gravity. Test Method C 127 requires the test be performed at  $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$  and does not require the specific gravity data to be corrected to  $20^\circ\text{C}$ . Use 10.3 to correct this measurement to  $20^\circ\text{C}$ . Use the following equation to calculate the average specific gravity:

$$G_{avg@20^\circ\text{C}} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_{1@20^\circ\text{C}}} + \frac{P}{100 \cdot G_{2@20^\circ\text{C}}}} \quad (5)$$

where:

- $R$  = the percent of soil retained on the 4.75-mm sieve.
- $P$  = the percent of soil passing the 4.75-mm sieve.
- $G_{1@20^\circ\text{C}}$  = the apparent specific gravity of soils retained on the 4.75-mm sieve as determined by Test Method C 127, corrected to  $20^\circ\text{C}$

$G_{2@20^{\circ}\text{C}}$  = the specific gravity of soil solids passing the 4.75-mm sieve as determined by these test methods (Equation 4).

**11. Report: Test Data Sheets(s)/Form(s)**

11.1 The method used to specify how data are recorded on the test data sheets or forms, as given below, is the industry standard, and are representative of the significant digits that should be retained. These requirements do not consider in situ material variation, use of the data, special purpose studies, or any considerations for the user’s objectives. It is common practice to increase or reduce significant digits of reported data commensurate with these considerations. It is beyond the scope of the standard to consider significant digits used in analysis methods for engineering design.

11.2 Record as a minimum the following information (data):

11.2.1 Identification of the soil (material) being tested, such as boring number, sample number, depth, and test number.

11.2.2 Visual classification of the soil being tested (group name and symbol in accordance with Practice D 2487).

11.2.3 Percent of soil particles passing the No. 4 (4.75-mm) sieve.

11.2.4 If any soil or material was excluded from the test specimen, describe the excluded material.

11.2.5 Method used (Method A or Method B).

11.2.6 All mass measurements (to the nearest 0.01 g).

11.2.7 Test temperature (to the nearest 0.1°C).

11.2.8 Specific gravity at 20°C ( $G_s$ ,  $G_{20^{\circ}\text{C}}$ ) to the nearest 0.01. If desired, values to the nearest 0.001 may be recorded.

11.2.9 Average specific gravity at 20°C ( $G_{ave}$  or  $G_{avg@20^{\circ}\text{C}}$ ) to the nearest 0.01, if applicable.

**12. Precision and Bias**

12.1 *Precision*—Criteria for judging the acceptability of test results obtained by these test methods on a range of soil types using Method A (except the soil was air dried) is given in Tables 3 and 4. These estimates of precision are based on the results of the interlaboratory program conducted by the ASTM Reference Soils and Testing Program.<sup>7</sup> In this program, some laboratories performed three replicate tests per soil type (triplicate test laboratory), while other laboratories performed a single test per soil type (single test laboratory). A description of the soils tested is given in 12.1.4. The precision estimates may vary with soil type and method used (Method A or B). Judgement is required when applying these estimates to another soil or method.

12.1.1 The data in Table 3 are based on three replicate tests performed by each triplicate test laboratory on each soil type. The single operator and multilaboratory standard deviation shown in Table 3, Column 4 were obtained in accordance with Practice E 691, which recommends each testing laboratory perform a minimum of three replicate tests. Results of two properly conducted tests performed by the same operator on the same material, using the same equipment, and in the shortest practical period of time should not differ by more than

<sup>7</sup> Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request RR: D18-1009.

**TABLE 3 Summary of Test Results from Triplicate Test Laboratories (Specific Gravity)**

(1) Soil Type	(2) Number of Triplicate Test Labs	(3) Average Value <sup>A</sup>	(4) Standard Deviation <sup>B</sup>	(5) Acceptable Range of Two Results <sup>C</sup>
<i>Single-Operator Results (Within-Laboratory Repeatability):</i>				
CH	14	2.717	0.009	0.03
CL	13	2.670	0.006	0.02
ML	14	2.725	0.006	0.02
SP	14	2.658	0.006	0.02
<i>Multilaboratory Results (Between-Laboratory Reproducibility):</i>				
CH	14	2.717	0.028	0.08
CL	13	2.670	0.022	0.06
ML	14	2.725	0.022	0.06
SP	14	2.658	0.008	0.02

<sup>A</sup>The number of significant digits and decimal places presented are representative of the input data. In accordance with Practice D 6026, the standard deviation and acceptable range of results cannot have more decimal places than the input data.

<sup>B</sup>Standard deviation is calculated in accordance with Practice E 691 and is referred to as the 1s limit.

<sup>C</sup>Acceptable range of two results is referred to as the d2s limit. It is calculated as  $1.960\sqrt{2}$  1s, as defined by Practice E 177. The difference between two properly conducted tests should not exceed this limit. The number of significant digits/decimal places presented is equal to that prescribed by these test methods or Practice D 6026. In addition, the value presented can have the same number of decimal places as the standard deviation, even if that result has more significant digits than the standard deviation.

**TABLE 4 Summary of Single Test Result from Each Laboratory (Specific Gravity)<sup>A</sup>**

(1) Soil Type	(2) Number of Test Laboratories	(3) Average Value	(4) Standard Deviation	(5) Acceptable Range of Two Results
<i>Multilaboratory Results (Single-Test Performed by Each Laboratory):</i>				
CH	18	2.715	0.027	0.08
CL	18	2.673	0.018	0.05
ML	18	2.726	0.022	0.06
SP	18	2.660	0.007	0.02

<sup>A</sup>See footnotes in Table 3.

the single-operator d2s limits shown in Table 3, Column 5. For definition of d2s see Footnote C in Table 3. Results of two properly conducted tests performed by different operators and on different days should not differ by more than the multilaboratory d2s limits shown in Table 3, Column 5.

12.1.2 In the ASTM Reference Soils and Testing Program, many of the laboratories performed only a single test. This is common practice in the design and construction industry. The data in Table 4 are based upon the first test result from the triplicate test laboratories and the single test results from the other laboratories. Results of two properly conducted tests performed by two different laboratories with different operators using different equipment and on different days should not vary by more than the d2s limits shown in Table 4, Column 5. The results in Tables 3 and 4 are dissimilar because the data sets are different.

12.1.3 Table 3 presents a rigorous interpretation of triplicate test data in accordance with Practice E 691 from prequalified laboratories. Table 4 is derived from test data that represents common practice.

12.1.4 *Soil Type*—Based on the multilaboratory test results, the soil used in the program is described below in accordance with Practice D 2487. In addition, the local name of the soil is given.

 D 854 – 02

CH—Fat clay, CH, 99 % fines, LL=60, PI=39, grayish brown, soil had been air dried and pulverized. Local name—Vicksburg Buckshot Clay  
CL—Lean clay, CL, 89 % fines, LL=33, PI=13, gray, soil had been air dried and pulverized. Local name—Annapolis Clay  
ML—Silt, ML, 99 % fines, LL=27, PI=4, light brown, soil had been air dried and pulverized. Local name—Vicksburg Silt

SP—Poorly graded sand; SP, 20 % coarse sand, 48 % medium sand, 30 % fine sand, 2 % fines, yellowish brown. Local name—Frederick sand

12.2 *Bias*—There is no acceptable reference value for this test method, therefore, bias cannot be determined.

### SUMMARY OF CHANGES

In accordance with Committee D18 policy, this section identifies the location of changes to this standard since the last edition (00e1) that may impact the use of this standard.

- (1) The balance capacity was reduced from 2000 g to either 500 g or 1000 g depending on pycnometer size.  
(2) 8.3 and 9.8. The thermometer no longer is required to be in the beaker during thermal equilibrium.  
(3) 9.2 The dispersion technique is better defined.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

## ANEXO 4: TABLA DE CALIBRACIÓN DE PICNOMETRO.



### Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCC

*Urb Madre Selva, 3a etapa Av. El Espino Boulevard Sur,  
Antiguo Cuscatlan, La Libertad Tel 2505-0162, 2505-0163 Fax 2505-0164*

#### CALIBRACION DE PICNÓMETRO SEGÚN ASTM D854

Masa de frasco seco

Frasco	1	2
<i>m1 (g)</i>	174.000	180.800
<i>m2 (g)</i>	174.000	180.700
<i>m3 (g)</i>	174.100	180.800
<i>m4 (g)</i>	174.100	180.700
<i>m5 (g)</i>	174.000	180.800
<i>Promedio</i>	174.040	180.760
<i>Desviación estándar</i>	0.055	0.055

<i>Temp equilibrio térmico (°C)</i>	
-------------------------------------	--

Masa y temperatura de frasco con agua hasta la marca de aforo

1			2		
Masa (g)	Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/mL)	Masa (g)	Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/mL)
672.300	24.0	0.99730	679.000	24.0	0.99730
672.300	26.0	0.99679	678.900	25.8	0.99684
672.300	24.7	0.99712	679.000	24.6	0.99715
672.300	24.1	0.99727	679.000	24.0	0.99730
672.300	25.4	0.99694	679.000	25.4	0.99694

Frasco	1	2
<i>Vp1 (mL)</i>	499.609	499.589
<i>Vp2 (mL)</i>	499.865	499.719
<i>Vp3 (mL)</i>	499.699	499.664
<i>Vp4 (mL)</i>	499.624	499.589
<i>Vp5 (mL)</i>	499.789	499.769
<i>Promedio</i>	499.717	499.666
<i>Desviación estándar</i>	0.109	0.080

**ANEXO 5: TABLA DE MUESTREO, FRECUENCIAS Y TOLERANCIAS.**

Actividad o Material	Característica	AASHTO	ASTM	FRECUENCIA MÍNIMA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PUNTO DE MUESTREO
<b>Suelo Cemento</b>	Granulometría	T-11, T-27		Según Diseño			Después Mezclado
	Límite Líquido	T-89	D-4318	N/A	N/A	25%	Del Acopio
	Índice Plástico	T-90	D-4318	N/A	N/A	8	Del Acopio
	Relación Densidad-Humedad	T-180		N/A	N/A	N/A	Del Acopio
	Resistencia Compresión		D-1632 Y D-1633	27 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días	27 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días	N/A	Después Mezclado
	Densidades de Campo(cono/densímetro nuclear)	T-191/T-310		95% de T-180	95% de T-180	95% de T-180	Cada Capa Compactada

**FUENTE: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO, CONDICIONES TÉCNICAS FOVIAL, 2009.**

**ANEXO 6:**

**ASTM D 1557: STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY COMPACTION**

**CHARACTERISTICS OF SOIL USING MODIFIED EFFORT (56,000 FT-LBF/FT<sup>3</sup>)**

**(EQUIVALENTE A AASHTO T-180)**



Designation: D 1557 – 02<sup>e1</sup>

## Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 1557; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>e1</sup> NOTE—Paragraph 10.4.3 was corrected editorially in November 2003.

### 1. Scope\*

1.1 These test methods cover laboratory compaction methods used to determine the relationship between water content and dry unit weight of soils (compaction curve) compacted in a 4- or 6-in. (101.6 or 152.4 mm) diameter mold with a 10-lbf. (44.5-N) rammer dropped from a height of 18 in. (457 mm) producing a compactive effort of 56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>).

NOTE 1—Soils and soil-aggregate mixtures should be regarded as natural occurring fine- or coarse-grained soils or composites or mixtures of natural soils, or mixtures of natural and processed soils or aggregates such as silt, gravel, or crushed rock.

NOTE 2—The equipment and procedures are the same as proposed by the U.S. Corps of Engineers in 1945. The modified effort test (see 3.2.2) is sometimes referred to as the Modified Proctor Compaction Test.

1.2 These test methods apply only to soils (materials) that have 30 % or less by mass of their particles retained on the  $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve.

NOTE 3—For relationships between unit weights and water contents of soils with 30 % or less by weight of material retained on the  $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve to unit weights and water contents of the fraction passing the  $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve, see Practice D 4718.

1.3 Three alternative methods are provided. The method used shall be as indicated in the specification for the material being tested. If no method is specified, the choice should be based on the material gradation.

#### 1.3.1 Method A:

1.3.1.1 *Mold*—4-in. (101.6-mm) diameter.

1.3.1.2 *Material*—Passing No. 4 (4.75-mm) sieve.

1.3.1.3 *Layers*—Five.

1.3.1.4 *Blows per layer*—25.

1.3.1.5 *Use*—May be used if 20 % or less by mass of the material is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve.

1.3.1.6 *Other Use*—If this method is not specified, materials that meet these gradation requirements may be tested using Methods B or C.

#### 1.3.2 Method B:

1.3.2.1 *Mold*—4-in. (101.6-mm) diameter.

1.3.2.2 *Material*—Passing  $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) sieve.

1.3.2.3 *Layers*—Five.

1.3.2.4 *Blows per layer*—25.

1.3.2.5 *Use*—Shall be used if more than 20 % by mass of the material is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve and 20 % or less by mass of the material is retained on the  $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) sieve.

1.3.2.6 *Other Use*—If this method is not specified, materials that meet these gradation requirements may be tested using Method C.

#### 1.3.3 Method C:

1.3.3.1 *Mold*—6-in. (152.4-mm) diameter.

1.3.3.2 *Material*—Passing  $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve.

1.3.3.3 *Layers*—Five.

1.3.3.4 *Blows per layer*—56.

1.3.3.5 *Use*—Shall be used if more than 20 % by mass of the material is retained on the  $\frac{3}{8}$ -in. (9.53-mm) sieve and less than 30 % by mass of the material is retained on the  $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve.

1.3.4 The 6-in. (152.4-mm) diameter mold shall not be used with Method A or B.

NOTE 4—Results have been found to vary slightly when a material is tested at the same compactive effort in different size molds.

1.4 If the test specimen contains more than 5 % by mass of oversize fraction (coarse fraction) and the material will not be included in the test, corrections must be made to the unit weight and water content of the test specimen or to the appropriate field in place density test specimen using Practice D 4718.

1.5 This test method will generally produce well defined maximum dry unit weight for non-free draining soils. If this test method is used for free draining soils the maximum unit

<sup>1</sup> This standard is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.03 on Texture, Plasticity and Density Characteristics of Soils.

Current edition approved Nov. 10, 2002. Published January 2003. Originally published as D 1557 – 58. Last previous edition D 1557 – 00.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

weight may not be well defined, and can be less than obtained using Test Methods D 4253.

1.6 The values in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values stated in SI units are provided for information only.

1.6.1 In the engineering profession it is customary practice to use, interchangeably, units representing both mass and force, unless dynamic calculations ( $F = Ma$ ) are involved. This implicitly combines two separate systems of units, that is, the absolute system and the gravimetric system. It is scientifically undesirable to combine the use of two separate systems within a single standard. This test method has been written using inch-pound units (gravimetric system) where the pound (lbf) represents a unit of force. The use of mass (lbm) is for convenience of units and is not intended to convey the use is scientifically correct. Conversions are given in the SI system in accordance with IEEE/ASTM SI 10. The use of balances or scales recording pounds of mass (lbm), or the recording of density in  $\text{lbm/ft}^3$  should not be regarded as nonconformance with this standard.

1.7 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- C 127 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate<sup>2</sup>
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>
- D 422 Test Method for Particle-Size Analysis of Soils<sup>3</sup>
- D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids<sup>3</sup>
- D 698 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)]<sup>3</sup>
- D 854 Test Method for Specific Gravity of Soils<sup>3</sup>
- D 2168 Test Methods for Calibration of Laboratory Mechanical-Rammer Soil Compactors<sup>3</sup>
- D 2216 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass<sup>3</sup>
- D 2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)<sup>3</sup>
- D 2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)<sup>3</sup>
- D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction<sup>3</sup>
- D 4220 Practices for Preserving and Transporting Soil Samples<sup>3</sup>
- D 4253 Test Methods for Maximum Index Density of Soils Using a Vibratory Table<sup>3</sup>
- D 4718 Practice for Correction of Unit Weight and Water

Content for Soils Containing Oversize Particles<sup>3</sup>

D 4753 Specification for Evaluating, Selecting and Specifying Balances and Scales For Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing<sup>3</sup>

D 4914 Test Methods for Density of Soil and Rock in Place by the Sand Replacement Method in a Test Pit<sup>3</sup>

D 5030 Test Method for Density of Soil and Rock in Place by the Water Replacement Method in a Test Pit<sup>4</sup>

E 1 Specification for ASTM Thermometers<sup>5</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

E 319 Practice for the Evaluation of Single-Pan Mechanical Balances<sup>5</sup>

IEEE/ASTM SI 10 Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—See Terminology D 653 for general definitions.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *modified effort*—the term for the 56 000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>) compactive effort applied by the equipment and methods of this test.

3.2.2 *modified maximum dry unit weight,  $\gamma_{dmax}$*  (lbf/ft<sup>3</sup> (kN/m<sup>3</sup>))—the maximum value defined by the compaction curve for a compaction test using modified effort.

3.2.3 *modified optimum water content,  $w_o$*  (%)—the water content at which the soil can be compacted to the maximum dry unit weight using modified compactive effort.

3.2.4 *oversize fraction (coarse fraction),  $P_c$*  (%)—the portion of total sample not used in performing the compaction test; it may be the portion of total sample retained on the No. 4 (4.75-mm), 3/8-in. (9.5-mm), or 3/4-in. (19.0-mm) sieve.

3.2.5 *test fraction (finer fraction),  $P_F$*  (%)—the portion of the total sample used in performing the compaction test; it may be fraction passing the No. 4 (4.75-mm) sieve in Method A, minus 3/8-in. (9.5-mm) sieve in Method B, or minus 3/4-in. (19.0-mm) sieve in Method C.

## 4. Summary of Test Method

4.1 A soil at a selected water content is placed in five layers into a mold of given dimensions, with each layer compacted by 25 or 56 blows of a 10-lbf (44.5-N) rammer dropped from a distance of 18-in. (457-mm), subjecting the soil to a total compactive effort of about 56 000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>). The resulting dry unit weight is determined. The procedure is repeated for a sufficient number of water contents to establish a relationship between the dry unit weight and the water content for the soil. This data, when plotted, represent a curvilinear relationship known as the compaction curve. The values of optimum water content and modified maximum dry unit weight are determined from the compaction curve.

## 5. Significance and Use

5.1 Soil placed as engineering fill (embankments, foundation pads, road bases) is compacted to a dense state to obtain

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



satisfactory engineering properties such as, shear strength, compressibility, or permeability. Also, foundation soils are often compacted to improve their engineering properties. Laboratory compaction tests provide the basis for determining the percent compaction and water content needed to achieve the required engineering properties, and for controlling construction to assure that the required compaction and water contents are achieved.

5.2 During design of an engineered fill, shear, consolidation, permeability, or other tests require preparation of test specimens by compacting at some water content to some unit weight. It is common practice to first determine the optimum water content ( $w_o$ ) and maximum dry unit weight ( $\gamma_{dmax}$ ) by means of a compaction test. Test specimens are compacted at a selected water content ( $w$ ), either wet or dry of optimum ( $w_o$ ) or at optimum ( $w_o$ ), and at a selected dry unit weight related to a percentage of maximum dry unit weight ( $\gamma_{dmax}$ ). The selection of water content ( $w$ ), either wet or dry of optimum ( $w_o$ ) or at optimum ( $w_o$ ) and the dry unit weight ( $\gamma_{dmax}$ ) may be based on past experience, or a range of values may be investigated to determine the necessary percent of compaction.

5.3 Experience indicates that the methods outlined in 5.2 or the construction control aspects discussed in 5.1 are extremely difficult to implement or yield erroneous results when dealing with some soils. The following subsections describe typical problem soils, the problems encountered when dealing with such soils and possible solutions for these problems.

5.3.1 *Oversize Fraction*—Soils containing more than 30 % oversize fraction (material retained on the  $\frac{3}{8}$ -in. (19-mm) sieve) are a problem. For such soils, there is no ASTM test method to control their compaction and very few laboratories are equipped to determine the laboratory maximum unit weight (density) of such soils (USDI Bureau of Reclamation, Denver, CO and U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS). Although Test Methods D 4914 and D 5030 determine the “field” dry unit weight of such soils, they are difficult and expensive to perform.

5.3.1.1 One method to design and control the compaction of such soils is to use a test fill to determine the required degree of compaction and the method to obtain that compaction. Then use a method specification to control the compaction. Components of a method specification typically contain the type and size of compaction equipment to use, the lift thickness, and number of passes.

NOTE 5—Success in executing the compaction control of an earthwork project, especially when a method specification is used, is highly dependent upon the quality and experience of the “contractor” and “inspector”.

5.3.1.2 Another method is to apply the use of density correction factors developed by the USDI Bureau of Reclamation (1,2)<sup>6</sup> and U.S. Corps of Engineers (3). These correction factors may be applied for soils containing up to about 50 to 70 % oversize fraction. Both agencies use a different term for these density correction factors. The USDI Bureau of Recla-

mation uses  $D$  ratio (or  $D$  – VALUE), while the U.S. Corps of Engineers uses Density Interference Coefficient ( $I_c$ ).

5.3.1.3 The use of the replacement technique (Test Method D 1557–78, Method D), in which the oversize fraction is replaced with a finer fraction, is inappropriate to determine the maximum dry unit weight,  $\gamma_{dmax}$ , of soils containing oversize fractions (3).

5.3.2 *Degradation*—Soils containing particles that degrade during compaction are a problem, especially when more degradation occurs during laboratory compaction than field compaction, the typical case. Degradation typically occurs during the compaction of a granular-residual soil or aggregate. When degradation occurs, the maximum dry-unit weight increases (4) so that the resulting laboratory maximum value is not representative of field conditions. Often, in these cases, the maximum dry unit weight is impossible to achieve in the field.

5.3.2.1 Again for soils subject to degradation, the use of test fills and method specifications may help. Use of replacement techniques is not correct.

5.3.3 *Gap Graded*—Gap-graded soils (soils containing many large particles with limited small particles) are a problem because the compacted soil will have larger voids than usual. To handle these large voids, standard test methods (laboratory or field) typically have to be modified using engineering judgement.

NOTE 6—The quality of the result produced by this standard is dependent on the competence of the personnel performing it, and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing/sampling/inspection/etc. Users of this standard are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself assure reliable results. Reliable results depend on many factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.

## 6. Apparatus

6.1 *Mold Assembly*—The molds shall be cylindrical in shape, made of rigid metal and be within the capacity and dimensions indicated in 6.1.1 or 6.1.2 and Fig. 1 and Fig. 2. The walls of the mold may be solid, split, or tapered. The “split” type, may consist of two half-round sections, or a section of pipe split along one element, which can be securely locked together to form a cylinder meeting the requirements of this section. The “tapered” type shall an internal diameter taper that is uniform and not more than 0.200 in./ft (16.7 mm/m) of mold height. Each mold shall have a base plate and an extension collar assembly, both made of rigid metal and constructed so they can be securely attached and easily detached from the mold. The extension collar assembly shall have a height extending above the top of the mold of at least 2.0 in. (50.8 mm) which may include an upper section that flares out to form a funnel provided there is at least a 0.75-in. (19.0-mm) straight cylindrical section beneath it. The extension collar shall align with the inside of the mold. The bottom of the base plate and bottom of the centrally recessed area that accepts the cylindrical mold shall be planar.

6.1.1 *Mold, 4 in.*—A mold having a  $4.000 \pm 0.016$ -in. ( $101.6 \pm 0.4$ -mm) average inside diameter, a height of  $4.584 \pm 0.018$  in. ( $116.4 \pm 0.5$  mm) and a volume of  $0.0333 \pm 0.0005$

<sup>6</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

ASTM D 1557 - 02<sup>e1</sup>

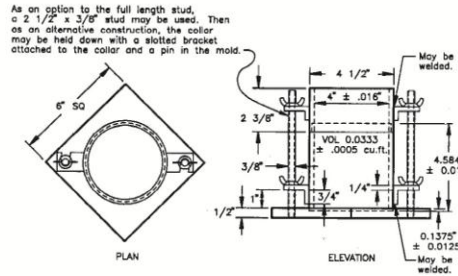


FIG. 1 Cylindrical Mold, 4.0-in.

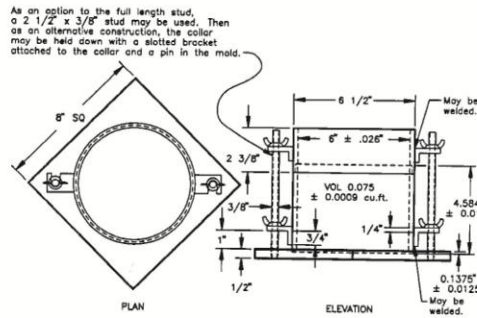


FIG. 2 Cylindrical Mold, 6.0-in.

ft<sup>3</sup> (944 ± 14 cm<sup>3</sup>). A mold assembly having the minimum required features is shown in Fig. 1.

6.1.2 *Mold, 6 in.*—A mold having a 6.000 ± 0.026 in. (152.4 ± 0.7 mm) average inside diameter, a height of 4.584 ± 0.018 in. (116.4 ± 0.5 mm), and a volume of 0.075 ± 0.0009 ft<sup>3</sup> (2124 ± 25 cm<sup>3</sup>). A mold assembly having the minimum required features is shown in Fig. 2.

6.2 *Rammer*—A rammer, either manually operated as described further in 6.2.1 or mechanically operated as described in 6.2.2. The rammer shall fall freely through a distance of 18 ± 0.05 in. (457.2 ± 1.3 mm) from the surface of the specimen. The mass of the rammer shall be 10 ± 0.02 lbm (4.54 ± 0.01 kg), except that the mass of the mechanical rammers may be adjusted as described in Test Methods D 2168 (see Note 7). The striking face of the rammer shall be planar and circular, except as noted in 6.2.2.1, with a diameter when new of 2.000 ± 0.005 in. (50.80 ± 0.13 mm). The rammer shall be replaced if the striking face becomes worn or bellied to the extent that the diameter exceeds 2.000 ± 0.01 in. (50.80 ± 0.25 mm).

NOTE 7—It is a common and acceptable practice in the inch-pound system to assume that the mass of the rammer is equal to its mass determined using either a kilogram or pound balance and 1 lbf is equal to 1 lbm or 0.4536 kg or 1 N is equal to 0.2248 lbf or 0.1020 kg.

6.2.1 *Manual Rammer*—The rammer shall be equipped with a guide sleeve that has sufficient clearance that the free

fall of the rammer shaft and head is not restricted. The guide sleeve shall have at least four vent holes at each end (eight holes total) located with centers 3/4 ± 1/16 in. (19.0 ± 1.6 mm) from each end and spaced 90° apart. The minimum diameter of the vent holes shall be 3/8 in. (9.5 mm). Additional holes or slots may be incorporated in the guide sleeve.

6.2.2 *Mechanical Rammer-Circular Face*—The rammer shall operate mechanically in such a manner as to provide uniform and complete coverage of the specimen surface. There shall be 0.10 ± 0.03-in. (2.5 ± 0.8-mm) clearance between the rammer and the inside surface of the mold at its smallest diameter. The mechanical rammer shall meet the calibration requirements of Test Methods D 2168. The mechanical rammer shall be equipped with a positive mechanical means to support the rammer when not in operation.

6.2.2.1 *Mechanical Rammer-Sector Face*—When used with the 6.0-in. (152.4-mm) mold, a sector face rammer may be used in place of the circular face rammer. The specimen contact face shall have the shape of a sector of a circle of radius equal to 2.90 ± 0.02 in. (73.7 ± 0.5 mm). The rammer shall operate in such a manner that the vertex of the sector is positioned at the center of the specimen.

6.3 *Sample Extruder (optional)*—A jack, frame or other device adapted for the purpose of extruding compacted specimens from the mold.

6.4 *Balance*—A class GP5 balance meeting the requirements of Specification D 4753 for a balance of 1-g readability.

6.5 *Drying Oven*—Thermostatically controlled, preferably of a forced-draft type and capable of maintaining a uniform temperature of 230 ± 9°F (110 ± 5°C) throughout the drying chamber.

6.6 *Straightedge*—A stiff metal straightedge of any convenient length but not less than 10 in. (254 mm). The total length of the straightedge shall be machined straight to a tolerance of ±0.005 in. (±0.1 mm). The scraping edge shall be beveled if it is thicker than 1/8 in. (3 mm).

6.7 *Sieves*—3/4 in. (19.0 mm), 3/8 in. (9.5 mm), and No. 4 (4.75 mm), conforming to the requirements of Specification E 11.

6.8 *Mixing Tools*—Miscellaneous tools such as mixing pan, spoon, trowel, spatula, spray bottle, etc., or a suitable mechanical device for thoroughly mixing the sample of soil with increments of water.

## 7. Calibration

7.1 Perform calibrations before initial use, after repairs or other occurrences that might affect the test results, at intervals not exceeding 1000 test specimens, or annually, whichever occurs first, for the following apparatus:

7.1.1 *Balance*—Evaluate in accordance with Specification D 4753.

7.1.2 *Molds*—Determine the volume as described in Annex A1.

7.1.3 *Manual Rammer*—Verify the free fall distance, rammer mass, and rammer face in accordance with 6.2. Verify the guide sleeve requirements in accordance with 6.2.1.

7.1.4 *Mechanical Rammer*—Calibrate and adjust the mechanical rammer in accordance with Test Methods D 2168. In addition, the clearance between the rammer and the inside surface of the mold shall be verified in accordance with 6.2.2.

## 8. Test Sample

8.1 The required sample mass for Methods A and B is approximately 35 lbm (16 kg), and for Method C is approximately 65 lbm (29 kg) of dry soil. Therefore, the field sample should have a moist mass of at least 50 lbm (23 kg) and 100 lbm (45 kg), respectively.

8.2 Determine the percentage of material (by mass) retained on the No. 4 (4.75-mm), 3/8-in. (9.5-mm), or 3/4-in. (19.0-mm) sieve as appropriate for choosing Method A, B, or C. Make this determination by separating out a representative portion from the total sample and determining the percentages passing the sieves of interest by Test Methods D 422 or C 136. It is only necessary to calculate percentages for the sieve or sieves for which information is desired.

## 9. Preparation of Apparatus

9.1 Select the proper compaction mold in accordance with the Method (A, B, or C) being used. Determine and record its mass to the nearest gram. Assemble the mold, base and extension collar. Check the alignment of the inner wall of the mold and mold extension collar. Adjust if necessary.

9.2 Check that the rammer assembly is in good working condition and that parts are not loose or worn. Make any

necessary adjustments or repairs. If adjustments or repairs are made, the rammer must be recalibrated.

## 10. Procedure

### 10.1 Soils:

10.1.1 Do not reuse soil that has been previously compacted in the laboratory.

10.1.2 When using this test method for soils containing hydrated halloysite, or where past experience with a particular soil indicates that results will be altered by air drying, use the moist preparation method (see 10.2).

10.1.3 Prepare the soil specimens for testing in accordance with 10.2 (preferred) or with 10.3.

10.2 *Moist Preparation Method (preferred)*—Without previously drying the sample, pass it through a No. 4 (4.75-mm), 3/8-in. (9.5-mm), or 3/4-in. (19.0-mm) sieve, depending on the Method (A, B, or C) being used. Determine the water content of the processed soil.

10.2.1 Prepare at least four (preferably five) specimens having water contents such that they bracket the estimated optimum water content. A specimen having a water content close to optimum should be prepared first by trial additions of water and mixing (see Note 8). Select water contents for the rest of the specimens to provide at least two specimens wet and two specimens dry of optimum, and water contents varying by about 2 %. At least two water contents are necessary on the wet and dry side of optimum to accurately define the dry unit weight compaction curve (see 10.5). Some soils with very high optimum water content or a relatively flat compaction curve may require larger water content increments to obtain a well defined maximum dry unit weight. Water content increments should not exceed 4 %.

NOTE 8—With practice it is usually possible to visually judge a point near optimum water content. Typically, soil at optimum water content can be squeezed into a lump that sticks together when hand pressure is released, but will break cleanly into two sections when “bent”. At water contents dry of optimum soils tend to crumble; wet of optimum soils tend to stick together in a sticky cohesive mass. Optimum water content is typically slightly less than the plastic limit.

10.2.2 Use approximately 5 lbm (2.3 kg) of the sieved soil for each specimen to be compacted using Method A or B, or 13 lbm (5.9 kg) using Method C. To obtain the specimen water contents selected in 10.2.1, add or remove the required amounts of water as follows: to add water, spray it into the soil during mixing; to remove water, allow the soil to dry in air at ambient temperature or in a drying apparatus such that the temperature of the sample does not exceed 140°F (60°C). Mix the soil frequently during drying to maintain even water content distribution. Thoroughly mix each specimen to ensure even distribution of water throughout and then place in a separate covered container and allow to stand in accordance with Table 1 prior to compaction. For the purpose of selecting

TABLE 1 Required Standing Times of Moisturized Specimens

Classification	Minimum Standing Time, h
GW, GP, SW, SP	no requirement
GM, SM	3
All other soils	16

a standing time, the soil may be classified by Test Method D 2487, Practice D 2488 or data on other samples from the same material source. For referee testing, classification shall be by Test Method D 2487.

10.3 *Dry Preparation Method*—If the sample is too damp to be friable, reduce the water content by air drying until the material is friable. Drying may be in air or by the use of drying apparatus such that the temperature of the sample does not exceed 140°F (60°C). Thoroughly break up the aggregations in such a manner as to avoid breaking individual particles. Pass the material through the appropriate sieve: No. 4 (4.75 mm), 3/8 in. (9.5 mm), or 3/4 in. (19.0–mm). When preparing the material by passing over the 3/4-in. sieve for compaction in the 6 in.-mold, break up aggregations sufficiently to at least pass the 3/8 in. sieve in order to facilitate the distribution of water throughout the soil in later mixing.

10.3.1 Prepare at least four (preferably five) specimens in accordance with 10.2.1.

10.3.2 Use approximately 5 lbm (2.3 kg) of the sieved soil for each specimen to be compacted using Procedure A or B, or 13 lbm (5.9 kg) using Method C. Add the required amounts of water to bring the water contents of the specimens to the values selected in 10.3.1. Follow the specimen preparation procedure specified in 10.2.2 for drying the soil or adding water into the soil and curing each test specimen.

10.4 *Compaction*—After curing, if required, each specimen shall be compacted as follows:

10.4.1 Determine and record the mass of the mold or mold and base plate.

10.4.2 Assemble and secure the mold and collar to the base plate. The mold shall rest on a uniform rigid foundation, such as provided by a cylinder or cube of concrete with a mass of not less than 200 lbm (91 kg). Secure the base plate to the rigid foundation. The method of attachment to the rigid foundation shall allow easy removal of the assembled mold, collar and base plate after compaction is completed.

10.4.3 Compact the specimen in five layers. After compaction, each layer should be approximately equal in thickness.

Prior to compaction, place the loose soil into the mold and spread into a layer of uniform thickness. Lightly tamp the soil prior to compaction until it is not in a fluffy or loose state, using either the manual compaction rammer or a 2 in. (50.8-mm) diameter cylinder. Following compaction of each of the first four layers, any soil adjacent to the mold walls that has not been compacted or extends above the compacted surface shall be trimmed. The trimmed soil may be included with the additional soil for the next layer. A knife or other suitable device may be used. The total amount of soil used shall be such that the fifth compacted layer slightly extends into the collar, but does not exceed 1/4 in. (6 mm) above the top of the mold. If the fifth layer does extend above the top of the mold by more than 1/4 in. (6 mm), the specimen shall be discarded. The specimen shall be discarded when the last blow on the rammer for the fifth layer results in the bottom of the rammer extending below the top of the compaction mold.

10.4.4 Compact each layer with 25 blows for the 4 in. (101.6 mm) mold or with 56 blows for the 6 in. (152.4 mm) mold.

NOTE 9—When compacting specimens wetter than optimum water content, uneven compacted surfaces can occur and operator judgment is required as to the average height of the specimen.

10.4.5 In operating the manual rammer, take care to avoid lifting the guide sleeve during the rammer upstroke. Hold the guide sleeve steady and within 5° of vertical. Apply the blows at a uniform rate of approximately 25 blows/min and in such a manner as to provide complete, uniform coverage of the specimen surface.

10.4.6 Following compaction of the last layer, remove the collar and base plate from the mold, except as noted in 10.4.7. A knife may be used to trim the soil adjacent to the collar to loosen the soil from the collar before removal to avoid disrupting the soil below the top of the mold.

10.4.7 Carefully trim the compacted specimen even with the top and bottom of the mold by means of the straightedge scraped across the top and bottom of the mold to form a plane surface even with the top and bottom of the mold. Initial trimming of the specimen above the top of the mold with a knife may prevent tearing out soil below the top of the mold. Fill any holes in either surface with unused or trimmed soil from the specimen, press in with the fingers, and again scrape the straightedge across the top and bottom of the mold. Repeat the appropriate preceding operations on the bottom of the specimen when the mold volume was determined without the base plate. For very wet or dry soils, soil or water may be lost if the base plate is removed. For these situations, leave the base plate attached to the mold. When the base plate is left attached, the volume of the mold must be calibrated with the base plate attached to the mold rather than a plastic or glass plate as noted in Annex A1 (A1.4.1).

10.4.8 Determine and record the mass of the specimen and mold to the nearest gram. When the base plate is left attached, determine and record the mass of the specimen, mold and base plate to the nearest gram.

10.4.9 Remove the material from the mold. Obtain a specimen for water content by using either the whole specimen (preferred method) or a representative portion. When the entire

**TABLE 2 Metric Equivalents for Figs. 1 and 2**

in.	mm
0.016	0.41
0.026	0.66
0.032	0.81
0.028	0.71
1/2	12.70
2 1/2	63.50
2 3/4	66.70
4	101.60
4 1/2	114.30
4.584	116.43
4 3/4	120.60
6	152.40
6 1/2	165.10
6 3/4	168.30
6 3/4	171.40
8 1/4	208.60
ft <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
1/50 (0.0333)	943
0.0005	14
1/3,333 (0.0750)	2,124
0.0011	31

specimen is used, break it up to facilitate drying. Otherwise, obtain a portion by slicing the compacted specimen axially through the center and removing about 500 g of material from the cut faces. Obtain the water content in accordance with Test Method D 2216.

10.5 Following compaction of the last specimen, compare the wet unit weights to ensure that a desired pattern of obtaining data on each side of the optimum water content will be attained for the dry unit weight compaction curve. Plotting the wet unit weight and water content of each compacted specimen can be an aid in making the above evaluation. If the desired pattern is not obtained, additional compacted specimens will be required. Generally, one water content value wet of the water content defining the maximum wet unit weight is sufficient to ensure data on the wet side of optimum water content for the maximum dry unit weight.

**11. Calculation**

11.1 Calculate the dry unit weight and water content of each compacted specimen as explained in 11.3 and 11.4. Plot the values and draw the compaction curve as a smooth curve through the points (see example, Fig. 3). Plot dry unit weight to the nearest 0.1 lbf/ft<sup>3</sup> (0.2 kN/m<sup>3</sup>) and water content to the nearest 0.1%. From the compaction curve, determine the optimum water content and maximum dry unit weight. If more than 5% by weight of oversize material was removed from the sample, calculate the corrected optimum water content and corrected maximum dry unit weight of the total material using Practice D 4718. This correction may be made to the appropriate field in place density test specimen rather than to the laboratory test specimen.

11.2 Plot the 100% saturation curve. Values of water content for the condition of 100% saturation can be calculated as explained in 11.5 (see example, Fig. 3).

NOTE 10—The 100% saturation curve is an aid in drawing the compaction curve. For soils containing more than approximately 10% fines at water contents well above optimum, the two curves generally become roughly parallel with the wet side of the compaction curve between 92% to 95% saturation. Theoretically, the compaction curve cannot plot to the right of the 100% saturation curve. If it does, there is an error in specific gravity, in measurements, in calculations, in testing, or in plotting.

NOTE 11—The 100% saturation curve is sometimes referred to as the zero air voids curve or the complete saturation curve.

11.3 *Water Content, w*—Calculate in accordance with Test Method D 2216.

11.4 *Dry Unit Weights*—Calculate the moist density (Eq 1), the dry density (Eq 2), and then the dry unit weight (Eq 3) as follows:

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000 V} \tag{1}$$

where:

- $\rho_m$  = moist density of compacted specimen, Mg/m<sup>3</sup>,
- $M_t$  = mass of moist specimen and mold, kg,
- $M_{md}$  = mass of compaction mold, kg, and
- $V$  = volume of compaction mold, m<sup>3</sup>(see Annex A1).

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \tag{2}$$

where:

- $\rho_d$  = dry density of compacted specimen, Mg/m<sup>3</sup>, and

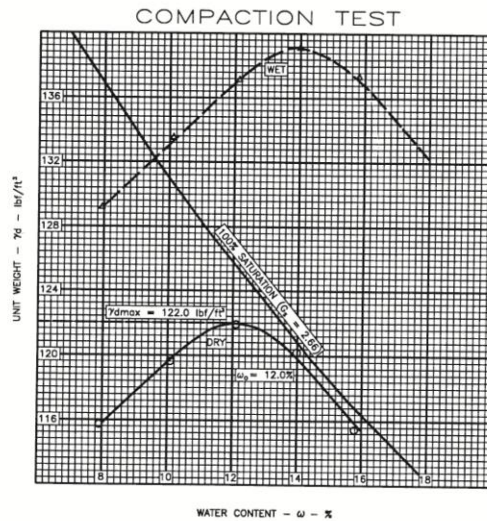


FIG. 3 Example Compaction Curve Plotting

## D 1557 – 02<sup>e1</sup>

$w$  = water content, % .

$$\begin{aligned} \gamma_d &= 62.43 \rho_d \text{ in lbf/ft}^3 & (3) \\ \text{or} \\ \gamma_d &= 9.807 \rho_d \text{ in kN/m}^3 \end{aligned}$$

where:

$\gamma_d$  = dry unit weight of compacted specimen.

11.5 To calculate points for plotting the 100 % saturation curve or zero air voids curve select values of dry unit weight, calculate corresponding values of water content corresponding to the condition of 100 % saturation as follows:

$$w_{\text{sat}} = \frac{(\gamma_w)G_s - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

where:

$w_{\text{sat}}$  = water content for complete saturation, %.

$\gamma_w$  = unit weight of water, 62.32 lbf/ft<sup>3</sup> (9.789 kN/m<sup>3</sup>) at 20°C.

$\gamma_d$  = dry unit weight of soil, lbf/ft (kN/m<sup>3</sup>), and

$G_s$  = specific gravity of soil.

NOTE 12—Specific gravity may be estimated for the test specimen on the basis of test data from other samples of the same soil classification and source. Otherwise, a specific gravity test (Test Method D 854) is necessary.

### 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Method used (A, B, or C).

12.1.2 Preparation method used (moist or dry).

12.1.3 As-received water content, if determined.

12.1.4 Modified optimum water content, to the nearest 0.5 %.

12.1.5 Modified maximum (optimum) dry unit weight, to the nearest 0.5 lbf/ft<sup>3</sup>.

12.1.6 Description of rammer (manual or mechanical).

12.1.7 Soil sieve data when applicable for determination of Method (A, B, or C) used.

12.1.8 Description of material used in test, by Practice D 2488, or classification by Test Method D 2487.

12.1.9 Specific gravity and method of determination.

12.1.10 Origin of material used in test, for example, project, location, depth, and the like.

12.1.11 Compaction curve plot showing compaction points used to establish compaction curve, and 100 % saturation curve, point of maximum dry unit weight and optimum water content.

12.1.12 Oversize correction data if used, including the oversize fraction (coarse fraction),  $P_c$  in %.

### 13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—Data are being evaluated to determine the precision of this test method. In addition, pertinent data is being solicited from users of the test method.

13.2 *Bias*—It is not possible to obtain information on bias because there is no other method of determining the values of modified maximum dry unit weight and optimum water content.

### 14. Keywords

14.1 compaction characteristics; density; impact compaction using modified effort; laboratory tests; modified proctor test; moisture-density curves; soil compaction

## ANNEX

### (Mandatory Information)

#### A1. VOLUME OF COMPACTION MOLD

##### A1.1 Scope

A1.1.1 This annex describes the method for determining the volume of a compaction mold.

A1.1.2 The volume is determined by a water-filled method and checked by a linear-measurement method.

##### A1.2 Apparatus

A1.2.1 In addition to the apparatus listed in Section 6, the following items are required:

A1.2.1.1 *Vernier or Dial Caliper*, having a measuring range of at least 0 to 6 in. (0 to 150 mm) and readable to at least 0.001 in. (0.02 mm).

A1.2.1.2 *Inside Micrometer*, having a measuring range of at least 2 to 12 in. (50 to 300 mm) and readable to at least 0.001 in. (0.02 mm).

A1.2.1.3 *Plastic or Glass Plates*—Two plastic or glass plates about 8 in.<sup>2</sup> by ¼ in. thick (200 mm<sup>2</sup> by 6 mm).

A1.2.1.4 *Thermometer*—0 to 50°C range, 0.5°C graduations, conforming to the requirements of Specification E 1.

A1.2.1.5 *Stopcock Grease* or similar sealant.

A1.2.1.6 *Miscellaneous equipment*—Bulb syringe, towels, etc.

##### A1.3 Precautions

A1.3.1 Perform this method in an area isolated from drafts or extreme temperature fluctuations.

##### A1.4 Procedure

A1.4.1 *Water-Filling Method*:

A1.4.1.1 Lightly grease the bottom of the compaction mold and place it on one of the plastic or glass plates. Lightly grease the top of the mold. Be careful not to get grease on the inside of the mold. If it is necessary to use the base plate, as noted in 10.4.7, place the greased mold onto the base plate and secure with the locking studs.

A1.4.1.2 Determine the mass of the greased mold and both plastic or glass plates to the nearest 0.01 lbm (1 g) and record. When the base plate is being used in lieu of the bottom plastic

or glass plate determine the mass of the mold, base plate and a single plastic or glass plate to be used on top of the mold to the nearest 0.01 lbm (1 g) and record.

A1.4.1.3 Place the mold and the bottom plate on a firm, level surface and fill the mold with water to slightly above its rim.

A1.4.1.4 Slide the second plate over the top surface of the mold so that the mold remains completely filled with water and air bubbles are not entrapped. Add or remove water as necessary with a bulb syringe.

A1.4.1.5 Completely dry any excess water from the outside of the mold and plates.

A1.4.1.6 Determine the mass of the mold, plates and water and record to the nearest 0.01 lbm (1 g).

A1.4.1.7 Determine the temperature of the water in the mold to the nearest 1°C and record. Determine and record the absolute density of water from Table A1.1.

A1.4.1.8 Calculate the mass of water in the mold by subtracting the mass determined in A1.4.1.2 from the mass determined in A1.4.1.6.

A1.4.1.9 Calculate the volume of water by dividing the mass of water by the density of water and record to the nearest 0.0001 ft<sup>3</sup> (1 cm<sup>3</sup>).

A1.4.1.10 When the base plate is used for the calibration of the mold volume repeat steps A1.4.1.3-A1.4.1.9.

A1.4.2 *Linear Measurement Method:*

A1.4.2.1 Using either the vernier caliper or the inside micrometer, measure the diameter of the mold six times at the

top of the mold and six times at the bottom of the mold spacing each of the six top and bottom measurements equally around the circumference of the mold. Record the values to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

A1.4.2.2 Using the vernier caliper, measure the inside height of the mold by making three measurements equally spaced around the circumference of the mold. Record values to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

A1.4.2.3 Calculate the average top diameter, average bottom diameter and average height.

A1.4.2.4 Calculate the volume of the mold and record to the nearest 0.0001 ft<sup>3</sup> (1 cm<sup>3</sup>) using Eq A1.1 (for inch-pound) or Eq A1.2 (for SI):

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(1728)} \tag{A1.1}$$

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(10^3)} \tag{A1.2}$$

where:

- $V$  = volume of mold, ft<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>),
- $h$  = average height, in. (mm),
- $d_t$  = average top diameter, in. (mm),
- $d_b$  = average bottom diameter, in. (mm),
- $\sqrt[3]{1728}$  = constant to convert in<sup>3</sup> to ft<sup>3</sup>, and
- $\sqrt[3]{1000}$  = constant to convert mm<sup>3</sup> to cm<sup>3</sup>.

**A1.5 Comparison of Results**

A1.5.1 The volume obtained by either method should be within the volume tolerance requirements of 6.1.1 and 6.1.2.

A1.5.2 The difference between the two methods should not exceed 0.5 % of the nominal volume of the mold.

A1.5.3 Repeat the determination of volume if these criteria are not met.

A1.5.4 Failure to obtain satisfactory agreement between the two methods, even after several trials, is an indication that the mold is badly deformed and should be replaced.

A1.5.5 Use the volume of the mold determined using the water-filling method as the assigned volume value for calculating the moist and dry density (see 11.4).

**TABLE A1.1 Density of Water<sup>A</sup>**

Temperature, °C (°F)	Density of Water, g/mL or g/cm <sup>3</sup>
18 (64.4)	0.99860
19 (66.2)	0.99841
20 (68.0)	0.99821
21 (69.8)	0.99799
22 (71.6)	0.99777
23 (73.4)	0.99754
24 (75.2)	0.99730
25 (77.0)	0.99705
26 (78.8)	0.99679

<sup>A</sup>Values other than shown may be obtained (5).

**REFERENCES**

- (1) *Earth Manual*, United States Bureau of Reclamation, Part 1, Third Edition, 1998, pp. 255-260.
- (2) *Earth Manual*, United States Bureau of Reclamation, Part 2, Third Edition, 1990.
- (3) Torrey, V.H., and Donaghe, R.T., "Compaction Control of Earth-Rock Mixtures: A New Approach," *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol 17, No 3, September 1994, pp. 371-386.
- (4) Johnson, A.W., and Sallberg, J.R., *Factors Influencing Compaction Test Results*, Highway Research Board, Bulletin 318, Publication 967, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, DC, 1962, p. 73.
- (5) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, David R. Lide, Editor-in-Chief, 74<sup>th</sup> Edition, 1993-1994



## SUMMARY OF CHANGES

In accordance with Committee D18 policy, this section identifies the location of changes to this standard since the last edition (2000) that may impact the use of this standard.

- (1) Added Practice D 3740 to Referenced Documents. (3) Revised the numbering of existing notes.  
(2) Added a new note on the use of Practice D 3740 to Section 5. (4) In Section 6.2 changed the SI tolerance for the height of drop of the rammer.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



**ANEXO 7:**

**ASTM D 1633: STANDARD TEST METHODS FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF MOLDED  
SOIL-CEMENT CYLINDERS.**

## Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 1633; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope \*

1.1 This test method covers the determination of the compressive strength of soil-cement using molded cylinders as test specimens.

1.2 Two alternative procedures are provided as follows:

1.2.1 *Method A*—This procedure uses a test specimen 4.0 in. (101.6 mm) in diameter and 4.584 in. (116.4 mm) in height. Height to diameter ratio equals 1.15. This test method made be used only on materials with 30 % or less retained on the  $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve. See Note 3.

1.2.2 *Method B*—This procedure uses a test specimen 2.8 in. (71.1 mm) in diameter and 5.6 in. (142.2 mm) in height. Height to diameter ratio equals 2.00. This test method is applicable to those materials that pass the No. 4 (4.75-mm) sieve.

1.3 All observed and calculated values shall conform to the guidelines for significant digits and rounding established in Practice D 6026.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard, except as noted in 1.4.1-1.4.3. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units, and are provided for information only and are not considered standard.

1.4.1 The gravitational system of inch-pound units is used when dealing with inch-pound units. In this system, the pound (lbf) represents a unit of force (weight), while the unit for mass is slugs.

1.4.2 The slug unit of mass is almost never used in commercial practice (density, scales, balances, etc.). Therefore, the standard unit for mass in this standard is either kilogram (kg) or gram (g), or both. Also, the equivalent inch-pound unit (slug) is not given.

1.4.3 It is common practice in the engineering/construction profession in the United States to use concurrently pounds to represent both a unit of mass (lbm) and of force (lbf). This use combines two separate system of units, the absolute system and the gravitational system. It is scientifically undesirable to combine the use of two separate sets of inch-pound units within a single standard. As stated in 1.4.2, this standard uses the

gravitational system and does not present the slug unit for mass. However, the use of scales or balances recording pounds of mass (lbm) or the recording of density in lbm/ft<sup>3</sup> shall not be regarded as nonconformance with this standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 42 Test Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete<sup>2</sup>

D 559 Test Methods for Wetting-and-Drying Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures<sup>3</sup>

D 560 Test Methods for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures<sup>3</sup>

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids<sup>3</sup>

D 1632 Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory<sup>3</sup>

D 2216 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass<sup>3</sup>

D 3740 Practice for the Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock Used in Engineering Design and Construction<sup>3</sup>

D 4753 Specification for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Soil, Rock, and Construction Material Testing<sup>3</sup>

D 6026 Practice for Using Significant Digits in Calculating and Reporting Geotechnical Test Data<sup>4</sup>

E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines<sup>5</sup>

### 3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology D 653.

### 4. Significance and Use

4.1 Method A makes use of the same compaction equipment

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization with Admixtures.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 1633 – 59 T. Last previous edition D 1633 – 96.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.09.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

## D 1633

and molds commonly available in soil laboratories and used for other soil-cement tests. It is considered that Method A gives a relative measure of strength rather than a rigorous determination of compressive strength. Because of the lesser height to diameter ratio (1.15) of the cylinders, the compressive strength determined by Method A will normally be greater than that for Method B.

4.2 Method B, because of the greater height to diameter ratio (2.00), gives a better measure of compressive strength from a technical viewpoint since it reduces complex stress conditions that may occur during the shearing of Method A specimens.

4.3 In practice, Method A has been more commonly used than Method B. As a result, it has been customary to evaluate or specify compressive strength values as determined by Method A. A factor for converting compressive strength values based on height to diameter ratio is given in Section 8.<sup>6</sup>

**NOTE 1**—The agency performing this test method can be evaluated in accordance with Practice D 3740. Notwithstanding statements on precision and bias contained in this test method: the precision of this test method is dependent on the competence of the personnel performing it and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing. Users of this test method are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not, in itself, ensure reliable testing. Reliable testing depends on many factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of these factors.

### 5. Apparatus

5.1 *Compression Testing Machine*—This machine may be of any type having sufficient capacity and control to provide the rate of loading prescribed in 7.2. It shall conform to the requirements of Section 15 of Practices E 4. The testing machine shall be equipped with two steel bearing blocks with hardened faces (Note 2), one of which is a spherically seated head block that normally will bear on the upper surface of the specimen, and the other a plain rigid block on which the specimen will rest. The bearing faces shall be at least as large, and preferably slightly larger, than the surface of the specimen to which the load is applied. The bearing faces, when new, shall not depart from a plane by more than 0.0005 in. (0.013 mm) at any point, and they shall be maintained within a permissible variation limit of 0.001 in. (0.02 mm). In the spherically seated block, the diameter of the sphere shall not greatly exceed the diameter of the specimen and the center of the sphere shall coincide with the center of the bearing face. The movable portion of this block shall be held closely in the spherical seat, but the design shall be such that the bearing face can be rotated freely and tilted through small angles in any direction.

**NOTE 2**—It is desirable that the bearing faces of blocks used for compression testing of soil-cement have a hardness of not less than 60 HRC.

5.2 *Molds and Compaction Equipment*, in accordance with Test Methods D 559 or D 560 for Method A; Practice D 1632 for Method B.

<sup>6</sup> For additional discussion on the significance and use of compressive strength results, see the *Soil-Cement Laboratory Handbook*, Chapter 4, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1971, pp 31 and 32.

### 6. Test Specimens

6.1 Mold the test specimens as follows:

6.1.1 *Method A*—Specimens are 4.0 in. (101.6 mm) in diameter and 4.584 in. (116.4 mm) in height and are molded in accordance with Test Methods D 559 or D 560.

6.1.2 *Method B*—Specimens are 2.8 in. (71.1 mm) in diameter and 5.6 in. (142.2 mm) in height and are molded in accordance with Practice D 1632.

**NOTE 3**—These methods may be used for testing specimens of other sizes. If the soil sample includes material retained on the 4.75-mm (No. 4) sieve, it is recommended that Method A be used, or that larger test specimens, 4.0 in. (101.6 mm) in diameter and 8.0 in. (203.2 mm) in height, be molded in a manner similar to Method B.

6.2 Moist cure the specimens in accordance with Practice D 1632.

6.3 At the end of the moist-cure period, immerse the specimens in water for 4 h.

6.4 Remove the specimens from the water and make compression tests as soon as practicable, keeping specimens moist by a wet burlap or blanket covering.

**NOTE 4**—Other conditioning procedures, such as air or oven drying, alternate wetting and drying, or alternate freezing and thawing may be specified after an initial moist curing period. Curing and conditioning procedures shall be given in detail in the report.

6.5 Check the smoothness of the faces with a straightedge. If necessary, cap the faces to meet the requirements of the section on Capping Specimens of Practice D 1632.

### 7. Procedure

7.1 Place the lower bearing block on the table or platen of the testing machine directly under the spherically seated (upper) bearing block. Place the specimen on the lower bearing block, making certain that the vertical axis of the specimen is aligned with the center of thrust of the spherically seated block. As this block is brought to bear on the specimen, rotate its movable portion gently by hand so that uniform seating is obtained.

7.2 Apply the load continuously and without shock. A screw power testing machine, with the moving head operating at approximately 0.05 in. (1 mm)/min when the machine is running idle, may be used. With hydraulic machines, adjust the loading to a constant rate within the limits of  $20 \pm 10$  psi ( $140 \pm 70$  kPa)/s, depending upon the strength of the specimen. Record the total load at failure of the test specimen to the nearest 10 lbf (40 N).

### 8. Calculation

8.1 Calculate the unit compressive strength of the specimen by dividing the maximum load by the cross-sectional area.

**NOTE 5**—If desired, make allowance for the ratio of height to diameter (h/d) by multiplying the compressive strength of Method B specimens by the factor 1.10. This converts the strength for an h/d ratio of 2.00 to that for the h/d ratio of 1.15 commonly used in routine testing of soil-cement (see Section 4). This conversion is based on that given in Method C 42, which has been found applicable for soil-cement.

### 9. Report

9.1 The report shall include the following:

## D 1633

- 9.1.1 Specimen identification number,
- 9.1.2 Diameter and height, in. (mm),
- 9.1.3 Cross-sectional areas, in.<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>),
- 9.1.4 Maximum load, to the nearest 10 lbf (40 N),
- 9.1.5 Conversion factor for height to diameter ratio (see Note 4), if used,
- 9.1.6 Compressive strength, calculated to the nearest 5 psi (35 kPa),
- 9.1.7 Age of specimen, and
- 9.1.8 Details of curing and conditioning periods, and water content in accordance with Test Method D 2216 at the time of test.

### 10. Precision and Bias

10.1 The precision and bias of this test method have not been established by an interlaboratory test program. However, based on the test data that are available, the following may serve as a guide as to the variability of compressive strength test results.

10.1.1 Tests were performed in a single lab on 122 sets of duplicate specimens molded from 21 different soil materials. The average difference in strength on duplicate specimens was 8.1% and the median difference was 6.2%. These values are expressed as the percent of the average strength of the two specimens as follows:

$$\% \text{ Difference} = \frac{(\text{high value} - \text{low value})}{(\text{high value} + \text{low value})/2} \times 100 \quad (1)$$

The distribution of the variation is shown in Fig. 1. The data<sup>7,8</sup> cover a wide range of cement contents and compressive strengths.

### 11. Keywords

11.1 compressive strength; soil-cement; soil stabilization

<sup>7</sup> Packard, R. G., "Alternate Measures for Measuring Freeze-Thaw and Wet-Dry Resistance of Soil-Cement Mixtures," *Highway Research Bulletin*, 353, Transportation Research Board, 1962, pp 8-41.

<sup>8</sup> Packard, R. G., and Chapman, G. A., "Developments in Durability Testing of Soil-Cement Mixtures," Highway Research Record No. 36, Transportation Research Board, 1963, pp 97-122.

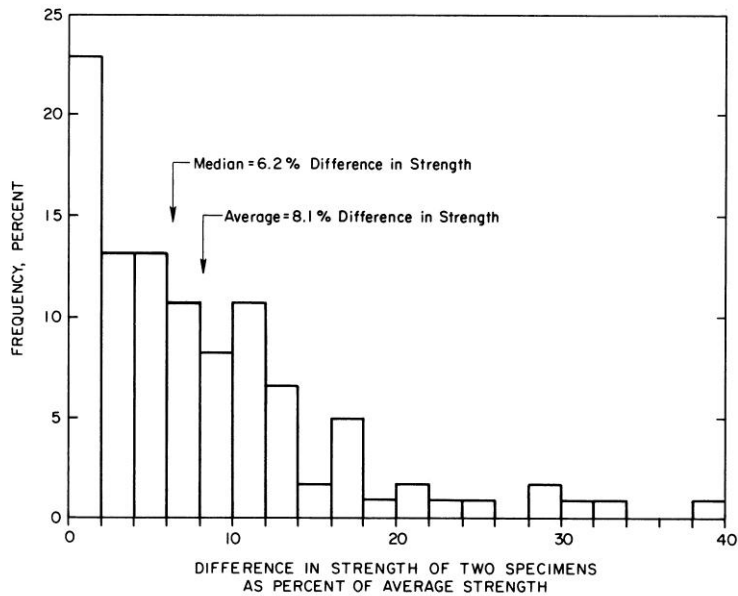


FIG. 1 Distribution of Variation of Test Results for 122 Sets of Duplicate Specimens

 D 1633

SUMMARY OF CHANGES

In accordance with Committee D18 policy, this section identifies the location of changes to this standard since the last edition (1996) that may impact the use of this standard.

- (1) Changed title to clarify that two methods are presented.
- (2) Added new sentence at the end of 1.2.1 to identify applicable materials.
- (3) Added a new sentence at the end of 1.2.2 to identify applicable materials.
- (4) Added new 1.3 to reference Practice D 6026.
- (5) Revised 1.4 to clarify units used in the test method.
- (6) Added Terminology D 653, Test Method D 2216, Specification D 4753, and Practice D 6026 to Section 2, Referenced Documents.
- (7) Added new footnote 4 to reference *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.09 and renumbered the remaining footnotes.
- (8) Added new Section 3 on Terminology. Renumbered remaining sections.
- (9) Added reference to Test Method D 2216 in 9.1.8.
- (10) Changed “crushing” to “shearing” in 4.2.
- (11) Changed “moisture” to “water” in 9.1.8.
- (12) Prepared new Summary of Changes.

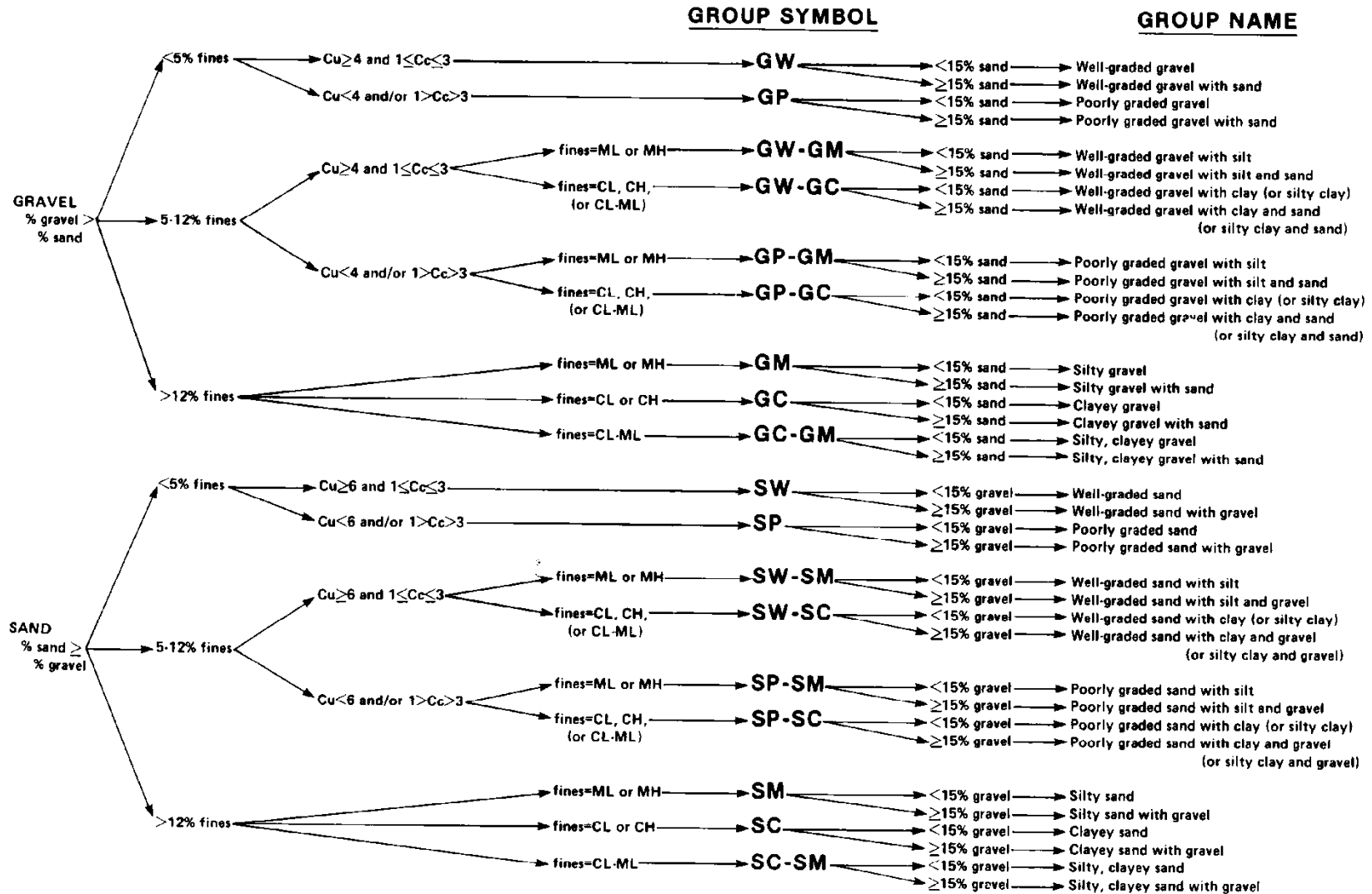
*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9685 (phone), 610-832-9655 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

**ANEXO 8:**

**FIG. 3: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANO GRUESO  
(MÁS DEL 50% RETENIDO EN TAMIZ NO. 200) (ASTM D 2487).**



FUENTE: NORMA ASTM D 248