

**DESARROLLO DE SOPORTE TECNICO E INFORMATICO PARA PRUEBAS
DE LABORATORIO DE SUELOS
LABSOF 1.0
(SOFTWARE PARA LABORATORIO DE SUELOS)**

**ARTURO ROJAS TORRES
FREDY ALEXANDER VERA GARRIDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

**DESARROLLO DE SOPORTE TECNICO E INFORMATICO PARA PRUEBAS
DE LABORATORIO DE SUELOS
LABSOF 1.0
(SOFTWARE PARA LABORATORIO DE SUELOS)**

**ARTURO ROJAS TORRES
FREDY ALEXANDER VERA GARRIDO**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Civil

**DIRECTOR
WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ
INGENIERO CIVIL- M.Sc.Geotécnia.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

DEDICATORIA

La vida está llena de sueños... y el mío era ser un profesional. A través del tiempo fui moldeando la idea a tal punto que me imaginaba en una obra... en una junta, licitando, soñaba con un casco blanco encima de mi cabeza y un plano extendido en un escritorio, pero ahora ya no será más un sueño, sino una realidad.

Dedico este proyecto a mi madre. A mis primos que se siguen preparando en sus colegios y sigan mi ejemplo. A mis compañeros que ya se graduaron. También comparto este proyecto con los estudiantes de Ingeniería Civil y profesionales para que vean en este trabajo una ayuda en las prácticas de laboratorio de suelos.

Fredy Alexander Vera Garrido



María Paula

Dios regala la vida y uno mismo escoge donde y como vivirla. Dedico este trabajo de grado a mis padres, personas que me dieron la vida, quienes con su apoyo y esfuerzo facilitaron sin interés y con responsabilidad los medios para llegar a ser ingeniero, para salir a construir en el mundo y para el mundo. A mi hija María Paula que es el motor de mi vida y a mi hermosa esposa Juvely por su apoyo e inspiración.

Arturo Rojas Torres

AGRADECIMIENTOS

A Dios doy gracias por haberme dado la vida, y con ella a un ser muy especial mi madre Ana, a la que también le agradezco, por haberme formado, cuidado y luchado sin descanso para hacer de mí un profesional y una persona con valores.

Agradezco a mi familia, a mi tía Zoila, a los profesores que tuve durante mi carrera universitaria, a mis compañeros de clase, con los cuales compartí muchas cosas.

A mi compañero de proyecto gracias, por apoyar la idea propuesta, por su compromiso, por haber creído en el trabajo de grado y con su entrega haberlo sacado adelante.

Fredy Alexander Vera Garrido

Agradezco a mi compañero “el gordito” por la confianza que depositó en mí, por su tesón y constancia; a mis amigos Diego, Andrés, Maya Y Vickter por su apoyo incondicional. También a las personas que con su enseñanza hicieron posible que tenga ahora los conocimientos necesarios para desarrollarme profesionalmente, gracias profesores Ingeniería Civil UIS.

Arturo Rojas Torres

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	I
1. LOS SUELOS	1
1.1 DEFINICION	1
1.2 PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS	2
1.3 MECANICA DE SUELOS	3
1.4 PROPIEDADES DE LOS SUELOS	3
1.5 OBTENSION DE MUESTRAS DE SUELOS	4
2. PRACTICAS DE LABORATORIO DE SUELOS	6
2.1 HUMEDAD	6
2.1.1 ¿Que es Humedad?	6
2.1.2 Normativa sobre Humedad	7

2.1.3 Equipos	7
2.1.4 Procedimiento para la determinación de la humedad	8
2.1.5 Cálculos de Humedad	10
2.2 DENSIDAD	11
2.2.1 ¿Qué es Densidad?	11
2.2.2 Normativa sobre Densidad	11
2.2.3 Equipos	11
2.2.4 Procedimiento para la determinación de la Densidad	12
2.2.5 Cálculos de Densidad	14
2.3 ANALISIS GRANULOMETRICO	15
2.3.1 Granulometría por Tamizado	15
2.3.1.1 Normativa sobre Granulometría por Tamizado	17
2.3.1.2 Equipos	18
2.3.1.3 Procedimiento de Granulometría por Tamizado	19
2.3.1.4 Cálculos para Granulometría por Tamizado	25
2.3.1.5 Informe de ensayo de Granulometría por Tamizado	27
2.3.2 Granulometría por Hidrómetro	28
2.3.2.1 Normativa sobre Granulometría por Hidrómetro	29
2.3.2.2 Equipos	29
2.3.2.3 Procedimiento para Granulometría por Hidrómetro	31

2.3.2.4 Cálculos para Granulometría por Hidrómetro	33
2.3.2.5 Informe de Granulometría por Hidrómetro	37
2.4 LIMITES DE ATTERBERG	38
2.4.1 Limite Líquido	38
2.4.1.1 Normativa sobre Límite Líquido	39
2.4.1.2 Equipos	39
2.4.1.3 Procedimiento para la determinación de L. Líquido	41
2.4.1.4 Cálculos requeridos para Limite Líquido	46
2.4.1.5 Informe de laboratorio de Limite Líquido	48
2.4.2 Limite Plástico	49
2.4.2.1 Normativa sobre Limite Plástico	49
2.4.2.2 Equipos	49
2.4.2.3 Procedimiento de Limite Plástico	51
2.4.2.4 Cálculos de Limite Plástico	55
2.4.2.5 Informe de Limite Plástico	56
2.4.3 Limite de Contracción	57
2.4.3.1 Normativa sobre Límite de Contracción	57
2.4.3.2 Equipos	57
2.4.3.3 Procedimiento de Límite de Contracción	59
2.4.3.4 Cálculos de Límite de Contracción	60
2.4.3.5 Informe Límite de Contracción	63

2.5 CORTE DIRECTO	65
2.5.1 Teoría de laboratorio de Corte Directo	65
2.5.2 Normativa sobre Corte Directo	66
2.5.3 Equipos	66
2.5.4 Procedimiento de Corte Directo	68
2.5.5 Cálculos de Corte Directo	75
2.5.6 Informe de laboratorio de Corte Directo	78
2.6 COMPRESION SIMPLE	80
2.6.1 Teoría de Compresión Simple	80
2.6.2 Normativa sobre Compresión Simple	81
2.6.3 Equipos	81
2.6.4 Procedimiento para Compresión Simple	83
2.6.5 Cálculos Compresión Simple	86
2.6.6 Informe de laboratorio de Compresión Simple	90
2.7 COMPACTACION EN LAB. CON PROCTOR MODIFICADO	92
2.7.1 Teoría de Compactación en Laboratorio	92
2.7.2 Normativa sobre compactación con Proctor Modificado	93
2.7.3 Equipos	93
2.7.4 Procedimiento para Compactación en Laboratorio	96

2.7.5 Cálculos de laboratorio de Compactación	100
2.7.6 Informe de lab. de Compactación con Proctor Modificado	102
2.8 DENSIDAD EN EL CAMPO (CONO DE ARENA)	103
2.8.1 Teoría densidad método de Cono de Arena	103
2.8.2 Normativa sobre Cono de Arena	104
2.8.3 Equipos	104
2.8.4 Procedimiento para Cono de Arena	106
2.8.5 Cálculos para Cono de Arena	110
2.8.6 Informe de Cono de Arena	112
2.9 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS	113
2.9.1 Permeabilidad de los suelos Método Cabeza Constante	114
2.9.1.1 Normativa de Permeabilidad de Cabeza Constante	114
2.9.1.2 Equipos	114
2.9.1.3 Procedimiento Permeabilidad de Cabeza Constante	117
2.9.1.4 Cálculos de Permeabilidad de Cabeza Constante	123
2.9.1.5 Informe Permeabilidad de Cabeza constante	127
2.9.2 Permeabilidad Cabeza Variable	128
2.9.2.1 Normativa Permeabilidad Cabeza Variable	128
2.9.2.2 Equipos	128
2.9.2.3 Procedimiento Permeabilidad Cabeza Variable	129
2.9.2.4 Cálculos Permeabilidad Cabeza Variable	131

2.9.2.5 Informe Permeabilidad Cabeza Variable	134
2.10 PESO ESPECÍFICO RELATIVO	135
2.10.1 Teoría peso Específico relativo	135
2.10.2 Normativa sobre Peso Especifico Relativo	136
2.10.3 Equipos	136
2.10.4 Procedimiento para Peso Especifico Relativo	138
2.10.5 Cálculos para determinar el Peso Especifico Relativo	145
2.11 CONSOLIDACION	149
2.11.1 Teoría sobre Consolidación	149
2.11.2 Normativa sobre Consolidación	150
2.11.3 Equipos	151
2.11.4 Procedimiento sobre laboratorio de Consolidación	153
2.11.5 Cálculos de Consolidación	159
2.12 CLASIFICACION DE LOS SUELOS	161
2.12.1 Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS)	161
2.12.2 Carta de Plasticidad de Arturo Casagrande	163
2.12.3 Auxiliar de Clasificación Unificada	164
2.12.4 Características de los Suelos	165
3. SOFTWARE PARA LABORATORIO DE SUELOS LABSOF 1.0	167

3.1 Lenguaje de programación	167
3.2 Visual Basic 6.0	167
3.2.1 Ejemplo de programación del Formulario de Humedad	169
3.3 LABSOF 1.0	174
3.3.1 Nombre e Icono de Labsof 1.0	174
CONCLUSIONES	175
OBSERVACIONES	177
VENTAJAS	179
DESVENTAJAS	181
RECOMENDACIONES	182
BIBLIOGRAFIA	183
ANEXOS	187

LISTA DE TABLAS

	Pag.
2. PRACTICAS DE LABORATORIO DE SUELOS	6
2.3 ANALISIS GRANULOMETRICO.	15
2.3.1 Granulometría por Tamizado	15
Tabla 2.3.1-1: Tamices mas comunes.	15
Tabla 2.3.1-2: Datos de C. Granulométrica.	16
Tabla 2.3.1-3: Pesos mínimos según diámetro de las partículas.	20
Tabla 2.3.1-4: Serie de tamices para ensayo de Granulometría.	22
2.3.2 Granulometría por Hidrómetro.	28
Tabla 2.3.2-1: Tiempos en el laboratorio de G. por Hidrómetro.	32
Tabla 2.3.2-2: Factores de corrección por temperatura C_t .	33
Tabla 2.3.2-3: Factor de corrección (a), para gravedades especificas.	34
Tabla 2.3.2-4: Profundidad efectiva L para uso del Hidrómetro 152 H.	35
Tabla 2.3.2-5: Cte. K en función del peso especifico (g/cm ³) y temperatura.	36
2.7 COMPACTACION EN LABORATORIO CON PROCTOR MODIFICADO.	92
Tabla 2.7-1: Datos de curva de compactación.	93

2.9 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS.	113
2.9.1 Permeabilidad por el método de Cabeza Constante.	114
Tabla 2.9.1-1: Viscosidad del agua a diferentes temperaturas.	125
2.10 PESO ESPECÍFICO.	135
Tabla 2.10-1: Datos de curva de calibración.	146
Tabla 2.10-2: Factores de corrección K para diferentes temperaturas.	147
2.11 CONSOLIDACION.	149
Tabla 2.11-1: Ejemplo de variación de la carga durante 5 días.	157
2.12 CLASIFICACION DE LOS SUELOS.	
Tabla 2.12-1: Grupos básicos de clasificación de suelos, según S.U.C.S.	162
Tabla 2.12-2: Características de los suelos.	165

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
2. PRACTICAS DE LABORATORIO.	6
2.1 HUMEDAD.	6
2.1.3 Equipos.	7
Foto 2.1-1: Tara y recipiente.	7
Foto 2.1-2: Balanza.	
Foto 2.1-3: Horno.	8
2.1.4 Procedimiento para la determinación de la humedad.	8
Foto 2.1-4: Tara y rebanada de suelo.	8
Foto 2.1-5: Vaciado de muestra en tara.	9
Foto 2.1-6: Peso de muestra húmeda.	9
Foto 2.1-7: Secado de muestra.	10
2.2 DENSIDAD.	11
2.2.3 Equipos.	11
Foto 2.2-1: Recipientes.	12
Foto 2.2-2: Balanza.	12
Foto 2.2-3: Calibrador.	12
2.2.4 Procedimiento para la determinación de la Densidad.	12
Foto 2.2-4: Rebanada de muestra inalterada.	13
Foto 2.2-5: Determinación del peso de la muestra.	13
Fotos 2.2-6 y 2.2-7: Medida de dimensiones (diámetro y altura).	14
2.3 ANALISIS GRANULOMETRICO.	15
2.3.1 Granulometría por Tamizado.	15
2.3.1.2 Equipos.	18

Foto 2.3.1-1: Recipientes.	18
Foto 2.3.1-2: Horno.	18
Foto 2.3.1-3: Cuarteador.	19
Foto 2.3.1-4: Tamiz y cepillo.	19
Foto 2.3.1-5: Balanza.	19
Foto 2.3.1-6: Tamizador mecánico.	19
2.3.1.3 Procedimiento de Granulometría por Tamizado.	19
Foto 2.3.1-7: Muestra secada al aire.	20
Foto 2.3.1-8: Muestra sumergida bajo agua.	21
Foto 2.3.1-9: Lavado de muestra retenida por el tamiz No 200.	21
Foto 2.3.1-10: Serie de tamices 1 ½” (36.1 mm) – No 4 (4.75 mm).	23
Foto 2.3.1-11: Tamizado manual.	23
Foto 2.3.1-12: Tamizado por maquina.	24
Foto 2.3.1-13: Muestra retenida cada tamiz después tamizado a maquina.	24
Fotos 2.3.1-14 y Foto 2.3.1-15: Vaciado y peso de muestra retenida.	25
2.3.1.5 Informe de ensayo de Granulometría por Tamizado.	27
Foto 2.3.1-16: Formato de Granulometría por Tamizado.	27
2.3.2 Granulometría por Hidrómetro.	28
2.3.2.2 Equipos.	29
Foto 2.3.2-1: Balanza.	29
Foto 2.3.2- 2: Tamices No 10 y No 20.	29
Foto 2.3.2-3: Probeta.	30
Foto 2.3.2-4: Agente dispersante Hexametáfosfato de Sodio.	30
Foto 2.3.2-5: Termómetro.	30
Foto 2.3.2-6: Hidrómetro.	30
Foto 2.3.2-7: Recipientes.	30
Foto 2.3.2-8: Cronometro.	30
Foto 2.3.2-9: Horno.	31
2.3.2.5 Informe de Granulometría por Hidrómetro.	37
Foto 2.3.2-10: Formato de Granulometría por Hidrómetro.	37
2.4 LIMITES DE ATTERBERG.	38
2.4.1 Limite Líquido.	38
2.4.1.2 Equipos.	39
Foto 2.4.1-1: Vasija de Evaporación.	39
Foto 2.4.1-2: Espátula.	39
Foto 2.4.1-3: Cazuela de Casagrande.	40
Foto 2.4.1-4: Ranurador.	40

Foto 2.4.1-5: Calibrador.	40
Foto 2.4.1-6: Recipientes.	40
Foto 2.4.1-7: Taras.	40
Foto 2.4.1-8: Balanza.	40
Foto 2.4.1-9: Horno.	41
Foto 2.4.1-10: Tamiz No 40.	41
2.4.1.3 Procedimiento para la determinación del Límite Líquido.	41
Foto 2.4.1-11: Muestra secada al aire.	41
Foto 2.4.1-12: Muestra tamizada por malla No 40.	42
Foto 2.4.1-13: Tamaño de muestra de 154.7 g.	42
Foto 2.4.1-14: Calibración de la altura requerida para la caída de la cazuela.	43
Foto 2.4.1-15: Preparación de mezcla en la vasija para ensayo de l. líquido.	43
Foto 2.4.1-16: Colocación pasta en la cazuela.	44
Foto 2.4.1-17: Medición de espesor de 1 cm con el calibrador.	44
Fotos 2.4.1-18 y 2.4.1-19: Formación de ranura en la parte central.	45
Foto 2.4.1-20: Cierre de ranura después determinado numero de golpes.	45
Foto 2.4.1-21 y 2.4.1-22: Trazo de línea perpendicular a la ranura.	46
Fotos 2.4.1-23 y 2.4.1-24: Tamaño de muestra para cálculo de humedad.	46
2.4.1.5 Informe de laboratorio de Límite Líquido.	48
Foto 2.4.1-25: Formato para Límites de Atterberg.	48
2.4.2 Límite Plástico.	49
2.4.2.2 Equipos.	49
Foto 2.4.2-1: Espátula.	50
Foto 2.4.2-2: Capsula de Evaporación.	50
Foto 2.4.2-3: Balanza.	50
Foto 2.4.2-4: Horno.	50
Foto 2.4.2-5: Agua destilada.	50
Foto 2.4.2-6: Recipiente.	50
Foto 2.4.2-7: Taras.	51
Foto 2.4.2-8: Tamiz No 40.	51
2.4.2.3 Procedimiento de Límite Plástico.	51
Foto 2.4.2-9: Muestra secada al aire.	51
Foto 2.4.2-10: Mezcla pastosa.	52
Foto 2.4.2-11: Humedad requerida para el ensayo (Esfera de barro).	52
Foto 2.4.2-12: Esfera de suelo aplastada entre los dedos.	53
Foto 2.4.2-13: Formación de cilindros de material humedecido	53
Foto 2.4.2-14: cilindro dividido en trozos más pequeños.	54
Foto 2.4.2-15: Diámetro de los trozos.	54
Foto 2.4.2-16: Llenado de tara con trozos de cilindros de material.	55

2.4.2.5 Informe de Límite Plástico.	56
Foto 2.4.2.17: Formato de Limite Plástico y Limite Líquido.	56
2.4.3 Límite de contracción.	57
2.4.3.2 Equipos.	57
Foto 2.4.3-1: Recipiente de vidrio, placa de vidrio.	58
Foto 2.4.3-2: Espátula.	58
Foto 2.4.2-3: Recipiente de Contracción.	58
Foto 2.4.3-4: Mercurio.	58
Foto 2.4.3-5: Horno.	58
Foto 2.4.3-6: Guantes.	58
Foto 2.4.3-7: Mascara de Protección.	59
Foto 2.4.3-8: Tamiz No 40.	59
Fotos 2.4.3-9: Caucho para extracción de la Muestra.	59
2.4.3.5 Informe de Límite de Contracción.	63
Foto 2.4.3-1: Formato de Laboratorio de Límite de Contracción.	64
2.5 CORTE DIRECTO.	65
2.5.3 Equipos.	66
Foto 2.5-1: Dispositivo de Corte Directo.	66
Foto2.5-2: Balanza.	66
Foto 2.5-3: Deformímetro.	67
Foto 2.5-4: Horno.	67
Foto 2.5-5: Recipientes.	67
Foto 2.5-6: Taras.	67
Foto 2.5-7: Anillos Moldeadores.	67
Foto 2.5-8: Caucho.	67
Foto 2.5-9: Espátula	68
Foto 2.5-10: Pesas.	68
Foto 2.5-11: Agua Destilada.	68
2.5.4 Procedimiento de corte directo.	68
Foto 2.5-12: Introducción de anillo dentro de una rebanada.	69
Fotos 2.5-13 y 2.5-14: Extracción del anillo	69
Foto 2.5-15: Bloqueo de caja.	70
Foto 2.5-16: Colocación de anillo.	70
Fotos 2.5-17 y 2.5-18: Introducción de la muestra en la caja.	71
Foto 2.5-19: Cubrimiento de la muestra.	71
Foto 2.5-20: Ensamble de caja a máquina de ensayo.	72
Fotos 2.5-21 y 2.5.22: sistema de carga ubicado correctamente.	72

Foto 2.5-23: Carga de muestra con 8000g.	73
Fotos 2.5-24 y 2.5-25: Colocación del Deformímetro.	73
Fotos 2.5-26 y 2.5-27: Brazo de carga y Lector de carga en ceros.	73
Foto 2.5-28: Desbloqueo de caja.	73
Fotos 2.5-29, 2.5-30 y 2.5-31: Muestra fallada.	74
2.5.6 Informe de laboratorio de Corte Directo.	78
Foto 2.5-32: Formato de Corte Directo para Datos Iniciales.	78
Foto 2.5.33: Formato de Corte Directo para Lecturas de Carga.	79
2.6 COMPRESION SIMPLE.	80
2.6.3 Equipos.	80
Foto 2.6-1: Aparato de Compresión.	80
Foto 2.6-2: Extractor de muestras + molde de probetas.	81
Foto 2.6-3: Horno.	82
Foto 2.6-4: Cronómetro.	82
Foto 2.6-5: Calibrador.	82
Foto 2.6-6: Balanza.	82
Foto 2.6-7: Recipientes.	82
Foto 2.6-8: Taras.	82
2.6.4 Procedimiento para Compresión Simple.	83
Foto 2.6-9: Amasado del suelo.	83
Foto 2.6-10: Compactación de la muestra.	84
Foto 2.6-11: Peso de anillo moldeador más muestra.	84
Foto 2.6-12 y 2.6-13: Extracción de probeta.	84
Foto 2.6-14: Probeta Extraída.	85
Foto 2.6-15: Peso de Probeta Extraída.	85
Foto 2.6-16: Compresión de probeta.	86
2.6.6 Informe de laboratorio de Compresión Simple.	90
Foto 2.6-17: Formato de Compresión Simple para Datos Iniciales.	90
Foto 2.5.18: Formato Compresión Simple Lecturas de Carga y Deformación.	91
2.7 COMPACTACION EN LABORATORIO CON PROCTOR MODIFICADO.	92
2.7.3 Equipos.	93
Foto 2.7-1: Moldes.	94
Foto 2.7-2: Martillo.	94
Foto 2.7-3: Dispositivo para extracción de muestras.	94
Foto 2.7-4: Balanza.	94
Foto 2.7-5: Horno.	94
Foto 2.7-6: Enrasador.	94

Foto 2.7-7: Recipiente.	95
Foto 2.7-8: Taras.	95
Foto 2.7-9: Cuarteador.	95
Foto 2.7-10: Probeta Graduada.	95
Foto 2.7-11: Pisón.	95
2.7.4 Procedimiento para compactación en laboratorio.	96
Foto 2.7-12: Muestra secada al aire.	96
Fotos 2.7-13 y 2.7-14: Desintegración de grumos.	96
Foto 2.7-15: Humectación de la muestra.	97
Foto 2.7-16: Sistema placa + molde + anillo.	97
Foto 2.7-17 y 2.7-18: Vaciado de muestra en molde.	98
Foto 2.7-19 y 2.7-20: Compactación de capas diferentes.	98
Foto 2.7-21: Enrase de muestra.	99
Foto 2.7-22: Peso del molde más muestra compactada.	99
2.7.6 Informe de laboratorio de compactación con Proctor Modificado.	102
Foto 2.7-23: Formato de Proctor Modificado.	102
2.8 DENSIDAD EN EL CAMPO (CONO DE ARENA).	103
2.8.3 Equipos.	104
Foto 2.8-1: Dispositivo de cono de arena, cinta métrica y utensilios.	104
Foto 2.8-2: Recipientes.	105
Foto 2.8-3: Taras.	105
Foto 2.8-4: Balanza.	105
Foto 2.8-5: Horno.	105
Foto 2.8-6: Cuchara, arena, balde.	105
2.8.4 Procedimiento densidad en campo, por Cono de Arena.	106
Foto 2.8-7: Peso de frasco con arena.	107
Foto 2.8-8: Determinación de la arena en el embudo.	107
Foto 2.8-9 y 2.8-10: Demarcación, excavación y toma de muestra del hueco.	108
Foto 2.8-11: Medida de la profundidad del hueco.	108
Foto 2.8-12 y 2.8-13: Vaciado de arena.	109
Foto 2.8-14 y 2.8-15: Retiro de arena.	109
Foto 2.8-16 y 2.8-17: Peso suelo removido, arena después de la excavación.	109
2.8.5 Informe de Cono de Arena.	112
Foto 2.8-18: Formato de laboratorio de cono de arena.	112
2.9 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS.	113

2.9.1 Permeabilidad de los suelos por el método de Cabeza Constante.	114
2.9.1.2 Equipos.	114
Foto 2.9.1-1: Permeámetro.	115
Foto 2.9.1-2: Piedras porosas.	115
Foto 2.9.1-3: Embudo, probeta y manómetro.	115
Foto 2.9.1-4: Compactador de Muestra.	115
Foto 2.9.1-5: Balanza.	115
Foto 2.9.1-6: Cronometro.	115
Foto 2.9.1-7: Recipiente.	116
Foto 2.9.1-8: Tamiz No 40.	116
Foto 2.9.1-9: Probeta Graduada.	116
Foto 2.9.1-10: Calibrador.	116
Foto 2.9.1-11: Termómetro.	116
2.9.1.3 Procedimiento permeabilidad por el método de Cabeza Constante.	117
Foto 2.9.1-12: Muestra secada al aire.	117
Fotos 2.9.1-13 y 2.9.1-14: tamizado por malla No 40.	117
Foto 2.9.1-15: Medición del diámetro interior.	118
Fotos 2.9.1-16 y 2.9.1-17: Colocación del espesor poroso inferior.	118
Fotos 2.9.1-18 y 2.9.1-19: Vaciado y compactación de la primera capa.	119
Fotografía 2.9.1-20: compactación de la quinta capa.	119
Fotos 2.9.1-21 y 2.9.1-22: Colocación de sello a prueba de aire.	120
Foto 2.9.1-23: Determinación del espesor del suelo.	120
Foto 2.9.1-24: Flujo inicial de evacuación de aire en la manguera.	121
Foto 2.9.1-25: Conexión de manguera a válvula inferior.	122
Foto 2.9.1-26: Flujo de agua a través de la válvula superior.	122
Foto 2.9.1-27: Medición del gasto en la probeta de 200cm ³ .	123
2.9.1.5 Informe de Permeabilidad por el método de Cabeza Constante.	127
Foto 2.9.1.28: Formato de laboratorio Permeabilidad por Cabeza Constante.	127
2.9.2 Permeabilidad de los Suelos por el método de Cabeza Variable.	128
2.9.2.3 Procedimiento permeabilidad por el método de Cabeza Variable.	129
Foto 2.9.2-1: Flujo de agua en manguera ajustada a regla métrica.	129
Foto 2.9.2-2: Manguera conectada al permeámetro.	130
Foto 2.9.2-3 y 2.9.2-4: Alturas H1 (80,4cm) y H2 (31,3cm).	130
2.9.2.5 Informe de permeabilidad por le método de Cabeza Variable.	134
Foto 2.9.2-5: Formato de permeabilidad por Cabeza Variable.	134

2.10 PESO ESPECÍFICO	135
2.10.3 Equipos.	136
Foto 2.10-1: Picnómetro.	137
Foto 2.10-2: Horno.	137
Foto 2.10-3: Balanza.	137
Foto 2.10-4: Pipeta.	137
Foto 2.10-5: Termómetro.	137
Foto 2.10-6: Tamiz No 8.	137
Foto 2.10-7: Capsula de Evaporación.	138
Foto 2.10-8: Dispositivo para Baño María. (Estufa y Olla).	138
Fotos 2.10-9 y 2.10-10: Recipientes.	138
2.10.4 Procedimiento para la determinación del Peso Específico.	138
Foto 2.10-11: Altura inicial del nivel del agua.	139
Foto 2.10-12 y 2.10-13: Picnómetro más agua al baño María.	139
Foto 2.10-14 y 2.10-15: Nivel del agua con la marca de calibración.	139
Foto 2.10-16 y 2.10-17: Medición de temperatura.	140
Foto 2.10-18: Tamizado de muestra.	140
Foto 2.10 -19: Consistencia de la muestra.	141
Foto 2.10 -20 y 2.10-21: Vaciado de la muestra.	141
Foto 2.10-22 y 2.10- 23: Nivel inicial del agua con la muestra.	142
Foto 2.10-24 y 2.10-25: Picnómetro + suelo + agua al baño María.	142
Foto 2.10 -26 y 2.10-27: Nivel del agua en marca de graduación.	143
Foto 2.10-28: Peso del frasco con la muestra.	143
Foto 2.10-29: Medida de la temperatura del frasco mas muestra.	143
Foto 2.10 -30: Rotación del frasco de arriba hacia abajo.	144
Foto 2.10-31 y 2.10 -32: Vaciado de la mezcla en un platón.	144
Foto 2.10-33 y 2.10 -34: Secado de Muestra.	145
2.11 CONSOLIDACION.	149
2.11.3 Equipos.	151
Foto 2.11-1: Consolidómetro.	151
Foto 2.11-2: Caja de Consolidación.	151
Fotos 2.11-3: Componente del dispositivo de carga.	151
Foto 2.11-4: Piedras porosas.	151
Foto 2.11-5: Balanza.	152
Foto 2.11-6: Horno.	152
Foto 2.11-7: Extensómetro.	152
Foto 2.11-8: Espátula.	152
Foto 2.11-9 y 2.11-10: Recipientes.	152
Foto 2.11-11: Cronometro.	153

2.11.4 Procedimiento sobre el laboratorio de Consolidación.	153
Foto 2.11-12: Rebanada de PVC con muestra de suelo.	153
Foto 2.11-13 y 2.11-14: Extracción del anillo mas muestra.	154
Foto 2.11-15 y 2.11-16: Preparación del Consolidómetro.	154
Foto 2.11-17 y 2.11-18: Ubicación de piedra porosa inferior.	155
Foto 2.11-19: Colocación del anillo de cobre.	155
Foto 2.11-20: Colocación del anillo mas muestra.	156
Foto 2.11-21 y 2.11-22: Incrustación muestra dentro de caja de consolidación.	156
Foto 2.11-23: Muestra de suelo incrustada.	156
Foto 2.11-24 y 2.11-25: Piedra porosa superior sobre muestra.	157
Foto 2.11-26: Colocación de la caja dentro de la maquina de carga.	157
Foto 2.11-27: Ajuste del soporte del extensómetro.	158
Foto 2.11-28: Colocación del extensómetro.	158
Foto 2.11-29: Carga del sistema.	158
Foto 2.11-30: Vaciado de agua dentro de manómetros.	159

RESUMEN

TITULO

DESARROLLO DE SOPORTE TECNICO E INFORMATICO PARA PRUEBAS DE LABORATORIO DE SUELOS LABSOF 1.0 (SOFTWARE PARA LABORATORIO DE SUELOS)*

AUTORES

ARTURO ROJAS TORRES
FREDY ALEXANDER VERA GARRIDO**

PALABRAS CLAVES: Manual, Prácticas de laboratorio, Procedimientos, Cálculos, Software, Suelos, Normas, Lenguaje de programación, Análisis.

DESCRIPCIÓN

Como un aporte a la Escuela de Ingeniería Civil se ha diseñado este Proyecto de Grado, comprimido en un manual interactivo de uso educativo, en el cual se pueden consultar Normas, Equipos, Procedimientos y Cálculos, de las prácticas de Laboratorio de Suelos, siendo su software ejecutable llamado Labs of 1.0.

Por medio de un registro fotográfico y fílmico se documentaron los ensayos, las cuales tuvieron lugar en las instalaciones del Centro de caracterización de Materiales (edificio Álvaro Beltrán Pinzón) que se encuentra dentro del campus principal de la Universidad Industrial de Santander. Para el desarrollo de las experiencias se contó con la colaboración de los ingenieros que guían estos laboratorios enfocados a estudiantes adscritos al curso de Mecánica de Suelos.

El software se diseñó en el lenguaje de programación Visual Basic 6.0, y las gráficas de los cálculos de análisis de los datos obtenidos en laboratorio, se apoyan en hojas de cálculo de Excel. Los resultados de los cálculos programados se pueden imprimir o guardar como archivos de la herramienta Imaging de Microsoft. En el manual interactivo se puede acceder a 15 prácticas, más un ítem dedicado a la clasificación de los suelos.

El Trabajo de Grado está compuesto por un documento y un software, que servirán de consulta para los estudiantes de pregrado y soporte técnico para los profesionales.

* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ciencias Físico - Mecánicas, Ingeniería Civil, Director: Ing. Wilfredo del Toro Rodríguez.

SUMMARY

TITLE

DEVELOPMENT OF TECHNICAL AND COMPUTER SUPPORT FOR LAB SOIL PROOF. LABSOF 1.0 (LAB SOIL SOFTWARE)*

AUTORS

ARTURO ROJAS TORRES
FREDY ALEXANDER VERA GARRIDO**

KEYWORDS: manual, lab practices, software, soils.

DESCRIPTION

This degree Project has been designed as a contribution to Civil Engineering School. It is compressed within an educational interactive manual in which standards, equipments, proceedings and estimations are presented with performing software called Labs of 1.0.

Using a photographic and film record the trials are documented which were carried out at Material Featuring Center Facility (Alvaro Beltran Pinzon Building) placed in the Main Campus of Santander Industrial University, engineers, that run these labs addressed to students joined mechanic soil course, collaborated for developing the experiences.

The Software was designed by using Visual Basic 6.0 Language Program and the graphs for data estimates analysis obtained in the in the lab are supported on Excel Calculus Sheet. The results of the programmed estimates may be printed or saved as files for Microsoft's tool imaging. The interactive manual may accessed by 15 practices, besides an item dedicated to the soil classification.

This degree work consists of a document and software that serves as consultation for students and technical support for professionals

* Degree Project: Work Degree.

** Physics – Mechanics Sciences Faculty, Civil Engineering, Director Engineer : Wilfredo del Toro Rodriguez.

INTRODUCCION

La tecnología y el avance de la ciencia han permitido que el hombre evolucione y esté a la vanguardia de los constantes cambios. Por esta razón desarrolla ayudas y métodos que facilitan a otros la construcción de su entorno.

La parte teórica es fundamental para adquirir el conocimiento, la práctica es el complemento indispensable para el verdadero aprendizaje es por eso que el hombre necesita aprender haciendo y entre más sentidos utilice el aprendizaje es mayor y duradero.

El Proyecto “Desarrollo de soporte técnico e informático para pruebas de laboratorio de suelos”, pretende ser una ayuda técnica para estudiante y profesionales en la Construcción que deseen conocer con exactitud, en forma confiable y rápida las propiedades de los suelos.

Se presenta un material fotográfico, que permite aclarar lo que se expone en las ideas de los párrafos de este documento, entrelazado, con cálculos pertinentes para las pruebas, donde se estima por relaciones matemáticas y de observaciones en graficas, características de los materiales de estudio.

Los equipos, procedimientos y cálculos presentados se fundamentan en el conjunto de normas del INVIAS (Instituto Nacional de Vías), y se documentaron en practicas de laboratorio de suelos, realizadas en el laboratorio correspondiente de la Escuela de Ingeniería Civil.

En los anexos, se encuentra el software Labsof 1.0, el manual de utilización e instalación de este y un diagrama auxiliar para clasificación de los suelos.

1. LOS SUELOS

1.1 DEFINICION

Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan ¹⁾.

Una definición más amplia sobre los suelos y que engloba el conjunto de sus propiedades, es considerar como suelo todos los pequeños fragmentos sueltos de minerales o de rocas, definición en la que están incluidas las arenas de la playa, las rocas trituradas y los suelos que dan vida a los vegetales. Cada uno de estos materiales presentara diferencias con respecto a propiedades físicas determinadas, tales como el grado de variación de volumen cuando son sometidos a una carga, la tendencia a hincharse y aumentar el volumen cuando se humedecen o la velocidad con que se desplaza el agua al atravesar la unidad de sección transversal. Teniendo en cuenta estas circunstancias, se ha preparado una listas de propiedades físicas adecuada para valorar las cualidades de los restos sueltos de las rocas, desde el punto de vista de la ingeniería, independientemente de su contenido de materia orgánica. Resulta así que un agregado de trozos sueltos de roca o de minerales puede ser clasificado a base de sus propiedades de resistencia o de sus propiedades hidráulicas, pudiendo cada uno de ellos ser considerado como un suelo diferente ²⁾.

Aunque estas definiciones son desde una perspectiva de la Ingeniería Civil, el termino suelo también es interpretado desde otras ciencias, como son la agronomía y la geología.

Para un agrónomo el término suelo parte del conocimiento de que, en la superficie de separación entre la tierra y el aire, tienen lugar ciertas reacciones químicas que tienden a alterar la composición de las partículas minerales. Al ir aumentando la profundidad puede cambiar bruscamente la composición de las sustancias minerales y originar propiedades especiales tales como un cambio de color, de permeabilidad al agua e incluso del tamaño de las partículas.

^{1) 4)}
Fuente: y Carlos Crespo Villalaz. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*.

^{2) 3)}
Fuente: y E.C. Dapples. *Geología Básica en Ciencia e Ingeniería*.

Algunos de estos cambios pueden no ser importantes en lo que concierne a la ingeniería, pero son de gran interés para el agrónomo puesto que afectan a la fertilidad del suelo. Al agrónomo no le interesan los mismos problemas que al ingeniero y sus fundamentos para definir un suelo son necesariamente diferentes. Así desde el punto de vista del científico interesado en la agricultura, un suelo solo se forma en la superficie de la tierra por la acción de procesos climáticos actuando sobre un material terreo madre que, en algunos casos, puede ser un agregado suelto de aluvión o puede ser una roca sólida ³⁾.

En cambio, en forma resumida para un geólogo el suelo es definido como el material resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de agentes atmosféricos ⁴⁾.

1.2 PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS

Los tipos de suelos más conocidos y de mayor uso por los ingenieros civiles son:

- *Fragmentos*: Partículas retenidas en el tamiz 300mm (12") ⁵⁾.
- *Guijarros*: Pasan tamiz 300mm (12") y son retenidas en el tamiz 75mm (3") ⁶⁾.
- *Gravas*: Así como los fragmentos y los guijarros son acumulaciones sueltas de rocas fragmentadas. Dado su origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto redondeadas. ⁷⁾ Pasan tamiz 75mm (3") y son retenidas en el tamiz 4.75mm (No 4) ⁸⁾.
- *Arenas*: La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas. ⁹⁾ Están entre las mallas 4.75mm (No 4) y 75µm (No 200) ¹⁰⁾.

⁵⁾ ⁶⁾ ⁸⁾ ¹⁰⁾
Fuente: , , y Norma INV E-102.

⁷⁾ ⁹⁾
Fuente: y Carlos Crespo Villalaz. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*.

- **Arcillas y limos:**
Según la norma INV E-102, Descripción e Identificación de Suelos (procedimiento visual y normal), estos suelos son definidos como:

Arcillas: Suelo que pasa tamiz 75 μ m (No 200), puede utilizarse para mostrar la plasticidad (consistencia como masilla) dentro de un cierto intervalo de humedad, pero que muestra considerable resistencia cuando se seca al aire.

Limo: Suelo que pasa 75 μ m (No 200), ligeramente plástico o no plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire.

Arcilla orgánica: Una arcilla con suficiente contenido orgánico para influir en las propiedades del suelo.

Limo orgánico: Al igual que la arcilla orgánica su contenido orgánico, afecta las propiedades del suelo.

Turba: Suelo primordialmente de textura vegetal en estados variables de descomposición, usualmente con olor orgánico, color entre carmelita oscuro y negro, consistencia esponjosa y contextura que varía desde fibrosa hasta amorfa.

1.3 MECÁNICA DE SUELOS

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes y los principios de la mecánica y de la hidráulica a los problemas de ingeniería que se relacionan con el suelo como material estructural. También puede definirse como la rama de la ingeniería civil que estudia las propiedades, el comportamiento y la utilización de los suelos como material estructural.

Esta estructura puede ser natural o artificial. Es natural la del suelo "in situ" (en el sitio mismo), que es aquel que se presenta tal como lo formó la naturaleza, como el que sirve de cimentación a un edificio. Y es estructura artificial la formada por la mano del hombre con el suelo como material de construcción, por ejemplo la de un terraplén ¹¹⁾.

1.4 PROPIEDADES DE LOS SUELOS

A diferencia del hormigón y del acero el suelo es el material estructural más complejo para analizar, debido a:

- Tiene el mayor número de propiedades para estudiar.
- Es el más heterogéneo.

- La influencia de las variaciones del contenido de agua en sus características de deformabilidad y de resistencia es muy grande.
- Las características de deformabilidad se modifican de manera significativa con el cambio en la magnitud de las cargas, lo cual hace más difícil su medida y la aplicación de los resultados de estudios a la predicción del comportamiento futuro de los suelos.

Las principales propiedades de los suelos son ¹²⁾ :

- Tamaño, forma y disposición de los granos: granulometría, textura y estructura.
- Propiedades de la fracción de las partículas muy finas.
- Porosidad.
- Densidad: de la parte sólida y del conjunto sólidos-poros.
- Contenido de humedad y su influencia.
- Consistencia y plasticidad.
- Permeabilidad y características del agua intersticial: sus diversas formas, el nivel freático, presiones intersticiales, movimiento del agua a través del suelo, capilaridad.
- Deformabilidad: deformaciones plásticas, elásticas, por consolidación, por compactación, compresibilidad, expansibilidad y retracción.
- Resistencia al corte: los parámetros de cohesión y resistencia por fricción interna entre los granos. Relaciones esfuerzo-deformación.
- Características de compactabilidad de los suelos.
- Características de estabilización con adición de otros elementos, como cemento, materiales bituminosos o productos químicos.
- Contenido de materia orgánica y de otros elementos perjudiciales.
- Acción disolvente o química del agua y de otros agentes.
- Discontinuidades en la masa del suelo en el terreno: estabilización, fisuras, grietas, fallas, etc.

1.5 OBTENCION DE MUESTRAS DE SUELO

Para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado y representativo es de suma importancia, pues tiene el mismo valor que el de los ensayos. Se requiere que el muestreo sea efectuado por personal calificado. Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas. Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, e inalterada en caso contrario. ¹³⁾

¹¹⁾ ¹²⁾
Fuente: y Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los Suelos.*

Entre los procedimientos para estudio y muestreo en el sitio, la norma INVIAS I.N.V. E-101 (Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería), propone:

- *Apiques y Trincheras:* Excavaciones a cielo abierto hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento del material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se puede obtener.
- *Investigación y muestreo del suelo mediante Barrenos.*
- *Penetración y muestreo del suelo con tubo perforado.*
- *Muestreo con tubo de pared delgada.*
- *Perforación con broca de Diamante.*
- *Barreno de Vástago Hueco.*

¹³⁾

Fuente: Carlos Crespo Villalaz. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones.*

2. PRACTICAS DE LABORATORIO DE SUELOS

En procura de conocer el comportamiento del suelo, a través de tiempo los ingenieros han creado practicas o pruebas de laboratorio que permiten cuantificar propiedades de éste, analizando los datos encontrados en cada experiencia, ya sea por medio de graficas o relaciones entre formulas.

De estas experiencias, para el diseño del soporte técnico del laboratorio de suelos se escogieron las siguientes:

- *Humedad. (I.N.V. E-122)*
- *Densidad.*
- *Granulometría por Tamizado. (I.N.V. E-123)*
- *Granulometría por Hidrómetro. (I.N.V. E-124)*
- *Limite Líquido. (I.N.V. E-125)*
- *Limite Plástico. (I.N.V. E-126)*
- *Limite de Contracción. (I.N.V. E-127)*
- *Corte Directo. (I.N.V. E-154)*
- *Compresion Simple. (I.N.V. E-152)*
- *Compactación con Proctor Modificado. (I.N.V. E-142)*
- *Cono de Arena. (I.N.V. E-161)*
- *Permeabilidad de Cabeza Constante. (I.N.V. E-130)*
- *Permeabilidad Cabeza Variable.*
- *Peso específico. (I.N.V. E-128)*
- *Consolidación. (I.N.V. E-151)*
- *Clasificación Unificada de los Suelos. (SUCS)*

La base de apoyo para los procedimientos se fundamenta en la normativa del INVIAS (Instituto Nacional de Vías) para ensayos de laboratorio de suelos.

2.1 HUMEDAD

2.1.1 ¿Qué es humedad?

La relación entre el peso del agua en una muestra de suelo y el peso seco de este, se conoce como humedad, su expresión es:

$$H(\%) = \frac{P_{agua}}{P_{s.seco}} * 100$$

El agua influye en esta propiedad de tal manera que ha mayor cantidad de liquido presente, mayor humedad y también mayor plasticidad del suelo.

2.1.2 Normativa sobre Humedad.

La norma del instituto Nacional de Vías (INVIAS) que rige este laboratorio es “Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas desuelo-agregado, I.N.V. E-122”.

El procedimiento de la práctica de Humedad se requiere en las pruebas de Limites Líquido, Plástico y de Contracción, incluyendo la de compactación con Proctor modificado y Cono de Arena.

Otras normas afines son:

ASTM D-2216
MOP E-122 (Venezuela).

2.1.3 Equipos

El equipo requerido esta conformado por:

- Taras y Recipientes.
- Una Balanza, y
- Un Horno.



Foto 2.1-1: Tara y Recipiente



Foto 2.1-2: Balanza



Foto 2.1-3: Horno

2.1.4 Procedimiento para la determinación de la Humedad.

a. *Obtención muestra inalterada.*

Se hunde un tubo de PVC en el terreno y se excava alrededor de el para no alterar las condiciones de la muestra separada en el tubo. Se derrama cera de una vela por las bocas del tubo hasta tapar totalmente el suelo, con el fin de que en el transporte no se pierda las condiciones de humedad natural.

b. *Medida de humedad*



Foto 2.1-4: Tara y Rebanada de suelo.

Se determina el peso por separado de tres taras vacías, luego en cada una se coloca una pequeña porción de la muestra inalterada que sea de la parte central del tubo para evitar que la muestra escogida contenga cera. Se mide el peso de las taras mas suelo húmedo y se ponen a secar en el horno hasta el otro día.



Foto 2.1-5: Vaciado de muestra de suelo en una tara.



Foto 2.1-6: Peso de muestra húmeda.

Se determina el peso de las taras mas suelo seco y se escoge como humedad el promedio de las tres humedades determinadas.



Foto 2.1-7: Secado de muestra.

2.1.5 Cálculos de Humedad.

En las siguientes expresiones se muestra su cálculo:

- Peso del agua

$$W_{agua}(g) = (Peso\ tara + Suelo\ Humedo) - (Peso\ tara + Suelo\ Seco)$$

- Peso suelo seco

$$P_{S\ sec\ o}(g) = (Peso\ tara + Suelo\ Seco) - (Peso\ tara)$$

- Humedad

La Humedad (H) esta dada como:

$$H(\%) = \frac{W_{agua}}{P_{S\ sec\ o}} * 100$$

Como se toma varias muestras en diferentes taras, entonces la humedad será el valor promedio de ellas.

2.2 DENSIDAD

2.2.1 ¿Qué es Densidad?

Cualquier cuerpo que tenga una masa ocupa un volumen en el espacio, la relación entre estas dos propiedades es conocida con el nombre de densidad, y se define como:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$$

Para los suelos esta propiedad se ve afectada por la presencia de agua, debido a que si el suelo esta seco pesara menos que si esta saturado, y si se trata de una arcilla expansiva esta se hinchara cuando entra en contacto con el agua aumentando su volumen.

2.2.2 Normativa sobre Densidad

El INVIAS no presenta en su reglamento una norma especifica para el procedimiento planteado en este documento para determinar la densidad en el laboratorio; pero el procedimiento si es necesario para encontrar algunos datos utilizados en los cálculos de las practicas de Compresión Simple y Corte Directo, por ello se ha considerado como una experiencia de laboratorio.

El INVIAS presenta unas normas para la determinación de la densidad en el campo, de las cuales se presenta mas adelante la practica de Cono de Arena y otro procedimiento para la densidad llamado Peso especifico, que se presenta también más adelante como otra experiencia.

2.2.3 Equipos

Se debe disponer de:

- Recipientes.
- Una Balanza, y
- Una cinta métrica o Calibrador



Foto 2.2-1: Recipientes.



Foto 2.2-2: Balanza.



Foto 2.2-3: Calibrador.

2.2.4 Procedimiento para la determinación de la Densidad.

a. Obtención de muestra inalterada

Con ayuda de un tubo de PVC se obtiene una muestra inalterada, ya sea cortando una rebanda del tubo de la extracción que se hizo para el ensayo de humedad u obteniendo una nueva muestra por medio del hincado del tubo de PVC en el campo y extrayendo la muestra con las características naturales tal como se encuentra.

b. Tamaño de la muestra

Del tubo utilizado se corta una rebanada de unos 5cm de espesor aproximadamente que guarde las mejores condiciones naturales.



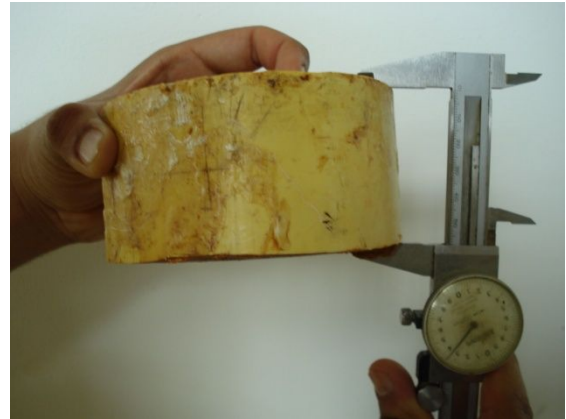
Foto 2.2-4: Rebanada de muestra inalterada

c. Determinación de magnitudes

La rebanada obtenida se pesa y se toman de ella las medidas de altura o espesor en varios puntos y del diámetro interno del tubo de PVC en las caras superior e inferior.



Foto 2.2-5: Determinación del peso de la muestra



Fotos 2.2-6 y 2.2-7: Medida de dimensiones (diámetro y altura)

Se saca el suelo del tubo y se pesa sola la rebanada de PVC, y se determina el peso del suelo como la resta de los dos pesos determinados. Luego se calcula el volumen de la muestra inalterada y se determina la densidad.

2.2. 5 Cálculos de Densidad:

- Peso del Suelo

$$PS(g) = (Peso\ Suelo + Anillo\ PVC) - (Peso\ Anillo\ PVC)$$

- Área

$$Area(cm^2) = \frac{\pi}{4} (Diametro\ rebanada\ PVC)^2$$

El diámetro será el promedio de los diámetros que se midan de la muestra de suelo.

- Volumen

$$Volumen(cm^3) = Vcilindro = (Area) * (Altura\ rebanada\ PVC)$$

- Densidad Humedad

$$Densidad\left(\frac{gr}{cm^3}\right) = \frac{masa}{volumen} = \frac{PS}{Volumen}$$

2.3 ANALISIS GRANULOMETRICO

Cuando el hombre empezó a estudiar los suelos daba el crédito de las propiedades mecánicas exclusivamente a la distribución de los granos, y por ello se concentraba solo en encontrar métodos para lograr esta distribución, descartando otras características también de importancia en el comportamiento del suelo, como es la plasticidad dada por los límites de Atterberg.

La granulometría o distribución de granos de un suelo se define como el fraccionamiento del mismo en diferentes porciones según el tamaño de las partículas ¹⁴⁾.

2.3.1 Granulometría por Tamizado.

Para la separación en fracciones se emplean diferentes mallas o tamices, los cuales se enumeran según las aberturas que tienen por pulgada. Las mallas de mayor uso son:

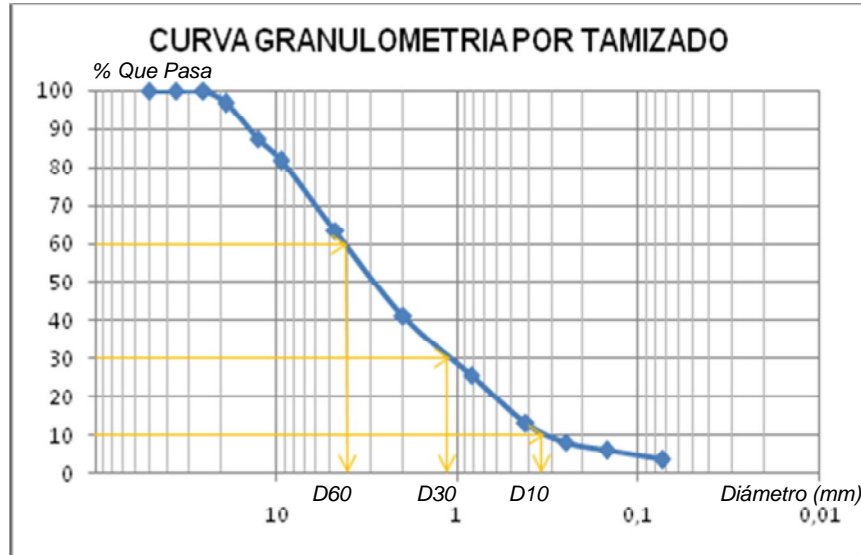
Malla - Tamiz	Abertura (mm)
3"	76,20
2"	50,80
1 1/2"	38,10
3/4"	19,10
1/2"	12,70
3/8"	9,520
No 4	4,760
No 8	2,380
No 10	2,000
No 20	0,840
No 40	0,420
No 60	0,250
No 100	0,149
No 200	0,074

Tabla 2.3.1 -1: Tamices más comunes

¹⁴⁾

Fuente: Wilfredo del Toro – Eduardo Castañeda. Guía de Conocimientos Básicos de Mecánica de Suelos.

La distribución granulométrica se representa por medio de una grafica, donde la ordenada muestra el porcentaje en peso que pasa la malla y la abscisa en escala logarítmica el diámetro de las aberturas en milímetros.



Grafica 2.3.1-1: Curva Granulométrica

Abertura (mm)	%Que Pasa
50,8	100
36,1	100
25,4	100
19,05	96,67
12,7	87,4
9,52	81,6
4,75	63,2
2	41,22
0,84	25,764
0,42	13,314
0,25	8,194
0,149	5,894
0,074	3,394

Tabla 2.3.1-2: Datos de Curva Granulométrica

¹⁵⁾ Fuente: Datos de laboratorio de suelos realizado en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón.

La forma de la curva da una idea de la distribución granulométrica. Para su interpretación se han creado dos coeficientes, uno es el coeficiente de uniformidad propuesto por Allen Hazen y el otro el coeficiente de curvatura.

El coeficiente de uniformidad (C_u) se define como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Mientras que el coeficiente de contracción C_c , como:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde D_{10} , D_{30} y D_{60} son:

D_{10} (Tamaño efectivo o diámetro efectivo): es el valor D de las abscisas de la curva granulométrica que corresponde al 10% de las ordenadas de la misma curva.¹⁶⁾

De forma similar, los tamaños correspondientes al 30% y 60% de las ordenadas se denominan D_{30} y D_{60} respectivamente, pero no reciben nombre especial.¹⁷⁾

Un suelo constituido por granos de un solo tamaño, mostrara su distribución en la curva como una línea vertical correspondiendo a un valor pequeño de C_u .

Un suelo que tiene una buena distribución de partículas en un rango apreciable de valores es conocido como bien gradado, y se manifiesta con una curva granulométrica que se extiende horizontalmente mostrando formas suaves de **S** invertida y alargada, a diferencia de un suelo mal gradado, que puede ser uniforme en el tamaño o se puede extender horizontalmente pero debido a la falta de algunos tamaños intermedios en los granos presenta jorobas.

2.3.1.1 Normativa sobre Granulometría por Tamizado:

La norma de INVIAS que se aplica a esta experiencia es: “Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado I.N.V. E-123”.

¹⁶⁾ y ¹⁷⁾ Fuente: Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los Suelos.*

Otras normas afines son:

ASTM D422
AASHTO T88
MOP E115 (Venezuela)
NLT 104

2.3.1.2 Equipos.

Se debe disponer de:

- Recipientes adecuados para el manejo de muestras.
- Horno.
- Cuarteador.
- Tamices entre las mallas 3" y No 200.
- Balanza.
- Cepillo.
- Tamizador Mecánico.



Foto 2.3.1-1: Recipientes



Foto 2.3.1-2: Horno



Foto 2.3.1-3: Cuarteador



Foto 2.3.1-4: Tamiz y cepillo



Foto 2.3.1-5: Balanza



Foto 2.3.1-6: Tamizador mecánico.

2.3.1.3 Procedimiento de Granulometría por tamizado

a. Secar la muestra al aire.

Las muestras de suelo se colocan en un recipiente adecuado al aire libre con el fin de secar la humedad natural, durante mínimo un día.



Foto 2.3.1-7: Muestra secada al aire.

b. Escoger la muestra representativa.

Una muestra representativa se vacía en el cuarteador (ver equipos) y se mezcla hasta volverla uniforme, luego se divide en cuatro partes y se toma de una(s) de ellas la muestra representativa.

Si la mayor parte del suelo queda retenido en el tamiz No 10, el tamaño de la muestra se elige según los pesos mínimos de la tabla No 1 de la norma I.N.V 123.

Diámetro Nominal de las partículas mas grandes mm (pulg)	Peso seco mínimo aproximado de la porción de suelo (g)
9,375 (3/8")	500
18,75 (3/4")	1000
25,0 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Tabla 2.3.1-3. Pesos mínimos según diámetros de las partículas

Si en cambio la mayor parte de los granos pasan la malla No 10, se escogerá 115g cuando sean arenas o 65g si el suelo es arcilloso y limoso.

c. Separación del suelo por malla No 10 y lavado por tamiz No 200.

Elegido el peso de la muestra, se tamiza inicialmente por la malla No 10 (2 mm), dividiendo la muestra en dos fracciones, una retenida en el tamiz y la otra que lo pasa, se pesa cada fracción por separado. Esto se hace con el fin de tener un

manejo más cómodo de la totalidad de la muestra y no tener que ensayarla toda a la vez.

Procedimiento por lavado.

Las dos partes se dejan sumergidas bajo agua durante mínimo un día y luego se lavan por el tamiz No 200 (0.074 mm) hasta que el agua salga limpia.



Foto 2.3.1-8: Muestra sumergida bajo agua



Foto 2.3.1-9: Lavado de muestra retenida por el tamiz No 200.

El proceso de sumergido y lavado de la muestra, se hace para:

- a. Quitar material fino adherido a ella.
- b. Quitar suciedad.
- c. Disgregar grumos.

Habitualmente la norma aconseja utilizar un mortero forrado en caucho para disgregar los terrones, pero en este proceso sino se tiene cuidado se puede alterar la granulometría al desintegrar granos que no son aglomeraciones de otras partículas, para evitar esto se aconseja sumergir el suelo para ablandarlo y para disgregar los terrones se lava por la malla No 200.

Una vez realizado el lavado se pone a secar la muestra en un horno, hasta el otro día.

Si el suelo esta libre de partículas finas o grumos se puede omitir el proceso de lavado.

d. Tamizado.

Secadas las dos fracciones se organizan los tamices de mayor a menor abertura en orden descendente, utilizando la siguiente serie:

Fracción retenida en tamiz No 10		Fracción que pasa en tamiz No 10	
*****	mm	*****	mm
2"	50,8	10	2
1 1/2"	36,1	20	0,84
1"	25,4	40	0,42
3/4"	19,05	60	0,25
1/2"	12,7	100	0,149
3/8"	9,52	200	0,074
No 4	4,75	Fondo	
No 10	2		

Tabla 2.3.1-4: Serie de tamices para ensayo de granulometría.

La serie de tamices propuesta es la que normalmente se trabaja en el laboratorio de suelos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, que corresponde a algunos tamices que expresa la norma.



Foto 2.3.1-10: Serie de tamices de 1 ½" (36.1 mm) – No 4 (4.75 mm)

El tamizado se puede realizar de manera manual o en una maquina (ver equipos), cuando el procedimiento es manual, se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla, durante un minuto o el tiempo que se requiera para que la fracción de muestra que pasa el tamiz sea despreciable. Si el proceso de tamizado es a maquina, se pondrá a funcionar esta por diez minutos aproximadamente.



Foto 2.3.1-11: Tamizado manual.



Foto 2.3.1-12: Tamizado por maquina.



Foto 2.3.1-13: Muestra retenida en cada tamiz después del tamizado a maquina.

e. Peso de material retenido.

Se pesan en una balanza el suelo retenido en cada malla y se procede a realizar los respectivos cálculos.



Foto 2.3.1-14 y 2.3.1-15: Vaciado y peso de muestra retenida en un tamiz.

2.3.1.4 Cálculos para Granulometría por Tamizado

Los cálculos requeridos basados en el informe actual del laboratorio de granulometría que se muestra más adelante, son los siguientes:

- Humedad: La humedad se determina tal como se calcula en el laboratorio correspondiente a esta.
- Porcentaje de error

$$\% \text{Error} = \left(\frac{(\text{Peso Inicial Muestra}(g)) - (\text{Peso Despues Lavado}(g))}{(\text{Peso Inicial Muestra}(g))} \right) * 100$$

- Peso suelo retenido

Es el peso del suelo en cada tamiz. El peso de suelo retenido en la Malla No denominada Pasa 200, corresponde a la suma de dos valores:

Uno es la diferencia entre el peso inicial de la muestra y peso después del lavado y el otro el peso del suelo que paso la Malla No 200.

- Por ciento retenido parcial (PRP) $PRP = \left(\frac{\text{Peso Suelo retenido}}{\text{Peso Inicial Muestra}} \right) * 100$
- % Pasa la malla (PPM)

El primer cálculo según el tamiz utilizado es: $PPM_1 = 100 - PRP_1$

El segundo cálculo a su vez será: $PPM_2 = PPM_1 - PRP_2$

Y así sucesivamente se procede con los demás resultados.

- Suma

En las columnas del Peso del Suelo Retenido y Porcentaje Retenido Parcial para las Mallas No 2” a No 4, corresponde a la suma de los valores en cada columna.

Para las Mallas No 10 a No 200, la suma se hace solo para estas mallas, sin incluir los resultados de los valores de Pasa 200.

- Total

Para las columnas de Peso Suelo Retenido y Porcentaje Retenido Parcial, es la suma total de los valores encontrados en las Sumas y los correspondientes a Pasa 200.

El total de la columna % Que Pasa la Malla debe ser cero.

- Grafica

En el eje (X) en escala logarítmica se presenta el diámetro (mm) y en el eje (Y) el % Que Pasa la Malla correspondientes a cada diámetro.

2.3.1.5 Informe de Ensayo de Granulometría por Tamizado.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

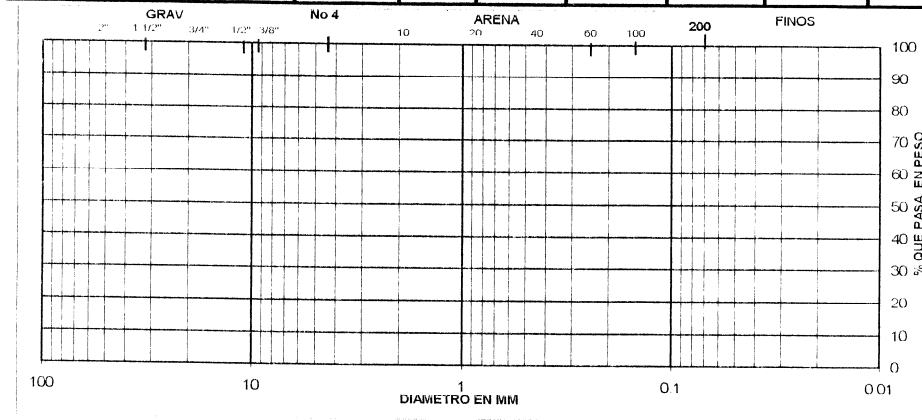
ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: _____
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: _____
 ENSAYO No: _____ SONDEO No: _____ MUESTRA No: _____ PROFUNDIDAD: _____
 CALCULO: _____

PESO TARA (gr)	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	
PESO AGUA (gr)	
PESO MUEST SECA (gr)	
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: _____
 PESO DESPUES DE LAVADO gr: _____
 PORCENTAJE DE ERROR %: _____

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50.8				10	2			
1 1/2"	36.1				20	0.84			
1"	25.4				40	0.42			
3/4"	19.05				60	0.25			
1/2"	12.7				100	0.149			
3/8"	9.52				200	0.074			
No 4	4.75				PASA 200	*****			
SUMA	*****				SUMA	*****			
					TOTAL				



D10= _____ CU=(D60 / D10) = _____ MAYOR 3"= _____ %
 D30= _____ CC=(D30)^2/D10*D60 = _____ GRAVAS= _____ %
 D60= _____ ARENAS = _____ %
 FINOS= _____ %
 CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

Foto 2.3.1-16: Formato de Granulometría por Tamizado.

2.3.2 Granulometría por Hidrómetro.

Cuando se quiere conocer la distribución de granos de partículas finas el método por tamizado pierde su alcance puesto que la malla más fina utilizada normalmente es la No 200 (4.75 μm), que marca el límite entre Arenas y Finos. Para lograr el análisis en rangos de mayor exigencia se emplean los métodos de sedimentación, dos de estos son:

- El método de la pipeta y
- El método del hidrómetro.

Los dos métodos se basan en la suspensión de las partículas en un medio acuoso hasta lograr su sedimentación. Para determinar el diámetro de las partículas se aplica la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera.¹⁸⁾

$$V = \frac{\tau_s - \tau_f}{1800\eta} * D^2$$

Donde: V = Velocidad de la esfera (cm/s)

τ_s = Densidad de la esfera (g/cm^3)

τ_f = Densidad del fluido (g/cm^3)

η = Viscosidad del fluido ($g * s/cm^3$)

D = Diámetro de la esfera (mm)

En el método del hidrómetro se introduce este en una suspensión dentro de una probeta con agua, la cual previamente es agitada hasta que la distribución de los granos dentro del líquido sea uniforme. El hidrómetro se hunde hasta que su peso equilibre el peso de la suspensión desplazada por él, midiendo así la densidad o peso específico de la suspensión¹⁹⁾, la densidad para cada lectura corresponde a la profundidad a la cual se encuentra el centro de volumen sumergido del densímetro o hidrómetro.

¹⁸⁾
 Fuente: Norma I.N.V. E-124.

¹⁹⁾
 Fuente: Juárez Badillo – Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Tomo 1.

2.3.2.1 Normativa sobre Granulometría por Hidrómetro.

La norma base para este laboratorio es “Análisis Granulométrico por Medio del Hidrómetro I.N.V. E-124”.

Otras normas que también se pueden consultar son:

ASTM D422
 AASHTO T88
 MOP E115 (Venezuela)
 NLT 104

2.3.2.2 Equipos.

Se requiere de:

- Una balanza.
- Tamices de 2mm (No 10) y de 75 μm (No 200).
- Una probeta.
- Agua.
- Agente dispersante.
- Probeta de sedimentación.
- Termómetro.
- Hidrómetro.
- Recipientes.
- Cronometro o reloj.
- Horno.



Foto 2.3.2-1: Balanza



Foto2.3.2- 2: Tamices No 10 y No 200

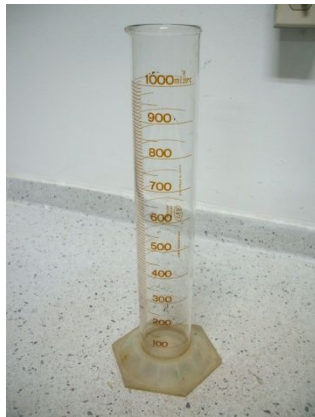


Foto 2.3.2-3: Probeta



Foto 2.3.2-4: Agente Dispersante Hexametafosfato de Sodio



Foto 2.3.2-5: Termómetro



Foto 2.3.2-6: Hidrómetro



Foto 2.3.2-7: Recipientes.



Foto 2.3.2-8: Cronometro



Foto 2.3.2-9: Horno

2.3.2.3 Procedimiento para Granulometría por Hidrómetro

Este procedimiento aplica en su totalidad para pruebas con el hidrómetro 152-H

a. Secado de la muestra.

Se pone a secar al aire libre o al horno una porción de muestra tal, que cuando se tamice por la malla No 10 asegure un tamaño mínimo de 75 a 100 g, o si se hace por la malla No 200 entre 50 a 60 g.

b. Preparación del Hidrómetro

Antes de empezar con las lecturas se requiere conocer ciertas correcciones a las mismas que dependen del hidrómetro utilizado.

La corrección por menisco (Cm) se puede encontrar introduciendo el hidrómetro en una probeta con agua destilada y determinando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua.

La corrección por defloculante y por ceros se determina introduciendo el hidrómetro en una probeta de 1000ml llena de la mezcla de agua desmineralizada con agente defloculante en igual cantidad al que se utilizará en la prueba. Se determina la lectura en la parte superior del menisco y se registra la temperatura de la mezcla en ese instante.

c. Tamaño y preparación de la muestra

Se tamiza la muestra según la precisión que se quiera ya sea por la malla No 10(2mm) o malla No 200(75 μm).

Se vacía la cantidad de suelo escogida en un platón y se le agrega agua desmineralizada hasta que quede toda cubierta. Luego se agrega una solución de 125 ml de Hexametáfosfato de sodio a una concentración de 40g/L o una solución de otro defloculante (Ver norma I.N.V E-124), y se deja de una día para otro.

Si es necesario al otro día se agrega otro poco de agua desmineralizada al platón y se revuelve, luego se vacía en una probeta de sedimentación. Se agrega mas agua para llenar la probeta (hasta 1000ml) y se le pone un tapón adecuado para poder agitar la muestra.

La probeta de sedimentación se mueve de arriba hacia abajo seguidamente hasta cumplir en un minuto 60 giros, obteniéndose una muestra uniformemente distribuida a lo largo de la longitud del frasco.

d. Lecturas del hidrómetro

Se deja la probeta sobre una superficie firme y se coloca a su lado otra probeta pero llena solo de agua limpia. Se toma la temperatura y se introduce lentamente el hidrómetro en la probeta de sedimentación.

Se anotan las dos primeras lecturas en el hidrómetro, al primer y segundo minuto estando el hidrómetro en la suspensión, luego se saca el hidrómetro y se introduce en la probeta auxiliar, cuando se llegue a los tiempos nombrados en la siguiente tabla, se sacara el hidrómetro de la probeta auxiliar y se introducirá nuevamente en la suspensión registrando las lecturas encontradas y el valor de la temperatura en ese momento, luego se regresa el bulbo al agua limpia.

<i>Tiempo</i>	
<i>Hora</i>	<i>Minutos</i>
0,02	1
0,03	2
0,1	5
0,3	15
0,5	30
1,0	60
2,0	120
4,0	240
24,0	1440

Tabla 2.3.2-1: Tiempos de medición en el laboratorio de granulometría por hidrómetro

2.3.2.4 Cálculos para Granulometría por Hidrómetro

Asiéndolo alusión al método presentado en la norma “ASTM D 422 – 63” la prueba de laboratorio permite determinar dos parámetros: El porcentaje de fracción más fina y el diámetro (D) en mm de las partículas del suelo. Los cálculos requeridos se presentan a continuación:

- Hidrómetro No: 152 H.
- Peso seco (W): Peso de la muestra de suelo.
- Agente Dispersante: 125ml
- Corrección de Cero:

Corresponde a la misma corrección por defloculante mas corrección por ceros, se determina por medio de la siguiente relación:

$$-Cd = c' + Cm + Ct \text{ Donde: } Cd = \text{Corrección por defloculante.}$$

c' = Lectura del hidrómetro en agua con defloculante.

Cm = Corrección por menisco

Ct = Corrección por temperatura

La corrección por temperatura se halla para cada lectura y se define según la siguiente tabla:

Temp. (°C)	C_T
15	-1,10
16	-0,90
17	-0,70
18	-0,50
19	-0,30
20	0,00
21	0,20
22	0,40
23	0,70
24	1,00
25	1,30
26	1,65
27	2,00
28	2,50
29	3,05
30	3,80

Tabla 2.3.2-2: Factores de corrección por temperatura C_t . (Fuente: Norma ASTM D 422-63.)

- Lectura corregida R_c :

Se expresa como:

$R_c = R_a - C_d + C_t$, Donde: R_c = Lectura del hidrómetro corregida.

R_a = Lectura real del hidrómetro.

C_d = Corrección por defloculante y cero.

C_t = Corrección por temperatura.

- El porcentaje más fino:

Se define como:

$\% \text{ Mas Fino} = \left(\frac{R_c * a}{W} \right) * 100$, Donde: R_c = Lectura hidrómetro Corregida.

a = Factor de corrección por gravedad específica.

W = Peso seco del suelo.

Según el peso específico de los Sólidos GS (valor que se debe conocer con anterioridad), existe un factor de corrección (a), el cual se presenta en la siguiente tabla:

Gravedad Específica	Factor de corrección
2,95	0,94
2,90	0,95
2,85	0,96
2,80	0,97
2,75	0,98
2,70	0,99
2,65	1,00
2,60	1,01
2,55	1,02
2,50	1,03
2,45	1,05

Tabla 2.3.2-3: Factor de corrección (a), para diferentes gravedades específicas, utilizando Hidrómetro 152-H. (Fuente: Norma ASTM D 422-63.)

- Profundidad efectiva L.

Con el fin de determinar el diámetro de las partículas, se requiere conocer la profundidad efectiva L, la cual se puede determinar según la tabla que se presenta a continuación, a partir de la lectura original de hidrómetro (corregida por menisco solamente).

$$Lectura\ corregida\ menisco\ (R) = R' + C_m$$

Donde: R' = Lectura hidrómetro no corregida.

C_m = Corrección por menisco.

Lectura original del Hidrómetro (corregida por menisco solamente)	Profundidad efectiva L en cm	Lectura original del Hidrómetro (corregida por menisco solamente)	Profundidad efectiva L en cm	Lectura original del Hidrómetro (corregida por menisco solamente)	Profundidad efectiva L en cm
0	16,3	21	12,9	42	9,4
1	16,1	22	12,7	43	9,2
2	16,0	23	12,5	44	9,1
3	15,8	24	12,4	45	8,9
4	15,6	25	12,2	46	8,8
5	15,5	26	12,0	47	8,6
6	15,3	27	11,9	48	8,4
7	15,2	28	11,7	49	8,3
8	15,0	29	11,5	50	8,1
9	14,8	30	11,4	51	7,9
10	17,7	31	11,2	52	7,8
11	14,5	32	11,1	53	7,6
12	14,3	33	10,9	54	7,4
13	14,2	34	10,7	55	7,3
14	14,0	35	10,5	56	7,1
15	13,8	36	10,4	57	7,0
16	13,7	37	10,2	58	6,8
17	13,5	38	10,1	59	6,6
18	13,3	39	9,9	60	6,5
19	13,2	40	9,7		
20	13,0	41	9,6		

Tabla 2.3.2-4: Profundidad efectiva L para uso del Hidrómetro 152-H. (Fuente: Norma ASTM D 422-63.)

- Diámetro D (mm) de las partículas de suelo.

Se expresa como:

$$D(mm) = K \left(\frac{L}{t} \right)$$

Donde:

K = Constante que depende de la temperatura y la gravedad específica del suelo.

L = Profundidad efectiva en cm

t = Intervalo de tiempo desde el inicio de la sedimentación y el momento de la lectura.

La constante K se escoge según la siguiente tabla.

Temp. (°C)	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
16	0,0151	0,0148	0,0146	0,0144	0,0141	0,0139	0,0137	0,0136
17	0,0149	0,0146	0,0144	0,0142	0,0140	0,0138	0,0136	0,0134
18	0,0148	0,0144	0,0142	0,0140	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132
19	0,0145	0,0143	0,0140	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132	0,0131
20	0,0143	0,0141	0,0139	0,0137	0,0134	0,0133	0,0131	0,0129
21	0,0141	0,0139	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127
22	0,0140	0,0137	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0128	0,0126
23	0,0138	0,0136	0,0134	0,0132	0,0130	0,0128	0,0126	0,0124
24	0,0137	0,0134	0,0132	0,0130	0,0128	0,0126	0,0125	0,0123
25	0,0135	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0123	0,0122
26	0,0133	0,0131	0,0129	0,0127	0,0125	0,0124	0,0122	0,0120
27	0,0132	0,0130	0,0128	0,0126	0,0124	0,0122	0,0120	0,0119
28	0,0130	0,0128	0,0126	0,0124	0,0123	0,0121	0,0119	0,0117
29	0,0129	0,0127	0,0125	0,0123	0,0121	0,0120	0,0118	0,0116
30	0,0128	0,0126	0,0124	0,0122	0,0120	0,0118	0,0117	0,0115

Tabla 2.3.2-5: Constante K en función del peso específico (g/cm3) y temperatura. (Fuente: Norma ASTM D 422-63.)

2.4 LIMITES DE ATTERBERG

Los suelos fino-granulares según el grado de humedad o contenido de agua, presentan diferentes comportamientos, que han permitido definir cuatro estados:

- Estado Solido
- Estado Semi-Sólido
- Estado Plástico
- Estado Líquido

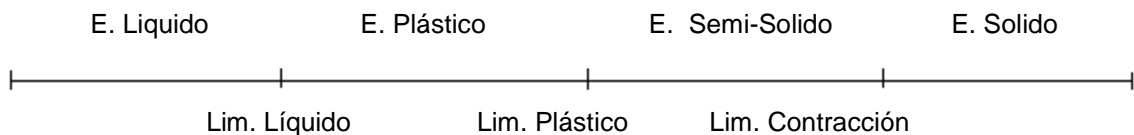
Estos estados están dentro de ciertos rangos de humedad, en los cuales sus límites son llamados Límites de Atterberg.

Cuando el suelo parece un fluido viscoso, y a través de su propio peso o la fuerza de gravedad puede fluir, se dice que el suelo se encuentra en Estado Líquido.

Si el suelo permite que se pueda modelar, o cambiar de forma, se dice que está en Estado Plástico.

Si cuando se trata de modelar el suelo éste se desmorona, se dice que está en estado Semi-Sólido.

Mientras que el estado Solido se considera en el instante en que el suelo deja de estar saturado por reducción de la humedad, lo cual se manifiesta por un color más claro, y por un estado en el que el suelo no perderá más volumen cuando se coloque a secar.



2.4.1 Limite Líquido

El límite líquido de un suelo se considera en el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el Estado Líquido y Estado Plástico²⁰⁾.

En términos del procedimiento que se realiza en el laboratorio se puede entender el Límite Líquido como el valor de la humedad requerida para que dos mitades de una pasta de suelo colocada en la cuchara de Casagrande (Ver equipos) se unen en una longitud de 1/2", bajo el efecto de 25 golpes.

²⁰⁾
 Fuente: Norma I.N.V. E-125.

2.4.1.1 Normativa sobre Límite Líquido.

La norma INVIAS que cubija este laboratorio es “Determinación del Limite Líquido de los Suelos I.N.V. E-125”

Otras normas referentes a esta práctica son:

AASHTO T89
NLT 105

2.4.1.2 Equipos.

Para la realización de la experiencia se necesita:

- Vasija de Evaporación.
- Espátula.
- Cazueta (Cuchara) de Casagrande.
- Ranurador.
- Calibrador.
- Recipientes y Taras.
- Balanza.
- Horno.
- Tamiz No 10(2mm) y No 40(425 μm).



Foto 2.4.1-1: Vasija de Evaporación



Foto 2.4.1-2: Espátula



Foto 2.4.1-3: Cazuela de Casagrande



Foto 2.4.1-4: Ranurador



Foto 2.4.1-5: Calibrador



Foto 2.4.1-6: Recipientes



Foto 2.4.1-7: Taras



Foto 2.4.1-8: Balanza



Foto 2.4.1-9: Horno



Foto 2.4.1-10: Tamiz No 40

2.4.1.3 Procedimiento para la determinación del Límite Líquido.

a. Secado de la muestra al aire

Se toma una muestra de suelo y se coloca en un recipiente adecuado al aire libre con el fin de secar la humedad natural que tiene el suelo durante mínimo un día.



Foto 2.4.1-11: Muestra secada al aire.

b. Tamizado y tamaño de la muestra

Tamizar inicialmente una muestra por el tamiz No 10 (2mm). La muestra retenida no se será utilizada para el ensayo, la muestra que pasa se tamizara nuevamente pero ahora por la malla No 40 (425 μ m) y se toma 100 g como mínimo de la fracción de suelo que pasa esta malla.



Foto 2.4.1-12: Muestra tamizada por malla No 40

Normalmente este ensayo se realiza al mismo tiempo con el ensayo de límite plástico escogiendo como tamaño de la muestra 150 g.



Foto 2.4.1-13: Tamaño de muestra de 154.7 g

c. Ajuste del aparato.

Se verifica las condiciones del aparato de límite líquido y se calibra la altura a la cual se levanta el punto de contacto de la cazuela con la base, de tal manera que esta sea de 1 cm, esta altura se comprueba comparando con la del calibrador.

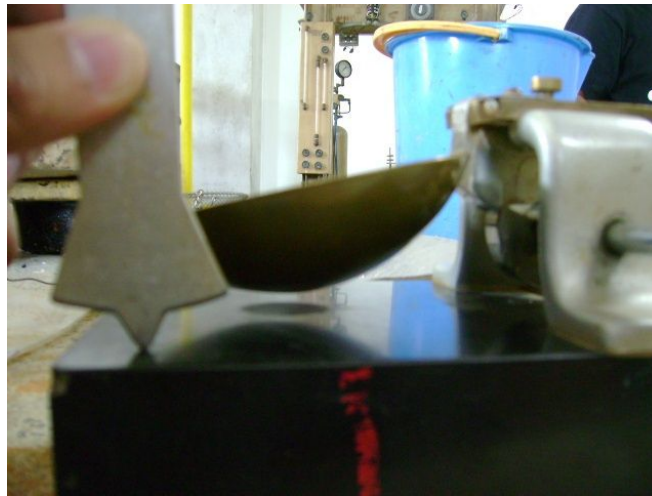


Foto 2.4.1-14: Calibración de la altura requerida para la caída de la cazuela.

d. Preparación de la pasta.

La muestra se coloca en la vasija de porcelana y se le agrega de 15 – 20 ml de agua destilada mezclándola uniformemente con la espátula y amasando hasta conseguir una consistencia pastosa.



Foto 2.4.1-15: Preparación de mezcla en la vasija para ensayo de límite líquido

e. Colocación pasta en la cazuela

Cuando se halla conseguido la muestra optima se coloca una porción de ella en la cazuela comprimiéndola hacia abajo con la espátula, tratando de no incluir burbujas de aire dentro de la masa. Se nivela la mezcla y se empareja hasta que

el calibrador marque 1cm. en el punto de espesor máximo devolviendo a la vasija el material que sobra para conseguir la medida deseada.



Foto 2.4.1-16: Colocación pasta en la cazuela



Foto 2.4.1-17: Medición de espesor de 1 cm con el calibrador

Una vez conseguida la medida de 1cm. Se traza una línea en la parte central con ayuda del ranurador, el cual debe estar previamente mojado para que el suelo no se adhiriera a él, moviéndolo de arriba hacia abajo formando una ranura limpia y con las dimensiones adecuadas.



Fotos 2.4.1-18 y 2.4.1-19: Formación de ranura en la parte central.

f. Cierre de ranura

Se eleva y se golpea la cazuela contra la base, girando la manija a una velocidad de 2 revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de 13 mm (1/2").

Siendo anotado el número de golpes que requirió la muestra para cerrar la ranura.



Foto 2.4.1-20: Cierre de ranura después de un determinado numero de golpes.

g. Medida de humedad

Se traza una línea perpendicular a la ranura, que valla de lado a lado y se toma una muestra del tamaño de la espátula, colocándola en un envase adecuado, se toma su peso junto con el envase y luego se pone a secar en el horno, una vez seco se vuelve a pesar y se determina el peso del agua.



Foto 2.4.1-21 y 2.4.1-22: Trazo de línea perpendicular a la ranura



Fotos 2.4.1-23 y 2.4.1-24: Tamaño de muestra para cálculo de humedad.

h. Repetición del proceso

Se repiten los 3 últimos pasos, por lo menos dos veces más, añadiendo a la muestra cada vez mas agua y limpiado tanto la cazuela como el ranurador siempre antes de empezar nuevamente el ensayo. Se busca con este ensayo obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes necesario para cerrar la ranura se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-30; 20-30; 15-25.

2.4.1.4 Cálculos requeridos para Límite Líquido.

Para cada una de las mediciones se realiza los siguientes cálculos:

- Peso del Agua (g)

$$PA = (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Humedo}) - (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Seco})$$

- Peso Suelo seco PSS (g)

$$PSS = (Peso\ Tara + Suelo\ Seco) - (Peso\ Tara)$$

- Contenido de Agua (Humedad)

$$H(\%) = \left(\frac{PA}{PSS} \right) * 100$$

- *Grafica*

Se grafica los pares de datos de números de golpes contra su valor de humedad, se plantea una regresión lineal entre los puntos graficados y se encuentra el valor de humedad correspondiente a 25 golpes, el dato encontrado será el Limite Liquido o humedad del suelo requerida.

2.4.1.5 Informe de laboratorio de Límite Líquido



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 LIMITES DE ATTERBERTG

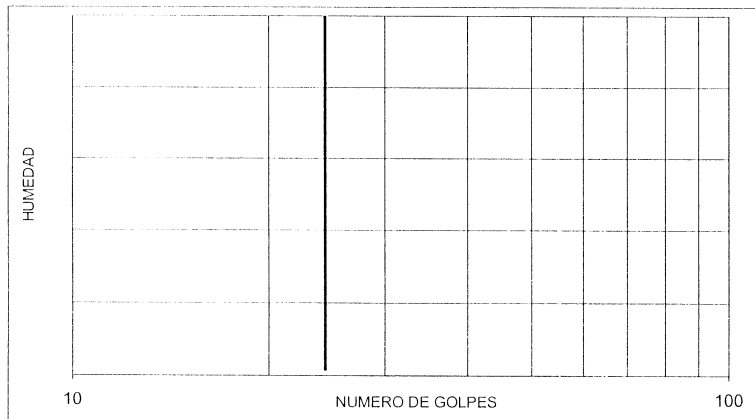
FECHA : _____
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: _____

SONDEO : _____
 MUESTRA : _____
 PROFUNDIDAD : _____

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%

LIMITE PLASTICO



LIMITE LIQUIDO : _____
 LIM. PLASTICO : _____
 IND. DE PLASTI. : _____
 CLASIFICACION SUCS. : _____

Foto 2.4.1-25 Formato para Límites de Atterberg.

2.4.2 Límite Plástico

Se denomina Límite Plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa sin que dichos cilindros se desmoronen ²¹⁾.

También el Límite Plástico se considera como el límite arbitrario entre Estados Plástico y Semisólido según el suelo estudiado.

2.4.2.1 Normativa sobre Límite Plástico

El procedimiento de esta experiencia está regido por la norma INVIAS "Límite Plástico e Índice de Plasticidad I.N.V. E-126".

Otras normas afines son:

NLT 106
AASHTO T90

2.4.2.2 Equipos.

Se debe disponer de:

- Espátula.
- Capsula de evaporación
- Balanza.
- Horno.
- Agua destilada.
- Vidrio o superficie lisa.
- Recipientes y Taras.
- Tamiz No 40(425 μm).

²¹⁾
Fuente: Norma I.N.V. E-126.



Foto 2.4.2-1: Espátula



Foto 2.4.2-2: Capsula de Evaporación



Foto 2.4.2-3: Balanza



Foto 2.4.2-4: Horno



Foto 2.4.2-5: Agua destilada



Foto 2.4.2-6: Recipiente



Foto 2.4.2-7: Taras



Foto 2.4.2-8: Tamiz No 40

2.4.2.3 Procedimiento de Límite Plástico

a. Secado de la muestra al aire

Se toma una muestra de suelo y se coloca en un recipiente adecuado al aire libre con el fin de secar la humedad natural que tiene el suelo durante mínimo un día.



Foto 2.4.2-9: Muestra secada al aire.

b. Tamizado y tamaño de la muestra

Secado el suelo se tamiza por la malla N° 10 (2mm) y la fracción que pasa se tamiza por la malla N° 40 (425µm). De la porción que no es retenida en el ultimo tamizado se toma como mínimo 20 g para realizar el ensayo. Esta cantidad se amasa con agua destilada hasta que una esfera pueda formarse con facilidad.



Foto 2.4.2-10: Mezcla pastosa.



Foto 2.4.2-11: Humedad requerida para el ensayo (Esfera de barro).

Si la muestra se toma del suelo preparado para el ensayo de límite líquido se escogen unos 15 gramos de esta muestra cuando en el proceso de amasado se pueda formar con ella una esfera del material, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla.



Foto 2.4.2-12: Esfera de suelo aplastada entre los dedos.

c. Formación de cilindros y medida de humedad.

Se forma una esfera o elipsoide con el suelo humedecido y se rueda con los dedos sobre una superficie lisa (Vidrio o una hoja de papel) hasta formar cilindros, si se llega a un diámetro de estos cilindros igual a 3mm sin desmoronarse o partirse en trozos, se repite el proceso hasta que los cilindros se dividan en unos de menor longitud.



Foto 2.4.2-13: Formación de cilindros de material humedecido.



Foto 2.4.2-14: cilindro dividido en trozos más pequeños.

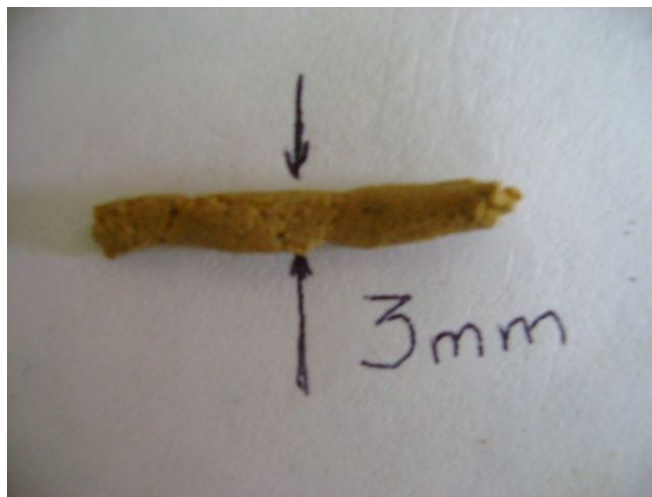


Foto 2.4.2-15: Diámetro de los trozos.

Los trozos de cilindros se colocan en unas taras, hasta reunir aproximadamente 5 g de suelo humedecido en cada una de ellas.

Se pesan las taras con el material, se ponen a secar en el horno hasta el otro día y se mide nuevamente el peso de las taras más suelo después del secado, para determinar la humedad correspondiente que es el límite líquido.



Foto 2.4.2-16: Llenado de tara con trozos de cilindros de material.

2.4.2.4 Cálculos de Límite Plástico

El límite plástico es el valor de la humedad de las muestras estudiadas, el cálculo es el mismo que se realiza en la práctica de humedad.

- Peso del agua (PA):

$$PA = (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Humedo}) - (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Seco})$$

- Peso del Suelo Seco (PSS)

$$PSS = (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Seco}) - (\text{Peso Tara})$$

- Humedad (%)

$$\text{Humedad} = \left(\frac{PA}{PSS} \right) * 100$$

Como son varias pruebas de humedad, el promedio de ellas será el valor de Límite Plástico.

2.4.2.5 Informe de Límite Plástico

Normalmente esta práctica se hace a la vez con el ensayo de Límite Líquido, por ello el formato usado en el laboratorio presenta tablas para las dos experiencias en la misma hoja.



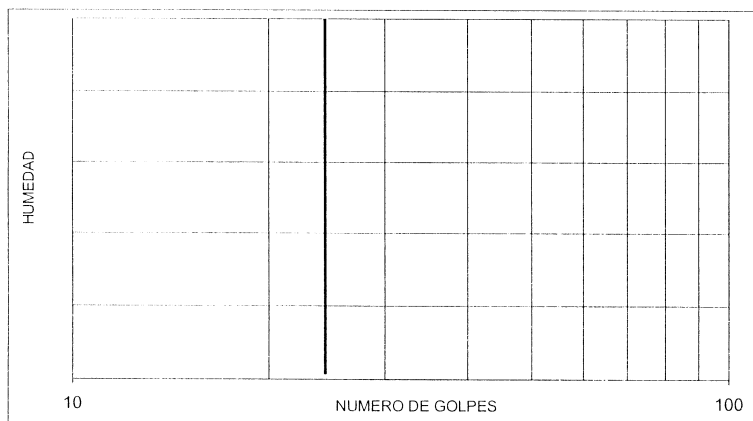
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 LIMITES DE ATTERBERTG

FECHA : _____ SONDEO : _____
 PROYECTO : _____ MUESTRA : _____
 LOCALIZACION: _____ PROFUNDIDAD : _____

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%

LIMITE PLASTICO



LIMITE LIQUIDO : _____
 LIM. PLASTICO : _____
 IND. DE PLASTI. : _____
 CLASIFICACION SUCS. : _____

Foto 2.4.2.17 Formato de Limite Plástico y Limite Líquido.

2.4.3 Límite de contracción

El límite de contracción se expresa como un porcentaje del contenido de agua, y representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, cuando se encuentre en su relación de vacíos más bajas²²⁾.

El límite de contracción también se puede entender como el valor de la humedad que define el límite arbitrario entre los Estados Semi-Sólido y Sólido de un mismo suelo.

2.4.3.1 Normativa sobre Límite de Contracción

La norma INVIAS “Determinación de los Factores de Contracción de los Suelos I.N.V. E-127”, es la que aplica a esta práctica.

Otras normas que también se pueden consultar son:

AASTHO T92
ASTM D427
MOP E-128 (Venezuela)

2.4.3.2 Equipos

- Vasija de Evaporación.
- Espátula.
- Recipiente para contracción.
- Regla.
- Recipiente de vidrio.
- Placa de Vidrio.
- Balanza.
- Mercurio.
- Horno.
- Guantes de Asbesto.
- Caucho para extracción de muestra.
- Tamiz No 40(425 μm).
- Mascara.

²²⁾
Fuente: Norma I.N.V. E-127.

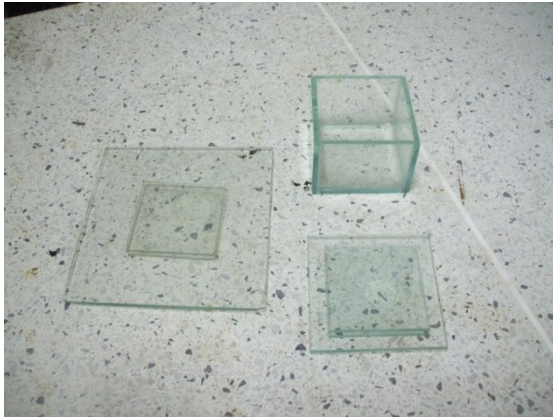


Foto 2.4.3-1: Recipiente de vidrio, placa de vidrio



Foto 2.4.3-2: Espátula



Foto 2.4.2-3: Recipiente de Contracción.



Foto 2.4.3-4: Mercurio.



Foto 2.4.3-5: Horno



Foto 2.4.3-6: Guantes



Foto 2.4.3-7: Mascara de Protección.



Foto 2.4.3-8: Tamiz No 40



Fotos 2.4.3-9: Caucho para extracción de la Muestra

2.4.3.3 Procedimiento de Límite de Contracción

Actualmente la experiencia no se realiza en el laboratorio de suelos del edificio de caracterización de materiales Álvaro Beltrán Pinzón, por ello el procedimiento a continuación no presenta fotografías que permitan aclarar los pasos a seguir durante la experiencia.

a. Tamizado por malla No 40.

Se pone a secar el suelo húmedo traído como muestra de ensayo, hasta el toro día. Luego cuando el material este frío se desmoronan los grumos con la mano y se tamiza la muestra por la malla No 40, hasta que se tenga un tamaño mínimo de 30 gr.

b. Muestra en recipiente de contracción.

En la vasija de evaporación se vacía el suelo seco y se mezcla con agua destilada hasta conseguir una consistencia pastosa, evitando la formación de burbujas de aire.

Se pesa el recipiente de contracción y se reviste su interior con una capa delgada de vaselina o alguna otra grasa, con el fin de evitar que el suelo se adhiera a él.

Una pequeña cantidad de suelo húmedo cercana a la tercera parte del volumen del recipiente de contracción, se colocara en el centro de este y se forzara a que fluya hacia los bordes golpeándolo suavemente sobre una superficie acolchonada (sobre una lanilla dispuesta en la mesa de trabajo) o firme.

Se sigue adicionando suelo y repitiendo los golpes al recipiente hasta que se llene completamente y se rebose por los lados. El exceso del suelo se quitara con una regla metálica y se deberá limpiar del recipiente la parte externa que tenga suelo adherido a él.

Una vez conseguido el volumen deseado se pesa el recipiente más suelo y se deja secar la muestra al aire libre, hasta que cambie de color oscuro a claro. Luego se pone a secar en el horno y se pesa nuevamente la muestra.

c. Volumen de la masa de suelo húmedo (V).

Para conocer la capacidad del recipiente de contracción en cm^3 que es igual al volumen de la masa de suelo húmedo, se llenara el recipiente con mercurio hasta que rebose, eliminando el exceso al hacer presión con la placa de vidrio sobre la parte superior del recipiente. Seguidamente se pesa el recipiente lleno de mercurio.

d. Volumen de la masa de suelo seco (Vo)

Se utiliza un frasco de vidrio de volumen más grande que la masa del suelo (previamente retirada del recipiente de contracción), se llena de mercurio hasta que rebose, se enrasa y se pesa todo el sistema: recipiente más mercurio.

Se coloca la galleta sobre la superficie de mercurio y con ayuda de la placa de vidrio se presiona hacia abajo de manera que quede totalmente sumergida la muestra. Se retira la galleta y se pesa el frasco de vidrio con el mercurio que quedo.

2.4.3.4 Cálculos de Límite de Contracción.

Los cálculos que se necesitan son los siguientes:

- Peso del Agua (PA) presente en el suelo (g):

$$PA = (\text{Peso rpte contraccion} + \text{Suelo Humedo}) - (\text{Peso rpte contraccion} + \text{Suelo Seco})$$

- Peso Suelo Seco (Ws) g:

$$Ws = (\text{Peso rpte contraccion} + \text{Suelo Seco}) - (\text{Peso rpte contraccion})$$

- Contenido de Humedad W (%):

$$W(\%) = \left(\frac{PA}{Ws} \right) * 100$$

Para cada una de las muestras se determina los tres cálculos anteriores.

Cálculo del volumen del recipiente o volumen de muestra húmeda (V).

- Peso de Mercurio (PHg) en recipiente de contracción (g):

$$PHg = (\text{PHg} + \text{peso rpte contraccion}) - (\text{peso rpte contraccion})$$

- Volumen de mercurio (V):

$$V(\text{cm}^3) = \frac{PHg(\text{g})}{\rho_{Hg} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}$$

Donde ρ_{Hg} es la densidad del mercurio. A una temperatura $T = 20^{\circ}C$ y $P = 1 \text{ atm}$ la densidad del mercurio es:

$$\rho_{\text{mercurio Hg}} = 13530 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad ^{23)}$$

$$\rho_{\text{mercurio Hg}} = 13530 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{1000\text{g}}{1\text{Kg}} * \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})^3} = 13,53 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Este es el valor a utilizar. Aunque a veces se acostumbra a emplear por comodidad $13,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

²³⁾
 Fuente: R. Beltrán .Introducción a la Mecánica de Fluidos.

Cálculo del volumen de muestra seca (Vo).

- Peso de Mercurio (PHg1) (g):

$$PHg1 = (PHg + Peso_{recipiente}) - (PHg + Peso_{recipiente} - Galleta)$$

Donde la Galleta corresponde al peso del volumen desplazado de mercurio por la probeta de contracción.

- Volumen de mercurio (Vo):

$$Vo(cm^3) = \frac{PHg1(g)}{\rho_{Hg} \left(\frac{g}{cm^3} \right)}$$

Donde la densidad del mercurio ρ_{Hg} es el mismo valor que se presento en los cálculos anteriores.

Para cada una de las muestras se calcula los volúmenes V y Vo.

- Límite de Contracción (LC):

$$LC = W - 100 * \left(\frac{V - Vo}{Ws} \right) * Gw$$

Donde: W es el contenido de agua (%)

V : Volumen de la muestra de suelo húmedo cm^3

Vo: Volumen de la muestra secada al horno cm^3

Ws: Peso de la muestra seca (g)

Gw: Peso unitario del agua (1 g/cm3)

El Límite de Contracción se determina para cada muestra y se toma el promedio de estos como el LC del suelo estudiado.

- Calculo de la Relación de contracción (R).

$$R = \left(\frac{Ws}{Vo} \right) * Gw$$

Donde: Ws = Peso de la muestra seca.

Vo = Volumen muestra seca.

G_w = Peso unitario del agua.

Se calcula para cada una de las muestras y se encuentra su promedio.

- Peso específico aproximado (G_s):

$$G_s = \frac{1}{\frac{1}{R} - \frac{LC}{100}}$$

Donde: R y LC son la relación y Límite de Contracción de cada prueba, se estima para cada muestra y se toma el promedio como G_s del suelo.

2.4.3.5 Informe de Límite de Contracción.

En el siguiente informe de uso en el laboratorio de suelos, se presenta en la ecuación de Límite de Contracción intercambiados los nombres de los volúmenes, respecto al cálculo anteriormente nombrado que es el presentado por la norma I.N.V. E-127, para no tener errores si se sigue el formato dichos volúmenes ahora serán:

V_o : Volumen de la muestra de suelo húmedo cm^3 , y

V : Volumen de la muestra secada al horno cm^3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 DETERMINACION DEL LIMITE DE CONTRACCION

FECHA: _____
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION: _____
 SONDEO No: _____
 MUESTRA No: _____
 PROFUNDIDAD Mts: _____

CAPSULA #	PESO CAPSULA SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA SUELO SECO	PESO CAPSULA	PESO AGUA	PESO SUELO SECO	HUMEDAD % W _o

PARA LA CAPSULA (Volumen Inicial)

CAPSULA #	PESO DEL HG MAS RECIPIENTE	PESO DE RECIPIENTE	PESO DE MERCURIO	DENSIDAD MERCURIO	VOLUMEN MERCURIO

PARA LA GALLETA (Volumen Final)

CAPSULA #	PESO DEL HG MAS RECIPIENTE	PESO DEL HG+ RECIPIENTE-GALL	PESO DE MERCURIO	DENSIDAD MERCURIO	VOLUMEN MERCURIO

LIMITE DE CONTRACCION = $W_o - [(V_o - V) / W_s] * G_w * 100$

Foto 2.4.3-1: Formato de Laboratorio de Límite de Contracción.

2.5 CORTE DIRECTO

2.5.1 Teoría de laboratorio de Corte Directo.

Un suelo como también otro material estructural, está sometido en general a esfuerzos de compresión, de tracción y de cizalladura. Pero su resistencia a la falla por rotura (ruptura), depende primordialmente de su resistencia a la cizalladura. Los esfuerzos de tracción tienen incidencia en la formación de grietas en una estructura de tierra; no obstante, dado que la mayor parte de los suelos pueden soportar solo pequeños esfuerzos de tracción, y que la resistencia a la falla por compresión pura es tan alta que no tiene importancia práctica, el interés del ingeniero se centra casi por completo en la resistencia al corte ²⁴⁾.

Charles Auguste de Coulomb en su teoría sobre la resistencia al corte de los suelos, plantea una relación entre la cohesión, la fricción interna y la cizalladura, su teoría se condensa en la siguiente ecuación.

$$\tau = C + \sigma * \text{Tang}(\phi)$$

Conocida como la ecuación de Coulomb, en donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte.

C = Cohesión.

σ = Esfuerzo Normal.

ϕ = Angulo de fricción interna del suelo

La prueba de laboratorio como tal, permite determinar las constantes C y ϕ , por medio de una regresión lineal de tres parejas de datos (σ, τ) normalmente, la cual se logra comparando la ecuación de Coulomb con una correspondiente a una línea recta.

$$Y = B + mX$$

Haciendo la semejanza, se encuentra que:

$$\tau = Y$$

$$C = B \text{ (Corte de la recta con la ordenada)}$$

$$\sigma = X$$

$$\text{Tang}(\phi) = m \text{ (Pendiente de la línea recta)}$$

²⁴⁾
 Fuente: Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los Suelos.*

2.5.2 Normativa sobre Corte Directo.

La práctica de Corte Directo se apoya en la norma INVIAS “Determinación de la Resistencia al Corte. Método de Corte Directo (CD) (Consolidado Drenado) I.N.V. E-154”.

Otras normas afines son:

ASTM D 3080
 INCONTEC 1917
 AASHTO T 236

2.5.3 Equipos.

Para la realización de esta experiencia se requiere:

- Dispositivo de Corte Directo.
- Balanza.
- Deformímetro.
- Horno.
- Recipientes.
- Piedras porosas.
- Anillo de Cobre.
- Caucho para extracción de muestra.
- Enrasador o espátula.
- Pesas.
- Agua destilada.



Foto 2.5-1: Dispositivo de Corte Directo



Foto2.5-2: Balanza

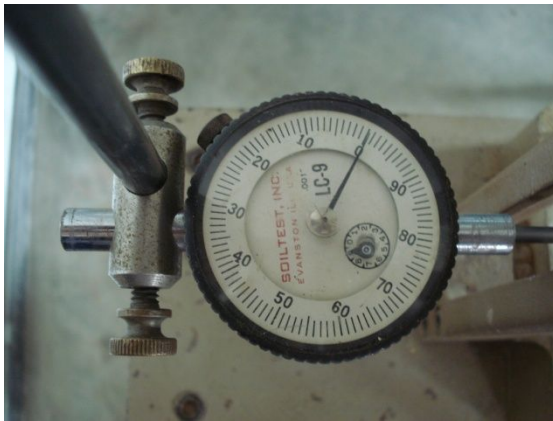


Foto 2.5-3: Deformimetro



Foto 2.5-4: Horno



Foto 2.5-5: Recipientes



Foto 2.5-6: Taras



Foto 2.5-7: Anillos Moldeadores



Foto 2.5-8: Caucho



Foto 2.5-9: Espátula



Foto 2.5-10: Pesas



Foto 2.5-11: Agua Destilada

2.5.4 Procedimiento de Corte Directo.

a. *Muestra inalterada de ensayo.*

De forma similar como se procede en el ensayo de humedad y densidad se obtiene una muestra inalterada con ayuda de un tubo de PVC; se lleva al laboratorio y se cortan tres rebanadas de 5cm de espesor.

b. *Espesor de muestra requerida.*

Se pesan los anillos y se determina su altura y diámetros superior, inferior y central para cada uno. Luego dentro de cada rebanada se introduce un anillo, ya

sea haciendo presión con los dedos o con un gato hidráulico, obteniéndose la muestras de ensayo con las dimensiones adecuadas.



Foto 2.5-12: Introducción de anillo dentro de una rebanada

Se extrae el anillo mas muestra, retirando todo el material de suelo adherido a él.



Fotos 2.5-13 y 2.5-14: Extracción del anillo

c. Colocación de muestra en caja de corte.

Se ensambla la caja de corte y se bloquea introduciendo unos clavos en unos orificios determinados que presenta en su superficie la caja.



Foto 2.5-15: Bloqueo de caja.

Se pone el anillo encima de la caja de tal manera que concuerde con la boca del cilindro donde ira la muestra. Se introduce la muestra en la caja haciendo presión con un caucho sobre el anillo hasta que la muestra este completamente dentro de ella, luego se tapa la muestra.



Foto 2.5-16: Colocación de anillo



Fotos 2.5-17 y 2.5-18: Introducción de la muestra en la caja.



Foto 2.5-19: Cubrimiento de la muestra.

d. Carga de muestra con fuerza normal.

Se lleva la caja mas muestra hasta la máquina de ensayo y se carga con 8000g, verificando que la presión de la carga concuerde con la cabeza de la caja. Se ubica el deformimetro de tal manera que haga presión con la parte móvil de la caja y se pone en ceros.



Foto 2.5-20: Ensamble de caja a máquina de ensayo.



Fotos 2.5-21 y 2.5.22: sistema de carga ubicado correctamente.



Foto 2.5-23: Carga de muestra con 8000g.



Fotos 2.5-24 y 2.5-25: Colocación del deformímetro.

Se coloca el brazo de carga contra la parte móvil de la caja y el lector de carga también en ceros, y se desbloquea la caja sacándoles los clavos.



Fotos 2.5-26 y 2.5-27: Brazo de carga contra parte móvil de la caja y Lector de carga en ceros.



Foto 2.5-28: Desbloqueo de caja.

e. Falla de la muestra

Se aplica la fuerza de corte a la caja moviendo la palanca en contra de las manecillas del reloj y registrando los valores de deformación horizontal cada 10 rayas registradas en el lector de carga, hasta que la carga no aumente más o empiece a bajar, en ese momento la muestra ya ha fallado. Se retira la caja de la maquina y se limpia extrayendo el suelo. De la muestra ensayada se toma una porción para determinar la humedad.



Fotos 2.5-29, 2.5-30 y 2.5-31: Muestra fallada

f. Repetición del proceso

Se repite el proceso para las otras dos muestras las cuales se cargaran normalmente con 16000g y 32000g respectivamente.

2.5.5 Cálculos de Corte Directo.

Se requieren los siguientes cálculos:

- Diámetro promedio del anillo (D_p) cm:

$$D_p = \frac{(Dm_{Superior} + Dm_{Central} + Dm_{Inferior})}{3}$$

Se determina para cada una de las muestras según el anillo utilizado.

- Área del anillo (A_a) cm^2 :

$$A_a = \frac{\pi}{4}(D_p)^2$$

- Peso del Agua PA de la muestra de suelo fallada (g):

$$PA = (Peso\ Tara + Suelo\ Humedo) - (Peso\ Tara + Suelo\ Seco)$$

- Peso del Suelo Seco PSS, de la porción que se vació en las taras, de la muestra fallada (g):

$$PSS = (Peso\ Tara + Suelo\ Seco) - (Peso\ Tara)$$

- Humedad H (%):

La humedad se determina de manera similar que el cálculo que se presenta en el laboratorio de esta misma practica.

$$H(\%) = \left(\frac{PA}{PSS} \right) * 100$$

- Esfuerzo Normal σ .

Para la primera muestra se define como:

$$\sigma \left(\frac{g}{cm^2} \right) = \frac{P1}{A_a} = \frac{8000g}{A_a(cm^2)} \quad \text{o} \quad \sigma \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = \frac{P1}{A_a} = \frac{\left(\frac{8000g}{1000} \right)}{A_a(cm^2)}$$

Donde Aa es el área del anillo. Para la segunda y tercera muestra la carga $P1$ será entonces 16000g y 32000g respectivamente.

- Peso de Muestra húmeda PMh en el en el anillo moldeador (g):

$$PMh = (Peso\ Muestra + Anillo) - (Peso\ Anillo)$$

- Volumen V de muestra humedad (cm^3)

$$V = Aa * (Altura\ Media\ Anillo)$$

- Densidad húmeda de la muestra DHm dentro del anillo ($\frac{g}{cm^3}$):

$$DHm = \frac{PMh\ (g)}{V\ (cm^3)}$$

- Densidad seca de la muestra DSm en ($\frac{g}{cm^3}$):

$$DSm = \frac{DHm}{1 + \frac{H(\%)}{100}}$$

Donde $H(\%)$ es la humedad.

- Lectura de Carga (Kg).

Según el procedimiento y el formato de laboratorio que se presenta más adelante, la lectura de carga se hace cada 10 líneas registradas en el medidor de carga, luego sus valores serán múltiplos de 10 (por ejemplo: 10, 20, 30, ...).

- Carga cortante P en kg:

La carga se encuentra, según el dispositivo mecánico de corte directo del laboratorio de suelos del edificio Álvaro Beltrán Pinzón, con la siguiente relación:

$$P\ (Kg) = 0,1472450452 * (\#\ Lineas) - 0,1963267269$$

- Lectura de deformación horizontal LDH (milésimas de pulgada 0,001")

Es el dato que se toma de la lectura del deformimetro.

- Deformación horizontal DH (mm):

La deformación registrada en el deformimetro está dada en milésimas de pulgada, luego su transformación a mm será la siguiente:

$$DH (mm) = \frac{1}{1000} * LDH'' * \frac{25.4mm}{1''}$$

- Esfuerzo de Corte τ en $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

$$\tau = \frac{P (Kg)}{Aa (cm^2)}$$

Donde P es la carga cortante y Aa es el área del anillo que es el área de la muestra. Este esfuerzo τ se determina para cada una de las cargas cortantes determinadas, de cada una de las muestras.

- Graficas:

Se grafica para cada probeta o muestra: *Carga* en kg (eje Y) vs *Deformación Horizontal* en mm (eje X), o si se calcula el esfuerzo cortante, se grafica entonces $\tau \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$ vs *Deformación Horizontal* en mm en los ejes (Y) y (X) respectivamente.

Se grafica también la relación entre los esfuerzos encontrados en la experiencia. Los pares de datos (X, Y) a graficar son $\left(\sigma \left(\frac{Kg}{cm^2}\right), \tau \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)\right)$, donde el Esfuerzo Normal es constante para cada probeta y el Esfuerzo Cortante respectivo para cada σ será el valor máximo calculado en cada muestra, que corresponde a la relación $\frac{P}{Aa}$ de la máxima lectura de deformación horizontal (LDH) registrada. Se realiza una regresión lineal entre los tres pares de datos y de la ecuación de la recta hallada, se obtiene: el valor de la cohesión del suelo como el punto de corte de la recta con el eje Y, y el ángulo de fricción del mismo como $Tang^{-1}(m)$, donde m es la pendiente de la recta.

2.5.6 Informe de laboratorio de Corte Directo.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

◀ FECHA _____
 ▶ PROYECTO _____
 ▶ LOCALIZACION _____
 ▶ DESCRIPCION _____

DATOS INICIALES

CARGA GR _____	ESFUERZO NORMAL EN GR / CM2 _____
DIAMETRO SUPERIOR EN CM _____	PESO DEL ANILLO EN GRAMOS _____
DIAMETRO CENTRAL EN CM _____	PESO MUESTRA+ANILLO EN GR _____
DIAMETRO INFERIOR EN CM _____	PESO MUESTRA _____
PROMEDIO DIAMETRO EN CM _____	VOLUMEN EN CM3 _____
AREA EN CM2 _____	DENSIDAD HUMEDA EN GR/ CM3 _____
ALTURA MEDIA EN CM _____	DENSIDAD SECA EN GR / CM3 _____
DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN %	
PESO DE LA TARA GR _____	PESO AGUA GR _____
P.TARA + SUELO HUMEDO GR. _____	PESO SECO GR _____
P.TARA + SUELO SECO GR. _____	HUMEDAD % _____

CARGA GR _____	ESFUERZO NORMAL EN GR / CM2 _____
DIAMETRO SUPERIOR EN CM _____	PESO DEL ANILLO EN GRAMOS _____
DIAMETRO CENTRAL EN CM _____	PESO MUESTRA+ANILLO EN GR _____
DIAMETRO INFERIOR EN CM _____	PESO MUESTRA _____
PROMEDIO DIAMETRO EN CM _____	VOLUMEN EN CM3 _____
AREA EN CM2 _____	DENSIDAD HUMEDA EN GR/ CM3 _____
ALTURA MEDIA EN CM _____	DENSIDAD SECA EN GR / CM3 _____
DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN %	
PESO DE LA TARA GR _____	PESO AGUA GR _____
P.TARA + SUELO HUMEDO GR. _____	PESO SECO GR _____
P.TARA + SUELO SECO GR. _____	HUMEDAD % _____

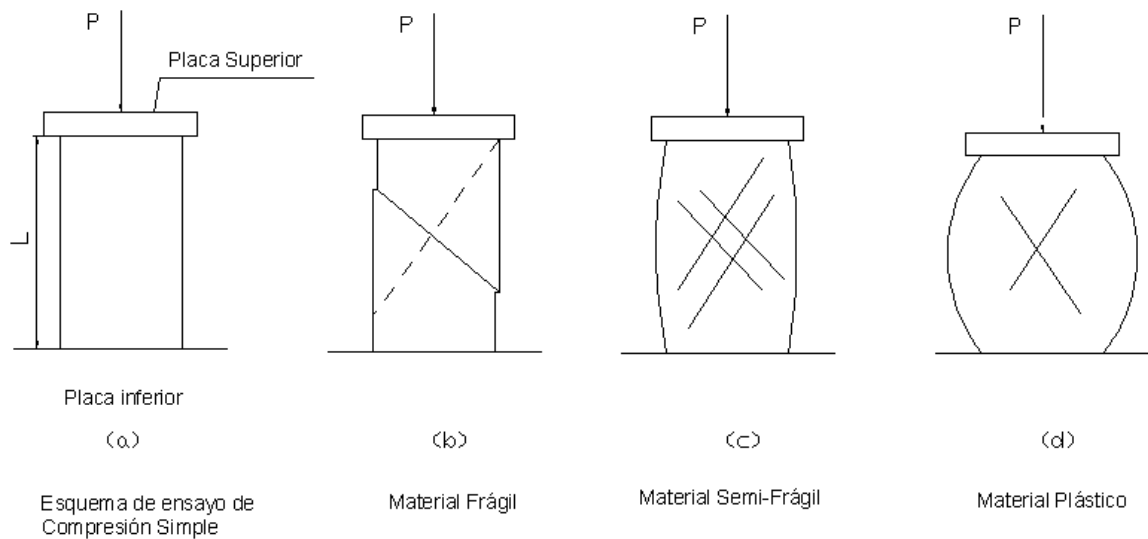
Foto 2.5-32: Formato de Corte Directo para Datos Iniciales.

2.6 COMPRESION SIMPLE.

2.6.1 Teoría de Compresión Simple

Debido a que no existe confinamiento lateral a diferencia de otros ensayos como el de consolidación, la práctica solo aplica a suelos cohesivos, y se basa en aplicar una carga longitudinal de compresión a una probeta, con condiciones inalteradas cuando se extrae del campo, o remoldeadas cuando se fabrica en el laboratorio.

Como no hay soporte lateral la experiencia se conoce como compresión inconfiada, y según las características del suelo, la falla del material puede presentar los siguientes comportamientos:



²⁵⁾
Figura 2.6-1 : Falla de probeta según el material

La resistencia a la compresión inconfiada es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple ²⁶⁾.

La forma como se aplica la compresión a la probeta, hace que esta experiencia sea muy parecida a la que se realiza para probar la resistencia del hormigón a la compresión, su mayor diferencia se centra en el tamaño de la probeta y dispositivo empleado.

²⁵⁾
 Fuente: Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los Suelos.*

²⁶⁾
 Fuente: Norma I.N.V. E-152.

2.6.2 Normativa sobre Compresión Simple.

La norma INVIAS en que se basa esta experiencia es “Compresión Inconfinada en muestras de suelos I.N.V. E-152”.

Otras normas afines respecto a esta práctica, son:

NLT 202
 AASHTO T 208
 ASTM D 2166
 INCONTEC 1527

2.6.3 Equipos.

Se debe disponer de:

- Aparato de Compresión.
- Extractor de muestras.
- Molde para probeta de ensayo.
- Horno.
- Un cronómetro.
- Un calibrador o Regla.
- Balanza.
- Recipientes y taras.



Foto 2.6-1: Aparato de Compresión



Foto 2.6-2: Extractor de muestras + molde de probetas



Foto 2.6-3: Horno



Foto 2.6-4: Cronómetro



Foto 2.6-5: Calibrador



Foto 2.6-6: Balanza



Foto 2.6-7: Recipientes



Foto 2.6-8: Taras

2.6.4 Procedimiento para Compresión Simple.

El procedimiento nombrado a continuación se centra en la manipulación de probetas de suelo compactadas en el mismo laboratorio.

a. Obtención de muestra en estado natural.

Por medio de una excavación a cielo abierto (Apique) o algún otro procedimiento propuesto en las normas de suelos como la I.N.V E-101, se obtiene la muestra para el ensayo de compresión simple.

b. Preparación de probeta compactada.

En un recipiente se vacía una porción de suelo agregándole agua de forma uniforme hasta que el suelo se pueda amasar, desmoronando los grumos que existan y sacando de la muestra las partículas cuyas dimensiones sean inadecuadas comparadas con el diámetro de la probeta.



Foto 2.6-9: Amasado del suelo

Obtenida la mezcla adecuadamente se toma una porción de esta para la determinación de la humedad.

Se pesa el molde (anillo) y se le adiciona el suelo en tres capas comprimiendo o compactando cada una 25 veces, luego se enrasa, se retira el cilindro metálico mas muestra del soporte, se pesa y se lleva al extractor, donde se saca la probeta del molde.



Foto 2.6-10: Compactación de la muestra



Foto 2.6-11: Peso de anillo moldeador más muestra.



Foto 2.6-12 y 2.6-13: Extracción de probeta



Foto 2.6-14: Probeta Extraída

c. Medida de dimensiones.

Se mide el peso de la probeta, la altura y el diámetro en la parte superior, inferior y central.



Foto 2.6-15: Peso de Probeta Extraída

d. Falla a compresión.

Si se requiere se nivela las caras de la probeta para que la fuerza aplicada sea solo axial, por ejemplo: añadiendo una cápita de azufre en la cara defectuosa.

La probeta preparada se coloca en el equipo de compresión, aplicando la fuerza a una velocidad de 15 segundos por cada 10 líneas registradas en el deformímetro,

comprimiendo el suelo hasta que las lecturas en el visor digital de carga empiecen a bajar, en ese momento la muestra ya ha fallado.

Durante la aplicación de la fuerza se debe ir anotando las lecturas de carga de compresión y las registradas en el deformímetro.

De la parte de la probeta que ha fallado se toma una muestra para determinar la humedad y se ubica en taras.



Foto 2.6-16: Compresión de probeta

Este procedimiento se hace para tres probetas o las que se necesiten según la muestra.

2.6.5 Cálculos de Compresión Simple.

Se deben realizar los cálculos siguientes:

- Diámetro promedio de la muestra compactada, extraída del molde (D_{Pm}) cm:

$$D_{Pm} = \frac{(D_{m_{Superior}} + D_{m_{Central}} + D_{m_{Inferior}})}{3}$$

Se determina para cada una de las muestras según el molde (anillo) utilizado.

- Área de la muestra inicial (A_o) cm²:

$$A_o = \frac{\pi}{4} (D_{Pm})^2$$

- Peso del Agua PA de la probeta de suelo fallada (g):

$$PA = (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Humedo}) - (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Seco})$$

- Peso del Suelo Seco PSS, de la porción que se vació en las taras, de la probeta fallada (g):

$$PSS = (\text{Peso Tara} + \text{Suelo Seco}) - (\text{Peso Tara})$$

- Humedad H (%):

Con la misma relación que ya se ha presentado en los cálculos de anteriores laboratorios, la humedad se calcula como:

$$H(\%) = \left(\frac{PA}{PSS} \right) * 100$$

- Peso de Muestra húmeda PMh de la probeta (g):

$$PMh = (\text{Peso Muestra} + \text{Anillo}) - (\text{Peso Anillo})$$

O el peso de la probeta extraída determinado directamente.

- Volumen V de muestra humedad (cm^3)

$$V = A_o * (\text{Altura Media probeta})$$

- Densidad húmeda de la muestra DHm de la probeta ($\frac{g}{cm^3}$):

$$DHm = \frac{PMh (g)}{V (cm^3)}$$

- Densidad seca de la muestra DSm en ($\frac{g}{cm^3}$):

$$DSm = \frac{DHm}{1 + \frac{H(\%)}{100}}$$

Donde $H(\%)$ es la humedad.

- Lectura Deformimetro LD (diez milésimas de pulgada 0,0001")

Las lecturas de carga se realizan cada 10 líneas en el deformímetro, luego los valores en cada una de las filas de esta columna (ver formato), serán múltiplos de 10 e irán aumentando, por ejemplo: 10, 20, 30...., hasta que falle al probeta.

- Deformación Vertical (DV) en cm:

Como el Deformímetro mide en diez milésimas de pulgada, la deformación en cm será:

$$DV = \frac{1}{10000} * LD'' * \frac{2.54 \text{ cm}}{1''}$$

- Carga P (Kg):

Es el valor que se obtiene del medidor de carga digital.

- Deformación unitaria ε :

Corresponde a la relación entre la deformación registrada y la altura media de la probeta o longitud inicial de la muestra L_0 (cm).

$$\varepsilon = \frac{DV}{L_0}$$

Donde: DV = Deformación vertical en cm.

- $1 - \varepsilon$

Es un valor de corrección para determinar el área de la probeta en el momento en que se registra la carga.

- Área corregida A_c (cm^2):

Es la relación entre el área inicial de la probeta A_0 y el valor de corrección.

$$A_c = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

- Esfuerzo Normal σ ($\frac{Kg}{cm^2}$).

Es la relación entre la carga aplicada y el área de la probeta corregida en ese instante. Se define como:

$$\sigma = \frac{P (Kg)}{A_c (cm^2)}$$

Se calcula para cada lectura de carga.

- Esfuerzo de Corte Q_u :

Corresponde al valor del esfuerzo al cual fallo la probeta y se conoce como *resistencia a la compresión simple*: Q_u o q_u . Se determina con el valor de la carga crítica P_{cr} que es el valor máximo registrado en la columna de Carga en Kg (ver formato).

$$Q_u = \frac{P_{cr}}{A_c}$$

- Cohesión C :

Se considera como:

$$C = \frac{Q_u}{2} \quad \text{o} \quad C = \frac{q_u}{2}$$

- Graficas:

Se grafica para cada probeta $\sigma \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$ esfuerzo normal (eje Y) vs Deformación Unitaria ε (%) (eje X).

2.6.6 Informe de laboratorio de Compresión Simple.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DATOS INICIALES ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

FECHA _____
 PROYECTO _____
 LOCALIZACION _____

MUESTRA 1

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

DIAMETRO SUPERIOR EN CM _____
 DIAMETRO CENTRAL EN CM _____
 DIAMETRO INFERIOR EN CM _____
 PROMEDIO DIAMETRO EN CM _____

PESO DEL ANILLO EN GRAMOS _____
 PESO MUESTRA+ANILLO EN GR _____
 PESO MUESTRA _____
 VOLUMEN EN CM3 _____

AREA EN CM2 _____

DENSIDAD HUMEDA EN GR/CM3 _____

ALTURA MEDIA EN CM _____

DENSIDAD SECA EN GR / CM3 _____

DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN %

PESO DE LA TARA GR _____
 P.TARA + SUELO HUMEDO GR. _____
 P.TARA + SUELO SECO GR. _____

PESO AGUA GR _____
 PESO SECO GR _____
 HUMEDAD % _____

MUESTRA 2

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

DIAMETRO SUPERIOR EN CM _____
 DIAMETRO CENTRAL EN CM _____
 DIAMETRO INFERIOR EN CM _____
 PROMEDIO DIAMETRO EN CM _____

PESO DEL ANILLO EN GRAMOS _____
 PESO MUESTRA+ANILLO EN GR _____
 PESO MUESTRA _____
 VOLUMEN EN CM3 _____

AREA EN CM2 _____

DENSIDAD HUMEDA EN GR/CM3 _____

ALTURA MEDIA EN CM _____

DENSIDAD SECA EN GR / CM3 _____

DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN %

PESO DE LA TARA GR _____
 P.TARA + SUELO HUMEDO GR. _____
 P.TARA + SUELO SECO GR. _____

PESO AGUA GR _____
 PESO SECO GR _____
 HUMEDAD % _____

Foto 2.6-17: Formato de Compresión Simple para Datos Iniciales.

2.7 COMPACTACION EN LABORATORIO CON PROCTOR MODIFICADO

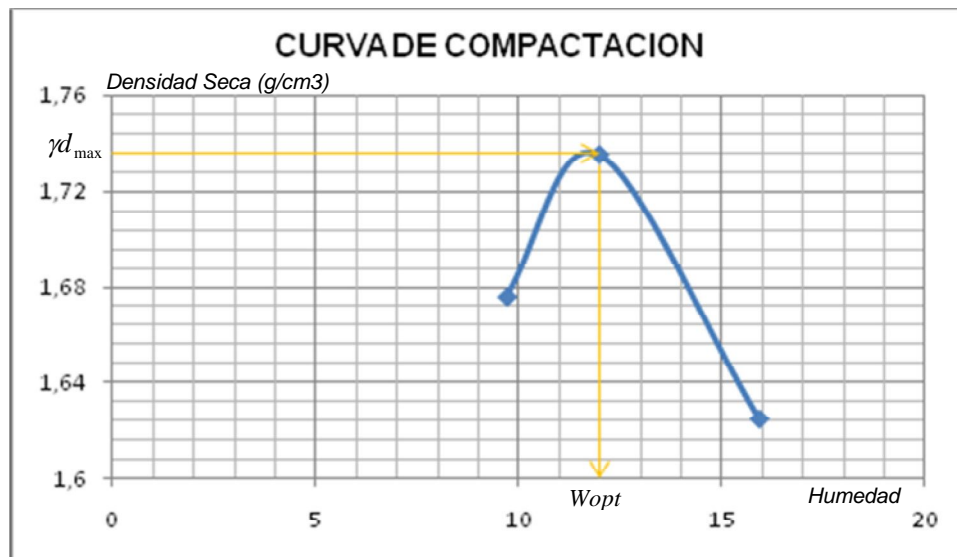
2.7.1 Teoría de Compactación en laboratorio.

Cuando se compacta un material se busca es disminuir el volumen de vacíos, haciendo que el suelo sea más resistente, menos deformable y menos permeable. La compactación en esta experiencia se hace utilizando medios mecánicos, generando un proceso de compactación artificial que pretende simular la compactación en el terreno, por medio de un ensayo de laboratorio.

El inicio de la compactación tal como se hace en el laboratorio, nace en el método de Proctor Estándar que aunque es muy similar con el método que actualmente se utiliza, difiere respecto a este, en el peso del martillo o pisón, la altura de caída y el número de capas.

El método de mayor uso es el Proctor Modificado, que emplea cinco capas compactadas cada una en su sección transversal con un pisón que pesa 10lb (4.53 Kg) y a una altura de caída de 18" (45,72 cm).

Los datos encontrados en el laboratorio permiten generar la Curva de compactación del suelo de la cual se obtienen los valores de *Densidad Seca máxima* $\gamma_{d_{max}}$ y la *Humedad Optima* W_{opt} , que es el valor de la abscisa de la densidad seca máxima.



Grafica 2.7-1: Curva de compactación.

Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm³)
9,71	1,676
11,98	1,735
15,92	1,625

27)
Tabla 2.7-1: Datos de Curva de Compactación

2.7.2 Normativa sobre Compactación con Proctor Modificado.

Esta práctica es guiada por la norma INVIAS “Relaciones de Peso Unitario – Humedad en los Suelos Equipo Modificado I.N.V. E-142”.

Otras normas que se pueden consultar son:

AASHTO T 180
 ASTM D 1557

2.7.3 Equipos

Se requiere para el ensayo de laboratorio:

- Moldes.
- Martillo.
- Dispositivo para extracción de muestras.
- Balanzas.
- Horno.
- Regla metálica o enrasador.
- Recipientes y Taras.
- Cuarteador.
- Probeta Graduada.
- Pisón.

27)
 Fuente: Datos de laboratorio de suelos realizado en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón.



Foto 2.7-1: Moldes



Foto 2.7-2: Martillo.



Foto 2.7-3: Dispositivo para extracción de muestras

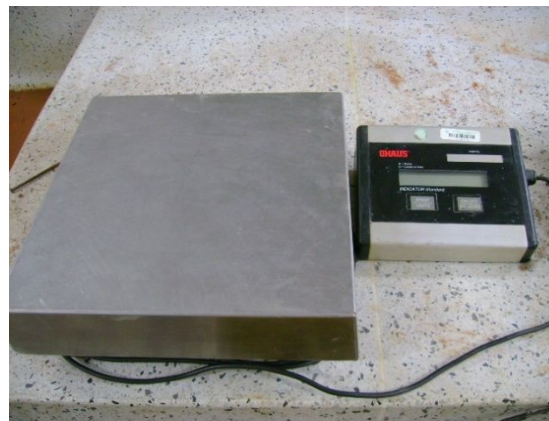


Foto 2.7-4: Balanza.



Foto 2.7-5: Horno



Foto 2.7-6: Enrasador.



Foto 2.7-7: Recipiente



Foto 2.7-8: Taras



Foto 2.7-9: Cuarteador



Foto 2.7-10: Probeta Graduada



Foto 2.7-11: Pisón.

2.7.4 Procedimiento para Compactación en Laboratorio.

a. Secado de muestra

La muestra se seca al aire o en el horno durante un día, antes de empezar el ensayo de compactación.



Foto 2.7-12: Muestra secada al aire.

b. Muestra de trabajo

Se escoge 5000gr que pase el tamiz de 4.75mm (No 4) y se vacían en un recipiente adecuado (cuarteador) donde se desintegran los grumos y se humedece.



Fotos 2.7-13 y 2.7-14: Desintegración de grumos.

Nota: Para evitar el tamizado se puede realizar un examen visual sacando de la muestra aquellas partículas que sea de tamaño apreciable o que puedan ser retenidas en la malla No 4, cuando el suelo es apreciablemente fino.

c. Compactación

Se pesa el molde + placa y se arma el sistema agregando a estos el anillo. Luego se humedece la muestra con una cantidad de agua que corresponda al 4% de su peso pero asumiendo este valor como si fueran en mililitros, mezclando uniformemente con una espátula o con la mano hasta que el color sea igual en toda la muestra.



Foto 2.7-15: Humectación de la muestra.

Obtenida la mezcla óptima se vacía esta en el sistema previamente conformado en 5 capas, compactando cada una 25 veces.



Foto 2.7-16: Sistema placa + molde + anillo

La compactación se realiza moviendo el martillo en toda el área la capa vaciada, con el fin de lograr una compactación uniforme.



Foto 2.7-17 y 2.7-18: Vaciado de muestra en molde.



Foto 2.7-19 y 2.7-20: Compactación de capas diferentes.

d. Muestra total en molde

Se retira el anillo del molde y se enrasa con una regla metálica, para obtener una muestra compactada que sea de igual tamaño del molde utilizado. Luego se pesa el sistema que quedo.



Foto 2.7-21: Enrase de muestra



Foto 2.7-22: Peso del molde más muestra compactada

e. Determinación de humedad y repetición del proceso

Se toma unas muestras de las caras inferior y superior del suelo compactado, ubicándolas en taras para la determinación de la humedad. Después se termina de retirar en su totalidad el suelo del molde y se repite el proceso de los pasos **c** al **e** sin cambiar de suelo y destruyendo siempre los grumos que se hubieran formado por la compactación anterior, hasta que el peso del molde más suelo compactado sea inferior al valor obtenido inmediatamente antes.

2.7.5 Cálculos de laboratorio de Compactación

Las casillas necesarias del formato, mostrado en la siguiente sección, que se deben llenar incluyendo sus cálculos son:

- Humedad Adicional (%):

Corresponde al porcentaje de agua de humectación que se va a utilizar, respecto al peso de toda la muestra.

- Agua Adicional (c.c.):

Es la cantidad de agua que se utilizo en c.c., para humedecer la muestra de suelo en cada medida.

- Peso Muestra Húmeda + Molde (g):

Corresponde al peso de la muestra compactada más el recipiente donde se compacto, para cada medición.

- Peso del Molde (g):

Es el peso del molde donde se compacta la muestra para cada ensayo.

- Peso Muestra Húmeda PMH (g):

Corresponde a la diferencia de los dos ítems anteriores.

$$PMH = (Peso\ Muestra\ Humeda + Molde) - (Peso\ Molde)$$

- % Humedad Horno $H(\%)$:

Es la humedad del suelo en cada medición de compactación registrada. Se calcula con las porciones de suelo vaciadas en las taras después de cada medida. Su cálculo es igual que el presentado en los anteriores laboratorios.

$$H(\%) = \left(\frac{PA}{PSS} \right) * 100$$

Donde: PA = Peso del agua de la porción de suelo que se vació en cada tara.

PSS = Peso del suelo seco de la porción de suelo en las tara respectivas.

- Volumen del molde $Vm (cm^3)$:

Se determina midiendo las dimensiones de Diámetro interno del molde y altura libre del mismo. Luego se evalúan en la ecuación del volumen de un cilindro.

$$Area (cm^2) = \frac{\pi}{4} (Diametro Molde)^2$$

$$Vm (cm^3) = (Area) * (Altura Libre Molde)$$

- Densidad Muestra Seca $DMs \left(\frac{g}{cm^3} \right)$:

Primero se determina la Densidad Húmeda DMh como:

$$DMh = \frac{PMH}{V}$$

Donde: PMH = Peso de muestra húmeda.

V = Volumen de la muestra, que corresponde al mismo volumen del molde.

Luego utilizando el valor de humedad en cada prueba, se determina la densidad seca como:

$$DMs = \frac{DMh}{1 + \frac{H(\%)}{100}}$$

- Grafica:

Se grafica los pares de datos $(H (\%); DMs)$ de las mediciones realizadas, y a simple vista se escoge como γd_{max} el máximo valor que presenta la curva en el eje (Y), y como Humedad Optima W_{pot} la humedad correspondiente al γd_{max} en el eje (X).

2.8 DENSIDAD EN EL CAMPO (CONO DE ARENA)

2.8.1 Teoría para la determinación de la densidad por el método del Cono de Arena.

Aunque el principio del método de cono de arena, hacer un hueco en el terreno y pesar el suelo extraído, es aplicable a otros métodos como llenar de aceite el hueco o llenar de agua una bomba o vejiga que se coloca dentro de la cavidad, su diferencia se centra en el cálculo del volumen del hueco. Para ello se apoya de una botella, un embudo y una válvula, que junto con una arena especial, generalmente arena de Ottawa o arena uniforme, permiten determinar la densidad en el terreno.

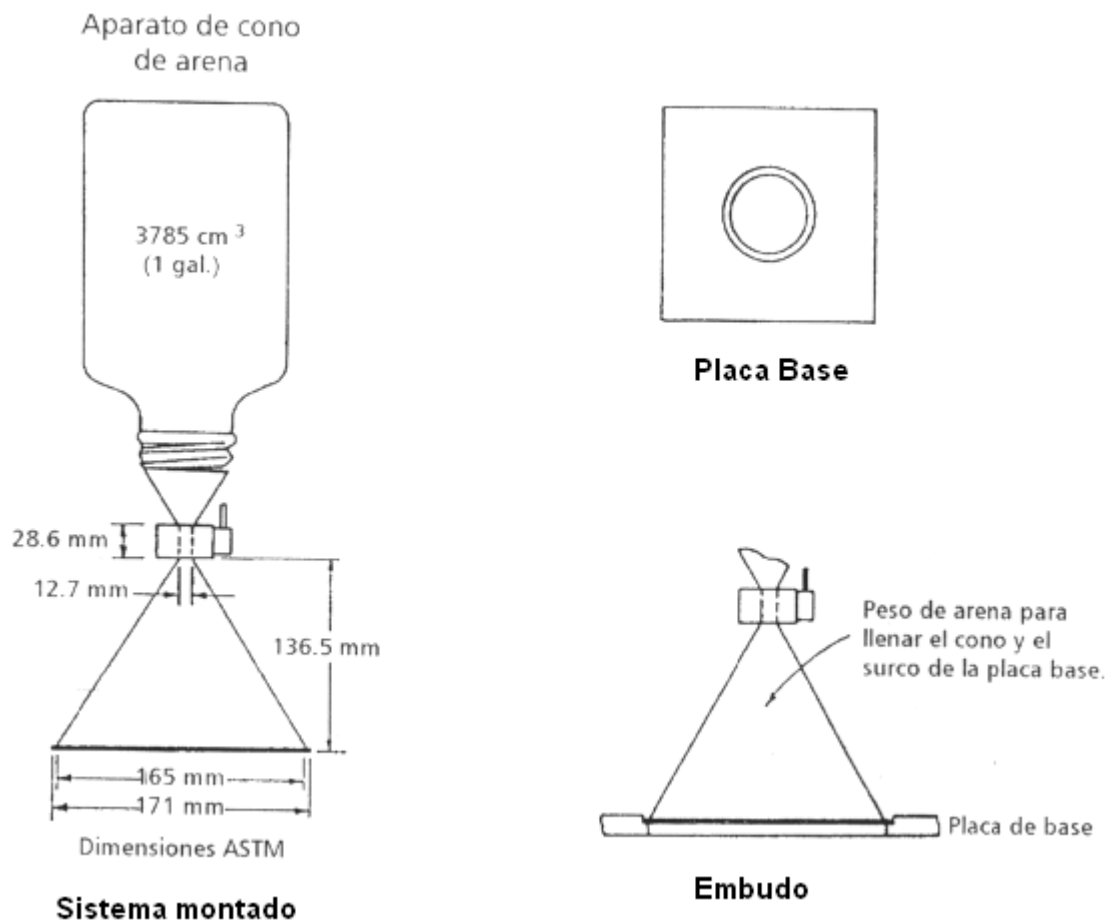


Figura 2.8-1²⁸⁾ : Dispositivo para determinar la densidad en el terreno

²⁸⁾
 Fuente: Norma I.N.V E-161

2.8.2 Normativa sobre Cono de Arena.

La norma INVIAS que aplica esta experiencia es “Peso Unitario del Suelo en el Terreno Método del Cono de Arena I.N.V. E – 161”.

Otras normas afines son:

AASHTO T 191
ASTM D 1556

2.8.3 Equipos.

Se requiere:

- Dispositivo Cono de Arena.
- Recipientes y taras.
- Balanza.
- Horno.
- Cinta métrica.
- Arena.
- Cuchara.



Foto 2.8-1: Dispositivo de cono de arena, cinta métrica y utensilios.



Foto 2.8-2: Recipientes.



Foto2.8-3: Taras.



Foto 2.8-4: Balanza.



Foto 2.8-5: Horno.



Foto 2.8-6: Cuchara, arena, balde.

2.8.4 Procedimiento de la densidad en el campo, por el método de Cono de Arena.

a. Cálculo del volumen del frasco.

El volumen se determinara pesando inicialmente el frasco vacío y luego pesándolo lleno de agua, repitiendo este proceso por lo menos dos veces, para obtener un valor promedio.

El volumen se calculara con la siguiente relación:

Volumen del frasco = VF

Peso frasco vacío = PF

Peso del frasco lleno de agua = PFA

Densidad del agua = $\rho_{agua} = 1 \frac{g}{cm^3}$

$$VF = \frac{PFA - PF}{\rho_{agua}}$$

Antes de cada medida secar el frasco y verificar si la temperatura del agua es similar.

b. Cálculo del peso unitario de la arena.

Definido el volumen del frasco se llena este de arena de Ottawa o la de uso en el laboratorio y se mide su peso en una balanza. Se calcula el peso unitario de la arena con la siguiente expresión.

Densidad o peso unitario de arena = ρ_{arena}

Peso del frasco lleno de arena = PFa

Peso frasco vacío = PF

Volumen del frasco = VF

$$\rho_{arena} = \frac{PFa - PF}{VF}$$

Si se conoce previamente el peso de la densidad de la arena, no hay necesidad de realizar los dos pasos nombrados anteriormente. El procedimiento se inicia pesando el frasco con una cantidad de arena suficiente como se aprecia en la siguiente imagen y luego se realiza los demás pasos.



Foto 2.8-7: Peso de frasco con arena.

c. Contenido de arena en el embudo.

Se coloca el embudo al frasco lleno de arena y se voltea el sistema de tal forma que el embudo quede bocabajo sobre una superficie plana, se abre la válvula para que la arena salga y se cierra cuando no se vea fluir mas arena. Luego se pesa el tarro con la arena que quedo para conocer el contenido de la arena en el embudo en peso.



Foto 2.8-8: Determinación de la arena en el embudo.

d. Determinación del peso unitario en el terreno.

Se traslada al campo el equipo de cono de arena como quedo en el anterior paso, incluyendo recipientes adecuados para el manejo de la muestra.

Si se requiere se debe nivelar la superficie antes de proceder con el procedimiento.

Se coloca la placa guía y se hace un hueco de forma cónica de una profundidad de 10 cm a 12 cm. aproximadamente. Después se coloca el sistema bocabajo, se abre y se cierra el la válvula del cono como se realizo en el paso anterior.

Se pesa el frasco menos la arena que se vació en el orificio y se pesa el suelo que fue removido.

Del material extraído al realizar el hueco en el terreno, se toma una muestra en tres taras para determinar la humedad.



Foto 2.8-9 y 2.8-10: Demarcación, excavación y toma de muestra del hueco



Foto 2.8-11: Medida de la profundidad del hueco.



Foto 2.8-12 y 2.8-13: Vaciado de arena



Foto 2.8-14 y 2.8-15: Retiro de arena



Foto 2.8-16 y 2.8-17: Peso del suelo removido y de la arena que quedo después de la excavación.

2.8.5 Cálculos de la densidad en el campo, por el método de Cono de arena.

Calibración de arena en el cono

- Peso total PT (g):

Es el peso total del frasco lleno de arena mas el embudo, con el cual se inicia la prueba.

- Peso final PF(g):

Es el peso del frasco con arena, una vez vaciada una cantidad de arena igual al volumen del embudo.

- Peso de la arena en el cono PAC (g):

Es la resta de los pesos anotados anteriormente.

$$PAC = PT - PF$$

Ensayo de densidad

- Peso inicial cono de arena PICA (g):

Es el peso del frasco mas arena mas embudo que se lleva al campo.

- Peso final cono de arena PFCA (g):

Es el peso del sistema (Frasco + arena + embudo) cuando se vació la arena para llenar el hueco que se hizo en el campo.

- Peso de la arena en el cono y hueco PACH (g):

$$PACH = PICA - PFCA$$

- Peso arena-hueco PAH (g):

Es la diferencia entre el peso de la arena cono-hueco y la arena del cono.

$$PAH = PACH - PAC$$

- Densidad de arena DA (g/cm³):

Este valor se determina en la primera parte del procedimiento del ensayo del cono de arena.

- Volumen del Hueco VH (cm³):

Es la relación entre el peso de la arena del hueco y la densidad de la arena.

$$VH = \frac{PAH}{DA}$$

- Peso del material extraído PM (g):

Es el peso del suelo removido durante la excavación en el campo.

- Peso específico húmedo PEH (g/cm³):

Es la relación: $PEH = \frac{PM}{VH}$

- Peso específico seco PES (g/cm³):

$$PES = \frac{PEH}{1 + \frac{H(\%)}{100}}$$

Donde: H(%) = Valor de la humedad que se determinara más adelante.

Humedad Natural

- Peso frasco PFr (g):

Es el peso de la tara o recipiente donde se coloca una parte o su totalidad del suelo extraído.

- Peso frasco más Suelo Húmedo PFSH (g):

Es el peso del recipiente mas el suelo colocado en el.

- Peso del frasco más Suelo Seco PFSS (g):

Es el peso del recipiente más suelo una vez se ha secado este.

- Peso del agua PA (g):

$$PA = PFSH - PFSS$$

- Peso del suelo seco PSS (g):

$$PSS = PFSS - PFr$$

- Humedad H(%) :Corresponde al mismo cálculo que se realiza en las pruebas de límites y humedad.

$$H(\%) = \left(\frac{PA}{PSS} \right) * 100$$

2.8.5 Informe de Cono de Arena.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE DENSIDAD EN EL TERRENO(METODO CONO DE ARENA)

FECHA:
 PROYECTO:
 LOCALIZACION:
 EMPRESA:

CALIBRACION DE LA ARENA EN EL CONO

PESO TOTAL GR				
PESO FINAL GR				
PESO ARENA EN EL CONO GR				

ENSAYO DE DENSIDAD

NOMBRE				
PESO INICIAL CONO-ARENA GR				
PESO FINAL CONO-ARENA GR				
PESO DE LA ARENA EN EL CONO Y HUECO				
PESO ARENA - HUECO GR				
DENSIDAD ARENA GR/CM3				
VOLUMEN DEL HUECO CM3				
PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO GR				
PESO ESPECIFICO HUMEDO GR/CM3				
PESO ESPECIFICO SECO GR/CM3				
PESO ESPECIFICO MAXIMO GR/CM3				
COMPACTACION %				
HUMEDAD %				

HUMEDAD NATURAL

FRASCO No				
PESO FRASCO GR				
PESO FRASCO +SUELO HUMEDO GR				
PESO FRASCO +SUELO SECO GR				
PESO AGUA GR				
PESO SUELO SECO GR				
HUMEDAD %				

Foto 2.8-18: Formato de laboratorio de cono de arena.

2.9 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS.

Cuando se habla de permeabilidad de los suelos se hace alusión a la mayor o menor facilidad con que el agua puede fluir a través de los espacios vacíos, en donde se expone que para velocidades pequeñas el caudal (cm³/s) queda expresado como:

$$Q = \left(\frac{\delta V}{\delta t} \right) = K * A * i \quad 29)$$

Donde: A = Área de sección transversal del filtro

i = Gradiente hidráulico del flujo.

K = Constante de permeabilidad del suelo.

$$\frac{\delta V}{\delta t} = \text{Variación de agua/volumen en el tiempo.}$$

Para medir el coeficiente de permeabilidad existen varios procedimientos, uno llamados “Directos” debido a que se soportan en pruebas que se centran en buscar la medición del coeficiente, y otros llamados “Indirectos” que buscan otros fines, y que de forma secundaria permiten estimar el valor de la constante de permeabilidad.

Estos métodos son los siguientes ³⁰⁾ :

a) Directos:

1. Permeámetro de Carga Constante.
2. Permeámetro de Carga Variable.
3. Prueba directa de los suelos en el lugar.

b) Indirectos:

1. Cálculo a partir de la curva granulométrica.
2. Cálculo a partir de la prueba de consolidación.
3. Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad.

²⁹⁾ ³⁰⁾
 Fuente: y Eulalio Juárez Badillo – Alfonso Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos. Tomo 1*

2.9.1 Permeabilidad de los suelos por el método de Cabeza Constante.

El procedimiento de cabeza constante es sencillo y se basa en medir la cantidad de agua en cm^3 o ml que atraviesen en un tiempo t *determinado* una muestra de suelo compactada dentro del permeámetro, con un espesor L y una área transversal A . El agua que fluye a través de la muestra se encuentra a una cabeza de presión h , que se mantiene constante durante en ensayo. Esta prueba es recomendable para suelos granulares y que no sean poco permeables.

2.9.1.1 Normativa de Permeabilidad Cabeza Constante:

La norma INVIAS que rige este laboratorio es “Permeabilidad de Suelos Granulares (Cabeza Constante) I.N.V E-130”.

Otras normas son:

AASHTO T 215
ASTM D 2434

2.9.1.2 Equipos:

Se debe disponer de:

- Permeámetro.
- Embudo.
- Compactador de muestra
- Bomba de Vacío.
- Manómetros.
- Balanza.
- Cronometro.
- Recipiente.
- Tamiz No 40.
- Probetas Graduadas.
- Calibrador o Regla métrica.



Foto 2.9.1-1: Permeámetro.



Foto 2.9.1-2: Piedras porosas.



Foto 2.9.1-3: Embudo, probeta y manómetro.



Foto 2.9.1-4: Compactador de Muestra.



Foto 2.9.1-5: Balanza.



Foto 2.9.1-6: Cronometro



Foto 2.9.1-7: Recipiente.



Foto 2.9.1-8: Tamiz No 40

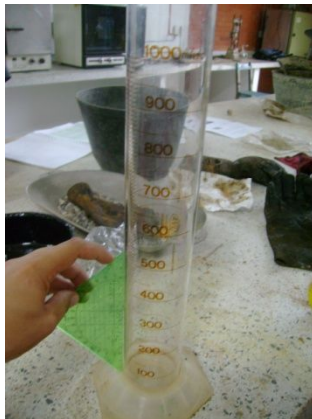


Foto 2.9.1-9: Probeta Graduada



Foto 2.9.1-10: Calibrador



Foto 2.9.1-11: Termómetro

2.9.1.3 Procedimiento para determinar la permeabilidad por el método de Cabeza Constante.

a. SECADO Y PREPARACION DE LA MUESTRA



Foto 2.9.1-12: Muestra secada al aire

Previamente la muestra es secada al aire durante un día. Pasado el tiempo por medio de un proceso de cuarteo se escoge un tamaño de muestra que sea suficiente para llenar el permeámetro con un suelo cuyos diámetros estén entre la malla $\frac{3}{4}$ " y No 200.

Para ello el suelo escogido se tamiza por una de las mallas contenidas en este rango (puede ser la malla $\frac{3}{4}$ ") y luego por malla No 200 para disminuir el contenido de finos en la muestra.



Fotos 2.9.1-13 y 2.9.1-14: tamizado por malla No 40.

b. PREPARACIÓN DEL PERMEÁMETRO

Se mide inicialmente el diámetro (D) interior del permeámetro para calcular el área (A) de la sección transversal de la muestra.

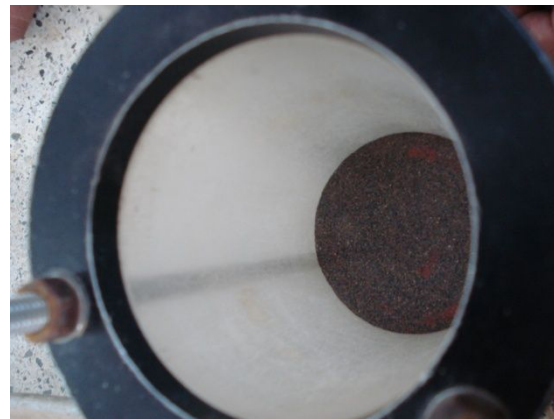


Foto 2.9.1-15: Medición del diámetro interior.

Dentro del permeámetro se ubica parcialmente el número total de piedras porosas que se van a utilizar en el ensayo, se ajusta la tapa y se determina su peso (W1).

c. VACIADO DE MUESTRA EN EL PERMEAMETRO

Se retira la tapa del permeámetro y se sacan la mitad de las piedras utilizadas en la medición del peso W1, dejando por los menos 1 o 2 piedras de igual diámetro del permeámetro, que serán las que estén directamente en contacto con el suelo, evitando que la muestra pase mas allá del espesor inferior formado por las piedras porosas.



Fotos 2.9.1-16 y 2.9.1-17: Colocación del espesor poroso inferior.

Luego se vacía el suelo en el permeámetro en 5 capas, compactando cada una 25 veces con el pisón, distribuyendo uniformemente los golpes en toda la sección transversal de la capa.



Fotos 2.9.1-18 y 2.9.1-19: Vaciado y compactación de la primera capa.

El espesor total de las capas de suelo debe ser tal que garantice el espacio para el resto de las piedras porosas, que se ubicaran encima del suelo vaciado.



Fotografía 2.9.1-20: compactación de la quinta capa.

Cuando se llegue a la última capa se nivela la superficie superior de la muestra colocando una piedra porosa encima y rotándola suavemente a derecha e izquierda.

Las piedras porosas restantes se colocan en orden inverso a las ensambladas en el espesor poroso inferior, empezando por las piedras de diámetro igual al del cilindro del permeámetro, de tal manera que quede el suelo en medio de dos espesores porosos sin oportunidad de que fluya a lo largo de alguno de ellos.

d. SELLO A PRUEBA DE AIRE Y MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

Se ajusta la tapa al permeámetro presionando hacia abajo la placa superior contra el resorte, fijándola de manera segura a la parte superior del cilindro, produciendo así un sello a prueba de aire donde se mantiene el peso unitario inicial del suelo sin cambio de volumen durante el ensayo.



Fotos 2.9.1-21 y 2.9.1-22: Colocación de sello a prueba de aire.

Se pesa todo el sistema (W_2) y se determina el peso del suelo en el permeámetro como la resta de $W_2 - W_1$, luego se mide el espesor del suelo (L) en medio de las capas porosas.



Foto 2.9.1-23: Determinación del espesor del suelo.

e. FLUJO DE AGUA SIN CONTENIDO DE AIRE

Se conecta al permeámetro en la válvula superior una bomba de vacío o aspiradora adecuada bajo una presión mínima de 500mm (20”) de mercurio, durante 15 minutos con el fin de remover el aire de los vacíos y adherido a las partículas.

Buscando que el flujo a través del suelo no contenga burbujas de aire, se ensaya la manguera de conducción por separado, haciendo pasar agua a una taza constante.



Foto 2.9.1-24: Flujo inicial de evacuación de aire en la manguera.

Para ello con ayuda de una probeta se vacía el agua a través del embudo hasta que no aparezca ninguna burbuja de aire en algún sector a lo largo de la longitud de la manguera, tratando de mantener constante el flujo con el que se vacía buscando de no incluir aire a través de la conducción, lo cual requiere tener a la mano mínimo otra probeta de tal manera que cuando se termine el liquido en una, se empiece a vaciar inmediatamente el agua de la otra, y no un tiempo después, lo que evitara que el nivel baje en el embudo.

Otra forma y más sencilla de obtener el flujo en la manguera sin aire o con un contenido mínimo, es conectar la manguera a una llave de presión del agua y dejar que el flujo salga pero por el embudo.

Una vez el flujo sea constante y no se presente burbujas de aire, se tapa la boca de evacuación de la manguera y se conecta al permeámetro en la válvula inferior, que debe estar cerrada, manteniendo el flujo para que la manguera este exclusivamente llena de agua.



Foto 2.9.1-25: Conexión de manguera a válvula inferior.

Se abre lentamente la válvula inferior saturando la muestra de abajo hacia arriba, conservando el nivel en el embudo, inmediatamente el permeámetro se encuentre lleno se abre la válvula superior para que el agua afore a través de esta y se verifica que no halla presencia aire en el sistema.



Foto 2.9.1-26: Flujo de agua a través de la válvula superior.

f. MEDICIONES DE VARIABLES PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD.

Cuando el flujo sea uniforme y sin cambios en el gradiente hidráulico, se determina: la cabeza (h) o altura en la manguera desde la cual se vaciara el flujo, la temperatura (T) del agua y el tiempo (t) en que el sistema demora para lograr un gasto medido en la probeta de 200cm³.



Foto 2.9.1-27: Medición del gasto en la probeta de 200cm³.

2.9.1.4 Cálculos para determinar la Permeabilidad por el Método de Cabeza Constante.

- Diámetro D (cm):

Es el diámetro de la muestra de suelo, corresponde al mismo valor del diámetro interno del permeámetro.

- Longitud L (cm):

Corresponde a la longitud o espesor del suelo que se esta estudiando.

- Área A (cm²):

Se define como:

$$A = \frac{\pi}{4} (D)^2$$

- Volumen V (cm^3):

$$V = A * L$$

- Peso de la muestra de suelo PMs (g):

Corresponde al peso del suelo vaciado dentro del Permeámetro, se encuentra con la siguiente relación:

$$PMs = (\text{Peso Pmtro} + \text{Piedras Porosas} + \text{Suelo}) - (\text{Peso Pmtro} + \text{Piedras Porosas})$$

- Densidad de la muestra Dm (g/cm^3)

Corresponde a la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la misma.

$$Dm = \frac{PMs}{V}$$

- Humedad Hm (%):

Es la humedad del suelo dentro del permeámetro, se mide generalmente cuando se termina la prueba.

- Altura del agua h (cm):

Es la altura del agua registrada en el manómetro.

- Agua o Gasto Q (cm^3):

Las mediciones en esta prueba se hacen cada 200ml medidos en la probeta graduada, luego los valores registrados serán múltiplos de 200ml e irán aumentando, por ejemplo: 200, 400, 600....

- Tiempo t (s):

Es el tiempo que demora cada prueba para cumplir con un gasto de 200ml en la probeta de medición.

- Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$):

Es la temperatura en cada medición de los 200ml de agua.

- KT (cm/s):

Es la permeabilidad a la temperatura del ensayo, se define como:

$$KT = \frac{QL}{Aht}$$

Donde: Q= Gasto, es decir cantidad de agua descargada (cm³ o ml).

L= Longitud o altura de la muestra de suelo (cm).

A= Área de la muestra de suelo (cm²).

h= Altura del agua (cm).

t = Tiempo transcurrido durante la filtración medida.

- K20 (cm/s):

Se calcula como:

$$K20 = \frac{KT * nT}{n20}$$

Donde: n20= Viscosidad del agua a 20°C (0.01010 cm²/s).

nT = Viscosidad del agua del agua a la temperatura del ensayo (cm²/s).

Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica o absoluta (Pois)	Viscosidad cinemática (stokes)	Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica o absoluta (Pois)	Viscosidad cinemática (stokes)
0	0.01792	0.01792	19	0.01034	0.01036
1	0.01732	0.01732	20	0.01009	0.01010
2	0.01674	0.01674	21	0.00984	0.00986
3	0.01619	0.01619	22	0.00961	0.00963
4	0.01568	0.01568	23	0.00938	0.00940
5	0.01519	0.01519	24	0.00916	0.00919
6	0.01473	0.01473	25	0.00895	0.00897
7	0.01429	0.01429	26	0.00875	0.00877
8	0.01387	0.01387	27	0.00855	0.00858
9	0.01348	0.01348	28	0.00836	0.00839
10	0.01310	0.01310	29	0.00818	0.00821
11	0.01274	0.01274	30	0.00800	0.00804
12	0.01239	0.01240	40	0.00653	0.00658
13	0.01206	0.01206	50	0.00549	0.00556
14	0.01175	0.01176	60	0.00466	0.00474
15	0.01145	0.01146	70	0.00406	0.00415
16	0.01116	0.01117	80	0.00354	0.00364
17	0.01088	0.01089	90	0.00315	0.00326
18	0.01060	0.01061	100	0.00284	0.00296

³¹⁾
Tabla 2.9.1-1 : Viscosidad del agua a diferentes temperaturas.

El valor de nT se escoge de la tabla 2.9-1, donde la viscosidad dinámica (μ) se expresa en g/cm*s (poises) y la viscosidad cinemática ($\nu = \frac{\mu}{\rho}$, siendo ρ la densidad) en cm^2/s (Stokes).

- Permeabilidad del Suelo Kp:

Corresponde al promedio de las permeabilidades halladas durante la prueba.

31)

Fuente: *Fundamentos del Tratamiento de Agua Potable. Capitulo 2. Pagina de internet: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo2.pdf*

2.9.1.5 Informe de Permeabilidad por el método de Cabeza Constante.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CABEZA CONSTANTE

FECHA: _____
 PROYECTO: _____
 LOCALIZACION: _____
 MUESTRA : _____

DATOS DE LA MUESTRA

DIAMETRO CM _____
 LONGITUD CM (L) _____
 AREA CM2 (A) _____
 VOLUMEN CM3 _____

PESO EN GRAMOS _____
 DENSIDAD GR/CM3 _____
 HUMEDAD % _____

DATOS DEL PERMEAMETRO

ALTURA AGUA (h) cm _____
 VISCOSIDAD (n20) _____

ENSAYO DE CABEZA CONSTANTE

ENSAYO No	t seg	Q cte Cm3	T °C	K T cm/sg	nT	K 20 cm/sg
PROMEDIO						

$KT = Q \cdot L / A \cdot h \cdot t$
 $K20 = KT \cdot nT / n20$

n20 viscosidad del agua a 20 grados centigrados
 nT viscosidad del agua a la temperatura de ensayo

Foto 2.9.1.28: Formato de laboratorio de Permeabilidad por Cabeza Constante.

2.9.2 Permeabilidad de los Suelos por el método de Cabeza Variable.

A diferencia del ensayo de Cabeza Constante, en esta prueba de laboratorio la cabeza de presión va a ser variable, de ahí su nombre, y el nivel en el tubo alimentador ira de una altura h_1 a otra menor llamada h_2 . Se requiere también determinar la cantidad de agua que fluye a lo largo del espesor de la muestra.

Esta prueba es recomendable para suelos finos.

2.9.2.1 Normativa sobre permeabilidad de los suelos por Cabeza variable.

La norma INVIAS no presenta una norma específica para la determinación de la permeabilidad utilizando la prueba de Cabeza Variable, solo presenta la norma para Cabeza Constante I.N.V. E-130, pero como son muy similares las experiencias, se puede tomar esta norma como guía, por lo menos para preparar la muestra de suelo dentro del permeámetro.

2.9.2.2 Equipos.

Normalmente esta prueba se realiza con el ensayo de Cabeza Constante, luego el equipo requerido es el mismo.

- Permeámetro.
- Embudo.
- Compactador de muestra
- Bomba de Vacío.
- Manómetros.
- Balanza.
- Cronometro.
- Recipiente.
- Tamiz No 40.
- Probetas Graduadas.
- Calibrador o Regla métrica.

Las fotos de los equipos se presentan en la sección correspondiente, para la permeabilidad por Cabeza Constante.

2.9.2.3 Procedimiento para la determinación de la permeabilidad por el método de Cabeza Variable.

Se requiere consultar los cuatro primeros pasos nombrados en el ensayo de permeabilidad de cabeza constante, con el fin de preparar la muestra y el permeámetro.

a. Adecuaciones para el ensayo de Cabeza Variable.

Una vez conseguidas las condiciones y medidas referentes al permeámetro y el suelo dentro de él, se conecta durante mínimo 15 minutos una bomba de vacío en la válvula superior, con una presión de 500mm de mercurio, buscando remover el aire en los vacíos del suelo y adheridos a las partículas.

Al igual que en la prueba de cabeza constante se ensaya la conducción por separado pero esta vez con la manguera o manómetro que está ajustada a la regla métrica, haciendo pasar agua hasta que no existan burbujas de aire en su longitud.



Foto 2.9.2-1: Flujo de agua en manguera ajustada a regla métrica

Cuando el flujo sea constante y no exista aire se tapa la boca de la manguera y se conecta en la válvula inferior, que previamente debe estar cerrada, conservando siempre el flujo de vaciado.



Foto 2.9.2-2: Manguera conectada al permeámetro

Se satura la muestra de abajo hacia arriba abriendo la válvula inferior, y abriendo la superior en el momento en que se llene el permeámetro. El agua empezara a aflorar por la válvula superior. Si por medio de un chequeo se verifica que no hay presencia de aire en todo el sistema, ya se tienen cumplidas las condiciones necesarias para empezar con las respectivas mediciones. Durante este proceso no se puede cortar el vaciado del agua a la manguera y debe ser constante.

b. Lecturas de alturas en el manómetro.

Se determina el diámetro interior (d) de la manguera, y se ajusta el nivel del agua a la superficie del embudo. Una vez se consigue el nivel se corta el abastecimiento del agua y se permite que el nivel del agua descienda hasta una altura que se fije (por ejemplo 80cm o 90cm) anotando este valor como H1. En este punto, se empieza a medir el tiempo para el cual el nivel del agua descienda a otra altura que se convenga (por ejemplo 20cm o 30cm) anotándose como H2.



Foto 2.9.2-3 y 2.9.2-4: Alturas H1 (80,4cm) y H2 (31,3cm)

c. Repetición de lecturas

Se repinten las lecturas por lo menos 3 a 4 veces más, verificando que no haya presencia de aire y que el flujo sea uniforme, para ello una vez concluida la primera medición se cierran las dos válvulas y se desconecta la manguera, se hace pasar agua a través de esta hasta eliminar las burbujas de aire y se conecta nuevamente al permeámetro. Se abren las dos válvulas y se determinan nuevamente las alturas.

2.9.2.4 Cálculos para determinar la permeabilidad de los Suelos por el método de Cabeza Variable.

Datos de la muestra

- Diámetro D (cm):

Es el diámetro de la muestra de suelo, igual al diámetro interno del permeámetro.

- Longitud L (cm):

Es la longitud o espesor de la muestra de suelo que encuentra en el permeámetro.

- Área A (cm²):

Se encuentra a través de la expresión:

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

- Volumen V (cm³):

Corresponde al volumen de la muestra de suelo dentro del permeámetro.

$$V = A * L$$

- Peso de la muestra de suelo P_M (g):

Peso del suelo estudiado, dentro del permeámetro, se determina como:

$$P_M = (Peso\ P_mtro + Piedras\ Porosas + Suelo) - (Peso\ P_mtro + Piedras\ Porosas)$$

- Densidad de la muestra D_m (g/cm³)

Corresponde a la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la misma.

$$Dm = \frac{PMs}{V}$$

- Humedad Hm (%):

Es la humedad del suelo dentro del permeámetro, se mide generalmente cuando se termina la prueba.

Datos del permeámetro.

- Viscosidad n20 (cm^2/s):

Corresponde a la viscosidad del agua a 20°C ($0.01010 \frac{cm^2}{s}$)

- Diámetro de la pipeta Dp en cm:

Es el diámetro interno del manómetro o manguera, por el cual fluye el agua del embudo al permeámetro.

- Área pipeta (a) en cm²:

Se calcula como:

$$a = \frac{\pi}{4} * Dp^2$$

Ensayo de Cabeza Variable.

- Ensayo No:

Una forma de ordenar cada uno de los ensayos es ir clasificando cada uno por un número. Por ejemplo: Ensayo No 1, Ensayo No 2,....

- Altura h1 (cm):

Es la altura inicial del agua en el manómetro en cada medida. Corresponde a la altura a la cual se ha convenido empezar cada ensayo.

- Altura h2:

Es la altura final del agua en el tubo manométrico.

- Tiempo t(s):

Tiempo que demora el agua para ir desde la altura h1 a la altura h2.

- Temperatura $T(^{\circ}c)$

Es la temperatura del agua en cada medida.

- KT (cm/s):

Se define como:

$$KT = \left(\frac{2.3 * a * L}{A * t} \right) * \text{Log} \left(\frac{h1}{h2} \right)$$

Donde: a = área pipeta (cm^2)

L = Espesor de la muestra (cm)

A = Área del permeámetro (cm^2)

t = Tiempo que demora el ensayo en cada medida

$h1$ = Altura Inicial (cm).

$h2$ = Altura final (cm).

- $K20$ (cm/s):

$$K20 = \frac{KT * nT}{n20}$$

Donde:

nT = Viscosidad del agua a la temperatura del ensayo (se escoge de la tabla 2.9-1 de cálculos de cabeza constante).

$n20$ = Viscosidad del agua a 20°C ($0.01010 \frac{cm^2}{s}$).

- Permeabilidad del suelo Kp (cm/s):

El valor de la permeabilidad del suelo es el promedio de las permeabilidades encontradas.

2.9.2.5 Informe de permeabilidad por le método de Cabeza Variable.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD METODO DE LA CABEZA VARIABLE

FECHA: _____
 PROYECTO: _____
 LOCALIZACION: _____
 MUESTRA : _____

DATOS DE LA MUESTRA

DIAMETRO CM _____ PESO EN GRAMOS _____
 LONGITUD CM (L) _____ DENSIDAD GR/CM3 _____
 AREA CM2 (A) _____ HUMEDAD % _____
 VOLUMEN CM3 _____

DATOS DEL PERMEAMETRO

VISCOSIDAD (n20) _____
 DIAMETRO PIPE. (cm) _____
 AREA PIPETA (a) (cm) _____

ENSAYO DE CABEZA VARIABLE

ENSAYO No	h1 cm	h2 cm	tiempo (sg)	Q inicio	Q final	T °C	K T cm/sg	nT	K 20 cm/sg
PROMEDIO									

$$KT = [2.3 \cdot a \cdot L / A \cdot t] \cdot [\text{LOG}_{10} (h1 / h2)]$$

$$K20 = KT \cdot nT / n20$$

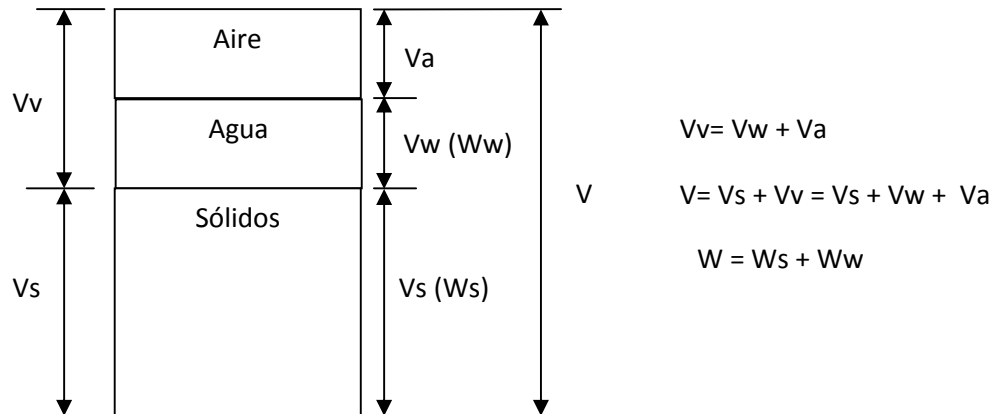
n20 viscosidad del agua a 20 grados centigrados
 nT viscosidad del agua a la temperatura de ensayo

Foto 2.9.2-5: Formato de permeabilidad por Cabeza Variable.

2.10 PESO ESPECÍFICO RELATIVO (GRAVEDAD ESPECÍFICA O DENSIDAD DE LOS GRANOS).

2.10.1 Teoría de peso específico relativo.

Con el fin de poder identificar ciertas propiedades de los suelos, se ha planteado un esquema, donde por medio de tres fases se ha representado su estructura. El esquema es el siguiente:



³²⁾
Figura 2.10-1 : Fases del suelo.

- Donde:
- V = Volumen total de la masa de suelo.
 - V_s = Volumen de los Sólidos.
 - V_v = Volumen de Vacíos o Volumen de poros.
 - V_w = Volumen del Agua.
 - V_a = Volumen del Aire.
 - W = Peso total de la masa de la masa de Suelo.
 - W_s = Peso de los Sólidos.
 - W_w = Peso del Agua.
 - W_a = Peso del Aire (Se desprecia) = 0.

Estas propiedades presentan relaciones entre los diferentes pesos (por ejemplo la humedad: que relaciona el peso del agua y el peso del suelo seco, presentes en el mismo material) y los diferentes volúmenes, estas ultimas relaciones son

³²⁾
 Fuente: Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los Suelos.*

conocidas como relaciones volumétricas.

Hay otras relaciones donde se plantean expresiones entre pesos y volúmenes, entre estas, esta la propiedad de Peso Específico, que se define como:

“La relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura”³³⁾.

Los valores de peso específico varían entre 2,60 a 2,90, para minerales constituyentes de un suelo, puede ser 1,5 gracias a la materia orgánica presentes en turbas, o puede llegar a 3, cuando es alto el contenido de hierro.

La gravedad específica para minerales de arcilla puede tener un valor promedio entre 2,80 y 2,90, y entre 2,2 y 2,6 para arcillas volcánicas.

2.10.2 Normativa sobre peso Especifico Relativo.

La norma INVIAS que guía esta experiencia es “Determinación del Peso Especifico de los Suelos y del Llenante Mineral I.N.V. E-128”.

Otras normas afines son:

AASHTO T 100
MOP E 110

2.10.3 Equipo.

Se requiere de:

- Picnómetro.
- Horno.
- Balanza.
- Pipeta.
- Termómetro.
- Tamiz No 8.
- Capsula de Evaporación o recipiente para la mezcla húmeda.
- Dispositivo para baño María.
- Recipientes.

³³⁾
Fuente: Norma INVIAS I.N.V. E-128.



Foto 2.10-1: Picnómetro



Foto 2.10-2: Horno



Foto 2.10-3: Balanza.



Foto 2.10-4: Pipeta.



Foto 2.10-5: Termómetro.



Foto 2.10-6: Tamiz No 8



Foto 2.10-7: Capsula de Evaporación.



Foto 2.10-8: Dispositivo para Baño María. (Estufa y Olla).



Fotos 2.10-9 y 2.10-10: Recipientes.

2.10.4 Procedimiento para la determinación del Peso Específico.

a. Calibración del picnómetro.

Con agua desmineralizada o destilada se llena el picnómetro hasta una altura mucho menor que su marca de calibración. Luego se lleva al baño María en un tiempo de 10 minutos como mínimo con el fin de eliminar el aire atrapado, el cual saldrá del volumen de agua en forma de burbujas. La muestra se dejara en calentamiento hasta que la temperatura en el picnómetro sea igual a la del baño.



Foto 2.10-11: Altura inicial del nivel del agua.

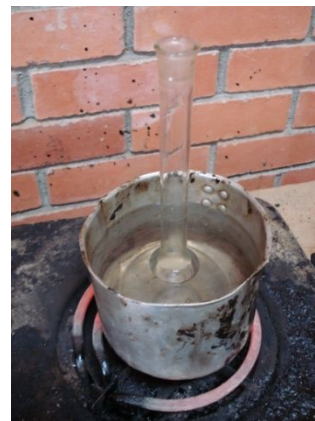


Foto 2.10-12 y 2.10-13: Picnómetro más agua al baño María.

Se saca el picnómetro del baño y con ayuda de una pipeta se lleva el nivel del agua a la marca de calibración, la cual debe coincidir con la parte inferior del menisco en el nivel.



Foto 2.10-14 y 2.10-15: Nivel del agua concordando con la marca de calibración.

Se seca y se limpia el picnómetro, removiendo las burbujas y el agua en forma de vapor adherido a las paredes del frasco encima de la marca de calibración. Se pesa el picnómetro mas agua y se mide la temperatura bajando el termómetro hasta la mitad del volumen.



Foto 2.10-16 y 2.10-17: Medición de temperatura.

Luego se repite el procedimiento para dos temperaturas diferentes, estableciendo un rango considerable que contenga la temperatura de ensayo cuando se analice la muestra de suelo.

b. Tamaño de la muestra.

Se tamiza el suelo por la malla No 8 y se escoge entre 55g – 65g para un volumen del picnómetro de 250ml o 250cm³.



Foto 2.10-18: Tamizado de muestra.

Si se tiene un volumen del picnómetro diferente se mira la norma I.N.V. E-128 para definir el tamaño.

c. Consistencia y vaciado de la muestra dentro del picnómetro.

Se agrega agua destilada al tamaño escogido de muestra tamizada, hasta lograr una consistencia pastosa similar a la que se hace en los ensayos de límites.



Foto 2.10 -19: Consistencia de la muestra.

Debido a lo estrecho del cuello del picnómetro se hacen rollitos de diámetro inferior al del cuello para poder vaciar la totalidad de la muestra dentro del picnómetro, él cual deberá estar vacío.



Foto 2.10 -20 y 2.10-21: Vaciado de la muestra.

d. Eliminación del aire en la muestra de ensayo.

Se agrega agua destilada un poco mas arriba de la mitad del volumen del frasco y se pone al baño María entre 10min – 20min, removiendo el aire dentro de la muestra.



Foto 2.10-22 y 2.10- 23: Nivel inicial del agua con la muestra.



Foto 2.10-24 y 2.10-25: Pícnómetro + suelo + agua al baño María.

e. Peso del picnómetro + suelo + agua

Se saca el picnómetro del baño y se sube el nivel del agua hasta la marca de calibración, se limpia y se remueve la espuma en la superficie del agua y se pesa, luego se toma la temperatura a la cual estaba la muestra de forma similar como se hizo en la calibración.

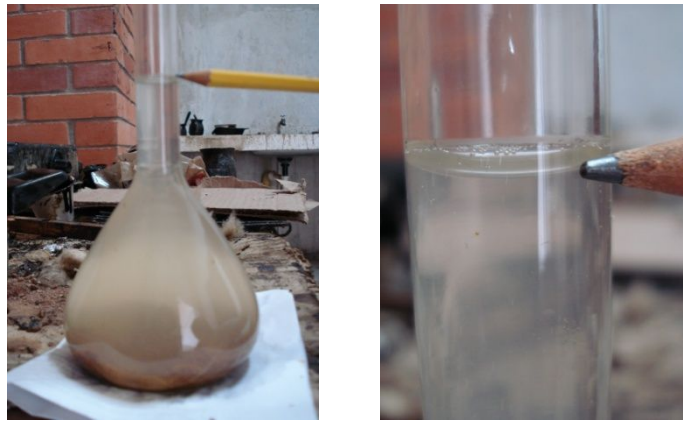


Foto 2.10 -26 y 2.10-27: Nivel del agua en marca de graduación.

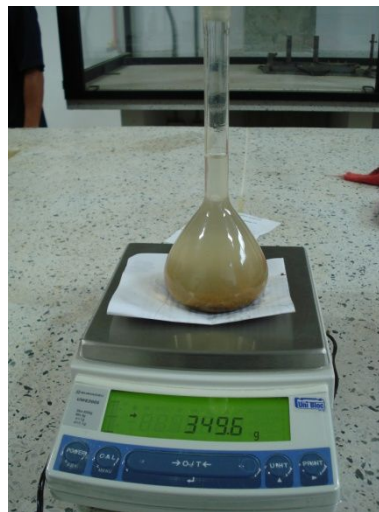


Foto 2.10-28: Peso del frasco con la muestra.



Foto 2.10-29: Medida de la temperatura del frasco mas muestra.

f. Determinación del peso de los sólidos.

Se le pone el tapón al frasco y se mueve de arriba hacia abajo, mezclando la masa de suelo con el agua. Luego se vacía en un platón toda la mezcla, verificando que no hubiera quedado muestra alguna de suelo dentro del picnómetro y se pone a secar el agua más suelo hasta el otro día.

Se saca la muestra del horno y se determina el peso seco del suelo ensayado.



Foto 2.10 -30: Rotación del frasco de arriba hacia abajo.



Foto 2.10-31 y 2.10 -32: Vaciado de la mezcla en un platón.



Foto 2.10-33 y 2.10 -34: Secado de Muestra.

2.10.5 Cálculos Para determinar el Peso Específico Relativo.

Calibración del Picnómetro.

- Peso picnómetro lleno de agua PPA (g):

Corresponde al peso del picnómetro mas agua a una temperatura dada, después de haber sido llevado al baño María.

Se toman tres (3) pesos diferentes a 3 temperaturas diferentes, que establezcan un rango donde se encuentre la temperatura del ensayo de la muestra de suelo.

- Grafica de calibración.

Se grafica los 3 pares de datos (Temp.°C, PPA (g)), generando la curva de calibración.

Calculo de la Gravedad Específica.

- Peso del picnómetro mas agua mas sólidos a la temperatura del ensayo W1 (g):

Corresponde al peso del picnómetro mas agua mas muestra de suelo, que se coloco en él, una vez por medio del baño María se ha llevado a la temperatura deseada, para las respectivas mediciones en el laboratorio.

- Peso de tara PT (g):

Peso del recipiente donde se vacía la muestra de suelo, que fue ensayada en el picnómetro.

- Peso de tara mas Suelo Seco PTSS (g):

Es el peso del recipiente más suelo seco, después de haber sido llevada la muestra al horno.

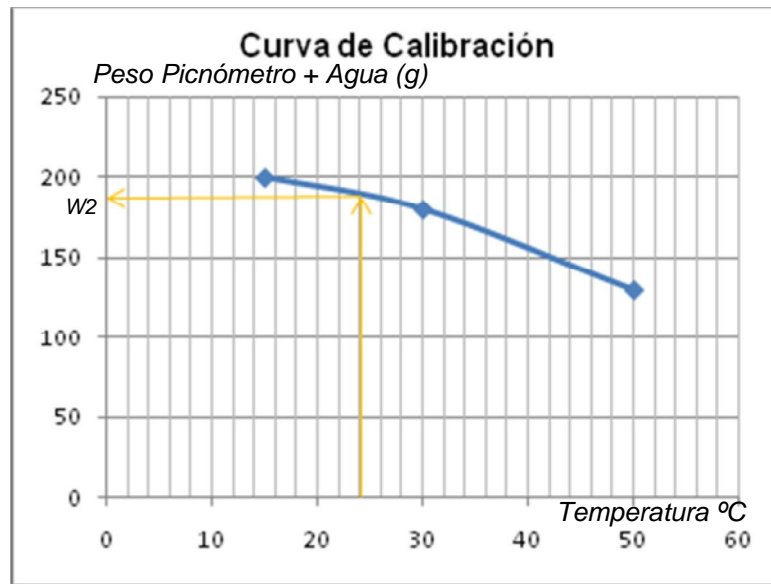
- Peso de Suelo Seco W_o (g):

Se define según la siguiente relación:

$$W_o = PTSS - PT$$

- Peso del picnómetro mas agua a la temperatura del ensayo W_2 (g):

Se obtiene de interpolar la curva de calibración, la cual es definida para cada ensayo. Se entra a la grafica con la temperatura medida durante el ensayo de la muestra, en el eje (x), se extiende la línea hasta cortar la curva y se prolonga hacia el eje (y) para encontrar el valor W_2 (g).



Grafica 2.10-1: Curva de calibración del picnómetro.

Temperatura °C	Peso picnómetro + agua (g)
15	200
30	180
50	130

³⁴⁾
Tabla 2.10-1 : Datos de curva de calibración.

- Peso Especifico (Gs):

El Peso Especifico de los sólidos se determina con dos decimales, con la relación:

$$G_s = \frac{W_o * K}{W_o + W_2 + W_1}$$

Donde:

K = Factor de corrección basado en el Peso Especifico del agua a 20°C. Se determina con la siguiente tabla.

Temperatura °C	Densidad del agua (g/ml)	Factor de corrección K
16,0	0,99897	1,0007
16,5	0,99889	1,0007
17,0	0,99880	1,0006
17,5	0,99871	1,0005
18,0	0,99862	1,0004
18,5	0,99853	1,0003
19,0	0,99843	1,0002
19,5	0,99833	1,0001
20,0	0,99823	1,0000
20,5	0,99812	0,9999
21,0	0,99802	0,9998
21,5	0,99791	0,9997
22,0	0,99780	0,9996
22,5	0,99768	0,9995
23,0	0,99757	0,9993
23,5	0,99745	0,9992
24,0	0,99732	0,9991
24,5	0,99720	0,9990
25,0	0,99707	0,9988

³⁵⁾
Tabla 2.10-2 : Factores de corrección K para diferentes temperaturas.

³⁴⁾
 Fuente: Datos de ejemplo propuesto por los autores para poder entender la grafica.

³⁵⁾
 Fuente: Gravedad Especifica de los Sólidos de un Suelo. Pagina de internet: www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-07.pdf

Temperatura °C	Densidad del agua (g/ml)	Factor de corrección K
25,5	0,99694	0,9987
26,0	0,99681	0,9986
26,5	0,99668	0,9984
27,0	0,99654	0,9983
27,5	0,99640	0,9982
28,0	0,99626	0,9980
28,5	0,99612	0,9979
29,0	0,99597	0,9977
29,5	0,99582	0,9976
30,0	0,99567	0,9974

Tabla 2.10-2 (Continuación)

W2 = Peso del picnómetro mas agua a la temperatura del ensayo (g).

Wo = Peso del suelo seco (g).

W1 = Peso del picnómetro mas agua mas suelo a la temperatura del ensayo (g).

2.11 CONSOLIDACION.

2.11.1 Teoría sobre Consolidación.

Mientras en compactación se logra una reducción de volumen gracias al efecto de cargas dinámicas, en consolidación la reducción de volumen se debe a la influencia de cargas estáticas permanentes y se logra en el tiempo, de hecho, si se compara el tiempo que se demora en laboratorio el procedimiento de cada una de las dos experiencias, para compactación puede ser de unas horas el tiempo invertido, en cambio para la consolidación el proceso requiere de días si se quiere obtener buena información.

Durante el tiempo de consolidación de la muestra en el laboratorio, se pueden identificar tres clases de consolidación, llamadas: instantánea, primaria y secundaria.

Consolidación instantánea o consolidación inicial (CI): Reducción casi instantánea en el volumen de la masa de suelo bajo una carga aplicada, que precede a la consolidación primaria, debida principalmente a la expulsión y compresión del aire contenido en los vacíos del suelo.³⁶⁾

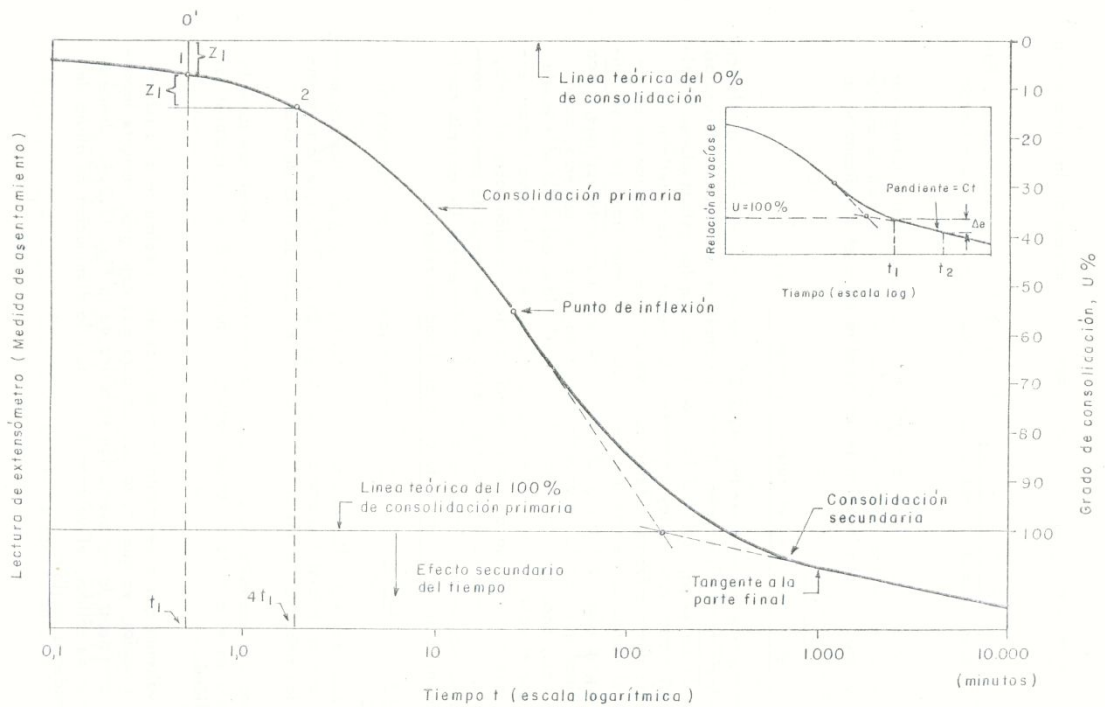
Consolidación primaria: Reducción en el volumen de la masa de un suelo originada por la aplicación de una carga permanente y la expulsión del agua de los vacíos, acompañada por una transferencia de carga del agua a las partículas sólidas del suelo.³⁷⁾

Consolidación secundaria: Reducción en el volumen de la masa del suelo, causada por la aplicación de una carga permanente y el acomodo de la estructura interna de su masa, luego que la mayor parte de la carga ha sido transferida a las partículas sólidas del suelo.³⁸⁾

Estas consolidaciones pueden ser estudiadas en la curva de asentamiento – tiempo para un ensayo respectivo, del laboratorio.

Debido a que en el proceso de consolidación la muestra va dentro de un anillo esta experiencia también es conocida como compresión confinada simple.

Fuente: ³⁶⁾ , ³⁷⁾ y ³⁸⁾ Norma INVIAS E-151.



39) **Gráfica 2.11-1 : Curva de consolidación – tiempo**

2.11.2 Normativa sobre Consolidación.

La norma INVIAS que guía este laboratorio es “Consolidación Unidimensional de los Suelos I.N.V. E-151”.

Otras normas que se pueden consultar, son:

- AASHTO T 216
- ASTM D 2435
- INCONTEC C 4.129

39) Fuente: Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los suelos*

2.11.3 Equipos.

Se requiere de:

- Consolidómetro.
- Dispositivo de carga.
- Piedras porosas.
- Balanza.
- Horno.
- Deformímetro.
- Recipientes.
- Espátula.
- Cronometro.



Foto 2.11-1: Consolidómetro.



Foto 2.11-2: Caja de Consolidación



Fotos 2.11-3: Componente del dispositivo de carga.



Foto 2.11-4: Piedras porosas



Foto 2.11-5: Balanza.



Foto2.11-6: Horno



Foto 2.11-7: Extensómetro.



Foto 2.11-8: Espátula.



Foto 2.11-9 y 2.11-10: Recipientes.



Foto 2.11-11: Cronometro.

2.11.4 Procedimiento sobre el laboratorio de Consolidación.

a. Preliminares

Debido a que se requiere una muestra inalterada, para no repetir la extracción del suelo como se requirió en el ensayo de corte directo, se puede guardar en un lugar fresco la parte de la muestra que quedo intacta en el tubo de PVC, para que no pierda sus cualidades naturales. Se requiere conocer de la muestra con anterioridad a la práctica, la humedad natural, peso, volumen, peso específico, limite líquido, limite plástico y granulometría del suelo. Por ello normalmente esta prueba se realiza después de hacer las prácticas nombradas.

b. Preparación de la muestra

Para mayor comodidad se corta del tubo otra rebanada como se hizo en el ensayo de resistencia al corte, de espesor un poco mayor que el del anillo de consolidación.



Foto 2.11-12: Rebanada de PVC con muestra de suelo.

Se pesa el anillo y se introduce dentro de la rebanada, ya sea con la yema de los dedos de la mano o con el gato hidráulico, para obtener una muestra inalterada de igual volumen que el anillo, se retira el suelo pegado en la parte exterior de este y se nivelan las caras cortando aquella porción de muestra que sobresalga. Luego se pesa el conjunto anillo mas muestra.



Foto 2.11-13 y 2.11-14: Extracción del anillo mas muestra.

c . Calibración

Ármese el Consolidómetro; para la calibración se ubica en su interior un disco de cobre o de acero duro aproximadamente de la misma altura que la muestra de ensayo y de 1mm (0.04”) menor que el diámetro del anillo. Humedézcanse las piedras porosas de forma igual en toda su superficie.



Foto 2.11-15 y 2.11-16: Preparación del Consolidómetro.



Foto 2.11-17 y 2.11-18: Ubicación de piedra porosa inferior.



Foto 2.11-19: Colocación del anillo de cobre.

Cárguese y descárguese el Consolidómetro y médase la deformación para cada carga aplicada. Dibújese o tabúlese las correcciones que puedan aplicarse a las deformaciones de la muestra de ensayo para cada carga aplicada.

d. Lecturas en el Consolidómetro

Se pone el anillo mas muestra en medio de las dos piedras porosas previamente humedecidas y se ubica todo el conjunto en el interior de la celda del Consolidómetro. Una vez montado se carga la celda en cero y en un ángulo no mayor a 10°.



Foto 2.11-20: Colocación del anillo mas muestra.



Foto 2.11-21 y 2.11-22: Incrustación de muestra dentro de la caja de consolidación.



Foto 2.11-23: Muestra de suelo incrustada.



Foto 2.11-24 y 2.11-25: Piedra porosa superior sobre muestra.

Se carga el sistema durante un número de días adoptado (por ejemplo 5 días) aumentando la carga por día hasta llegar a la mitad de este tiempo, luego se empieza a disminuir la carga hasta llegar a la primera carga colocada, como se muestra en el ejemplo de la siguiente tabla:

Día	Carga (Kg)	Día	Carga (Kg)
1	1	4	2
2	2	5	1
3	4		

Tabla 2.11-1: Ejemplo de variación de la carga durante 5 días.



Foto 2.11-26: Colocación de la caja dentro de la maquina de carga.



Foto 2.11-27: Ajuste del soporte del extensómetro.



Foto 2.11-28: Colocación del extensómetro.



Foto 2.11-29: Carga del sistema.

La muestra debe permanecer húmeda durante todo el tiempo de ensayo. Para ello se introduce agua por los manómetros de la caja, cuando el nivel escogido en ellos baje se hace una recarga, hasta que se cumpla con todo el tiempo escogido para la práctica.



Foto 2.11-30: Vaciado de agua dentro de manómetros.

Durante el proceso de carga y descarga o rebote, no se puede dejar un tiempo sin permanecer cargada la celda de consolidación. Tomando para cada día y cada carga las lecturas en el extensómetro correspondientes a los tiempos de 6s, 15s, 30s, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 60min, 120min, 240min, 480min y 1440min o 24 horas después de permanecer la misma carga.

Una vez registrada la última lectura se aumenta o se disminuye la carga, para iniciar nuevamente con las dimensiones para una presión diferente.

Las lecturas que se hagan serán del número de vueltas, registrado por el radio grande y las correspondientes al radio pequeño, cada periodo de tiempo nombrado y de manera continúa durante el número de días escogido.

Después de la última lectura en el último día, se extrae la muestra, se pesa y se mide su altura final, con el fin de saber la relación de vacíos que tiene la muestra.

2.11.5 Cálculos de Consolidación.

- Lecturas en el extensómetro:

Las lecturas en el extensómetro esta compuesta de dos mediciones, unas llamadas rayas grandes y otras rayas pequeñas, su nombre se deriva según sea la lectura registrada con la aguja más grande o con la aguja más pequeña, respectivamente.

Para el análisis se requiere convertir las lecturas a (mm), las relaciones correspondientes para ellos son:

$$1 \text{ Vuelta} = 50 \text{ Rayas Grandes}$$

$$1 \text{ Raya Grande} = 4 \text{ Rayas Pequeñas}$$

$$1 \text{ Raya Pequeña} = 0.0025 \text{ mm}$$

Por ejemplo si una lectura en un tiempo dado, fue:

2 Vueltas, 35 Rayas Grandes y 8 Rayas Pequeñas, el valor total de la deformación en milímetros será:

Vueltas (mm) =	$2 * 50 * 4 * 0.0025 =$	1.00 mm
Rayas Grandes =	$35 * 4 * 0.0025 =$	0.35 mm
Rayas Pequeñas =	$8 * 0.0025 =$	0.02 mm
		Total = 1.37 mm

- Grafica:

Se grafica la lectura en el extensómetro eje (y) contra el tiempo registrado en cada lectura en el eje (x) en escala logarítmica, para cada una de las cargas utilizadas.

2.12 CLASIFICACION DE LOS SUELOS.

En el capítulo 1, se presentó una clasificación previa de los suelos, donde se organizan en Gravas, Arenas, Arcillas y Limos, según el tamaño de las partículas; ahora se presenta una clasificación donde se incluye no solo la granulometría sino también las propiedades de plasticidad (límites de Atterberg) y el contenido de materia orgánica

Entre las clasificaciones de suelos más importantes están:

- *S.U.C.S.*: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- *Clasificación de la AASHTO.*
- *Clasificación de la FAA*: Aeronáutica Civil de los Estados Unidos.

2.12.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).

Debe su origen a la “Clasificación de suelos para Aeropuertos” propuesta por Arturo Casagrande en la Universidad de Harvard, y se basa en dos ítems:

- **Análisis Granulométrico**: Del cual se obtiene tanto el diámetro de las partículas como los valores de C_c (Coeficiente de curvatura) y C_u (coeficiente de Uniformidad).
- **Límites Plástico y Líquido del suelo.**

La clasificación unificada utiliza símbolos para organizar los suelos en 15 grupos básicos y ha veces según las características de estos se clasifican con doble símbolo. Las letras empleadas para clasificar son ⁴⁰⁾ :

G = Cascajo o grava (del inglés “gravel”).

S = Arena (i. “sand”).

M = Limo (de la palabra sueca “mo”).

C = Arcilla (i. “clay”)

W = Bien gradado (i. “well-graded”).

P = Pobremente gradado, mal gradado (i. “poorly-graded”).

L = Bajo límite líquido, baja plasticidad (para arcillas), baja compresibilidad (para limos). (i. “low”).

H = Alto limite liquido, alta plasticidad (para arcillas), alta comprensibilidad (para limos. (i. “high”).

O = Orgánico (i. “organic”).

Pt = Turba (i. “peat”) o suelo altamente orgánico.

Estas letras se combinan para formar los 15 grupos básicos, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

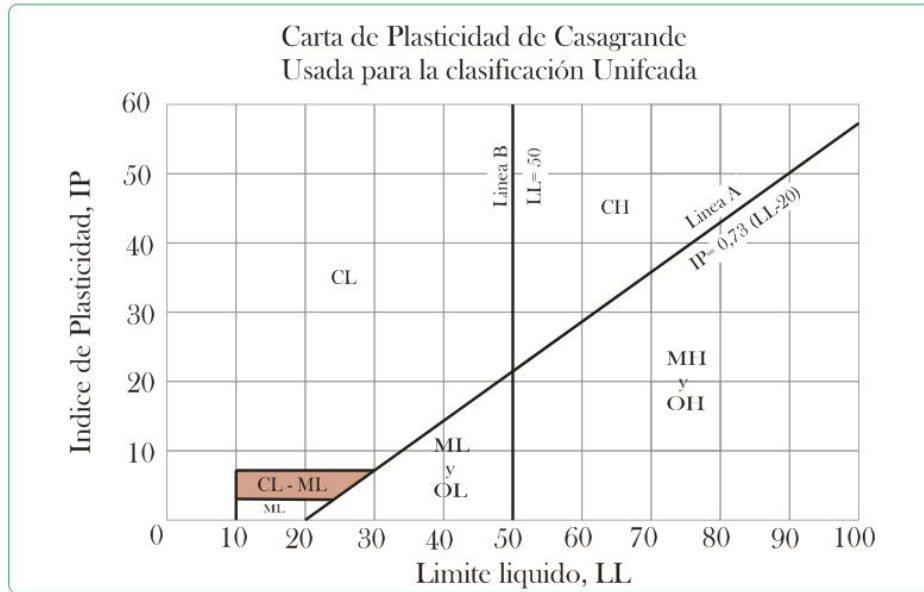
Símbolo	Nombres Descriptivos Típicos
GW	Gravas bien gradadas, mezclas de gravas con arena, con poco o nada de finos
GP	Gravas mal gradadas, mezclas de gravas y arenas, con poco o nada de finos.
GM	Gravas limosas, mezcla de gravas, arena y limo.
GC	Gravas arcillosas, mezcla de gravas, arenas y arcillas.
SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, con poco o nada de finos.
SP	Arenas mal gradadas, arenas gravosas con poco o nada de finos.
SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
ML	Limos orgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.
CL	Arcillas orgánicas de plasticidad baja o media, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.
Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.

⁴¹⁾
Tabla 2.12-1 : Grupos básicos de clasificación de suelos, según S.U.C.S.

Fuente: ⁴⁰⁾ , ⁴¹⁾ , ⁴²⁾ ⁴³⁾ y Gabriel Márquez Cárdenas. *Propiedades Ingenieriles de los suelos.*

2.12.2 Carta de Plasticidad de Arturo Casagrande.

Se utiliza para clasificar suelos con alto contenido de finos, referida a aquellos cuyas partículas que pasan la malla No 200 sean mas del 50% .



42)
Grafica 2.12-1 : Carta de plasticidad

En la grafica anterior el índice de plasticidad se define como la resta del valor de límite plástico al del límite liquido. Estableciendo un rango de humedad para cada suelo respecto al cual este se comporta como plástico.

$$I_p = LL - LP$$

Una vez definido el LL e I_p para un suelo dado se ubica dentro de la carta de plasticidad, según la zona donde se ubique será el nombre de clasificación que se le dará, como se muestra en la carta.

La grafica presenta dos rectas A y B que la dividen en cuatro zonas, estas rectas están definidas por las ecuaciones:

- Línea A: $I_p = 0.73(LL - 20)$, y
- Línea B: $LL = 50$

A parte de las zonas nombradas se presenta una zona sombreada comprendida por una faja dispuesta entre el 4% y 7% del índice de plasticidad y entre el número 10% del límite líquido y la línea A. Los suelos ubicados dentro de esta faja reciben el doble símbolo CL-ML.

2.12.3 Auxiliar para procedimiento de clasificación unificada.

De forma resumida en el diagrama que se muestra en el anexo 1, se presentan los 15 grupos básicos de clasificación, con la guía de los valores de granulometría y límites que se deben que cumplir para poder clasificar el suelo. En estas clasificaciones hay dos tipos particulares de doble signo, que contempla aquellos suelos cuyas partículas en un 50% o menos pasan la malla No 200.

1. Caso:

Estos suelos deben cumplir inicialmente:

- $\geq 50\%$ Queda retenido en la malla No 4.
- Entre un 5% - 12% pasa la malla No 200.

Incluye los grupos (No se muestra todos en el diagrama):

GW-GM GP-GM GW-GC GP-GC

Sus nombres dependen según cumplan los requisitos de granulometría y plasticidad para cada uno, por ejemplo:

GW-GM: A parte de los requisitos generales para este caso, debe también cumplir que $C_u > 4$ y $1 < C_c < 3$ para ser GW, y que se ubique debajo de la línea A o de la zona sombreada en la carta de plasticidad para ser GM.

2. Caso.

Estos suelos deben satisfacer:

- $> 50\%$ pasa la malla No 4.
- 5% - 12% pasa la malla No 200.

Presenta los grupos (No se muestra todos en el diagrama):

SW-SM SP-SM SW-SC SP-SC

Al igual que el caso 1, su nombre depende de según cumplan con las exigencias de plasticidad y de granulometría. Por ejemplo:

SP-SC: Requiere también que el suelo no cumpla ya sea uno o los dos requisitos para los coeficientes de la curva granulométrica, $C_u \leq 6$ y $C_c < 1$ o $C_c > 3$, para ser SP, y que se encuentre por encima de la línea A y de la Zona sombreada en la carta de plasticidad, para ser SC.

2.12.4 Características de los Suelos

Según el nombre o símbolo con el que se indique cada suelo, este presentara ciertas características referentes a sus propiedades de uso en la Ingeniería Civil. A continuación se presenta: las relativas a terraplenes y fundaciones, y las relativas a carreteras y autopistas, en las siguientes tablas.

Grupo	Relativas a Terraplenes y Fundaciones	
	Uso para Terraplenes	Capacidad de Soporte
GW	Muy estable. Respaldos permeables de diques y presas.	Buena
GP	Razonablemente estable. Respaldos permeables de diques y presas.	Buena
GM	Razonablemente estable. No recomendable para respaldos. Puede usarse para núcleos y mantos impermeables.	Buena
GC	Regularmente estable. Puede usarse para núcleos impermeables.	Buena
SW	Muy estable. Secciones permeables. Se necesita protección para los taludes.	Buena
SP	Razonablemente estable. Puede usarse en secciones de diques con taludes poco inclinados.	Buena a deficiente dependiendo de la densidad.
SM	Regularmente estable. No recomendable para respaldos. Puede usarse para diques o núcleos impermeables.	Buena a deficiente dependiendo de la densidad.
SC	Regularmente estable. Usado para núcleos impermeables en estructuras para control de inundaciones.	Buena a deficiente.
ML	Estabilidad deficiente. Puede usarse en terraplenes con control apropiado.	Muy deficiente. Susceptible a la licuefacción.
CL	Estable. Se usa en núcleos y mantos impermeables.	Buena a deficiente.
OL	No recomendable para terraplenes.	Regular a mala.
MH	Estabilidad deficiente. No deseable en construcción de rellenos compactados.	Deficiente.
CH	Estabilidad regular con taludes poco inclinados. Se usa en núcleos delgados y en mantos.	Regular a deficiente.
OH	No indicado para terraplenes.	Muy deficiente.
Pt	No se usa en construcciones.	Inaceptable

⁴³⁾
Tabla 2.12-2 : Características de los suelos.

Grupo	Relativas a Carreteras y Aeropistas.	
	Como Fundación.	Como Base directamente bajo pavimento Bituminoso.
GW	Excelente	Bueno.
GP	Bueno a excelente	Malo a aceptable.
GM	Bueno a excelente.	Bueno a malo.
GC	Bueno.	Malo.
SW	Bueno.	Malo.
SP	Aceptable a bueno.	Malo a inaceptable
SM	Aceptable a bueno.	Malo a inaceptable
SC	Aceptable a bueno.	Inaceptable.
ML	Aceptable a bueno.	Inaceptable.
CL	Aceptable a malo.	Inaceptable.
OL	Malo.	Inaceptable.
MH	Malo.	Inaceptable.
CH	Malo a muy malo.	Inaceptable.
OH	Muy deficiente.	Inaceptable.
Pt	Inaceptable.	Inaceptable.

Tabla 2.12-2: (Continuación).

3. SOFTWARE PARA LABORATORIO DE SUELOS LABSOF 1.0

3.1 LENGUAJE DE PROGRAMACION.

Con el fin de buscar un sistema operativo en donde las prácticas de suelos, pudieran tener sus cálculos programados, se encontrara el procedimiento a la mano con solo dar clic en un botón, y lo propio para los equipos y normas respectivas, se eligió un lenguaje como Visual Basic 6.0, el cual daba las herramientas para poder condensar las ideas en un software iterativo. Visual Basic presenta una programación muy parecida a otros lenguajes como C++, lo cual facilito su uso, debido que en el curso de pregrado de Programación de Computadores en anteriores ediciones a los cuales estuvimos presentes, se aprende las cosas básicas de este último lenguaje como los diagramas de flujo y los algoritmos.

3.2. VISUAL BASIC 6.0.

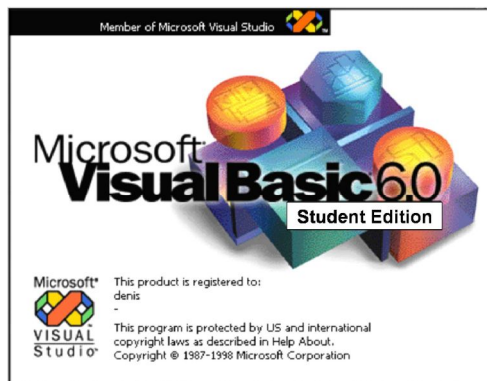


Imagen 3.2-1: Pantalla de Inicio de Visual Basic 6.0

Visual Basic es un lenguaje de programación desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. El lenguaje de programación es un dialecto de BASIC, con importantes añadidos. Su primera versión fue presentada en 1991 con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y en cierta medida también la programación misma ⁴⁴⁾.

⁴⁴⁾ Fuente: Microsoft Visual Basic. Página de Internet: es.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic.

Por medio de una serie de herramientas que se presenta en un cuadro de igual nombre y en una ventana grafica donde se diseña los formularios, empleando la versión 6.0.de Visual Basic, se realizo la programación respectiva del Software Labsoft 1.0. Entre sus herramientas la conocida como **PictureBox** permitió insertar las fotos, y las imágenes que acompañan cada uno de los formularios, donde sobresale el nombre de la Universidad Industrial de Santander, el logo de Ingeniería Civil y el icono del manual de laboratorio. Esto permitió poder integrar al software los procedimientos y las fotos de los equipos, que con ayuda de las herramientas **VScrollBar** (barras deslizantes verticales) por medio de imágenes, se logro mostrar la información requerida.

Las casillas de entrada de datos y resultados en los formularios se esquematizaron con la herramienta **TextBox**, y los códigos de la programación de los cálculos se diseñaron en el lector de códigos, que es otro de los beneficios de Visual Basic.

Los botones de entrada y salida del software en la ventana de inicio se realizaron gracias la herramienta **Command Button**. Mientras los menús principales se insertaron en cada formulario por medio del menú **Herramientas/ Editor de menús** de la ventana de trabajo del lenguaje de programación.

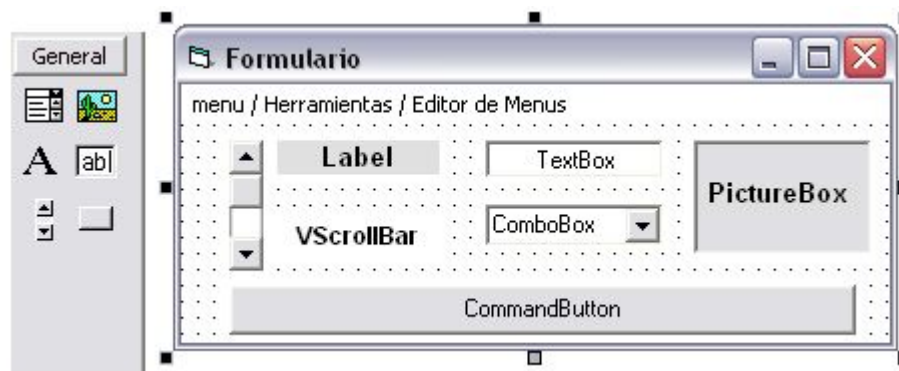


Imagen 3.2-2: Barra de herramientas de Visual Basic (utilizada).

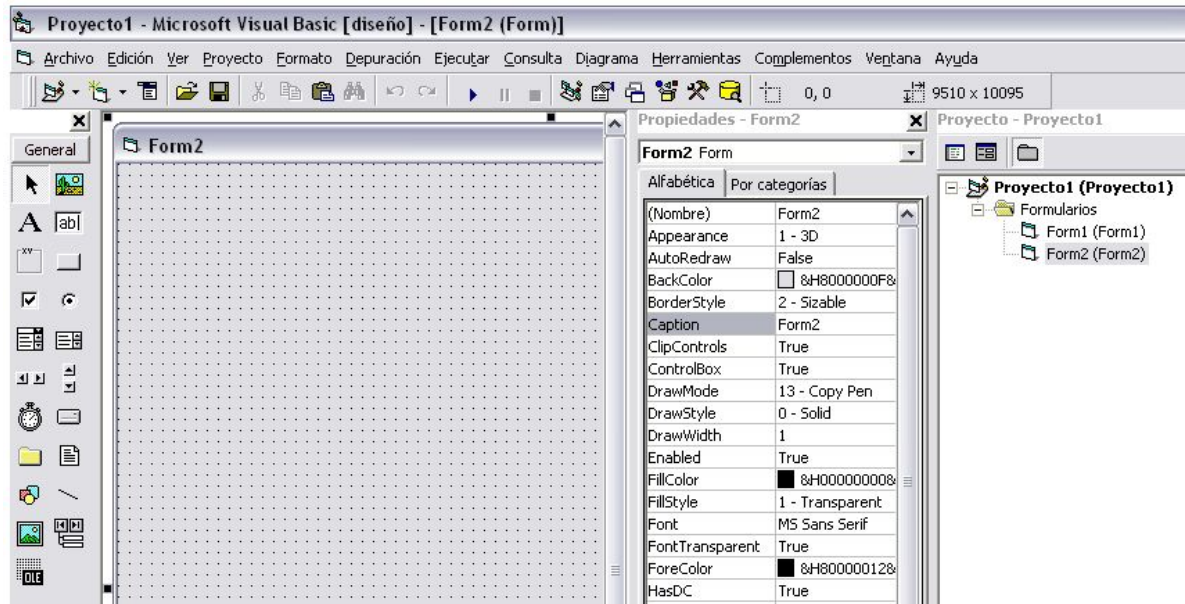


Imagen 3.2-3: Ventana de trabajo de Visual Basic.

3.2.1 Ejemplo de programación del formulario de Humedad.

A continuación se presenta el diseño del formulario de la sección cálculos de Humedad correspondiente a la práctica 1.1 que se presenta en el software de suelos (sección 2.1 *Humedad*, del actual documento).

Se inserto un fondo de pantalla en el formulario, en el cual se presenta los logos respectivos. Sobre este fondo se ubicaron cajas de texto TextBox (ver herramientas de visual) que dieron origen a 23 casillas entre datos de entrada y resultados.

Se insertaron los respectivos menús:

- *Menú.*
- *Procedimiento.*
- *Norma I.N.V. E-122*

Y en la pantalla de código se diseño el algoritmo respectivo de los cálculos que dentro de esta práctica de laboratorio se prevé.

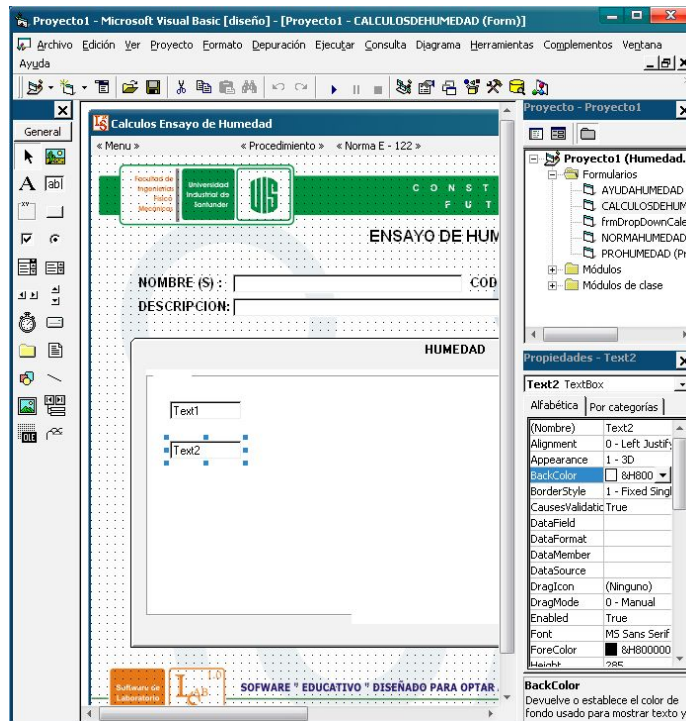


Imagen 3.2-4: Construcción del formulario.

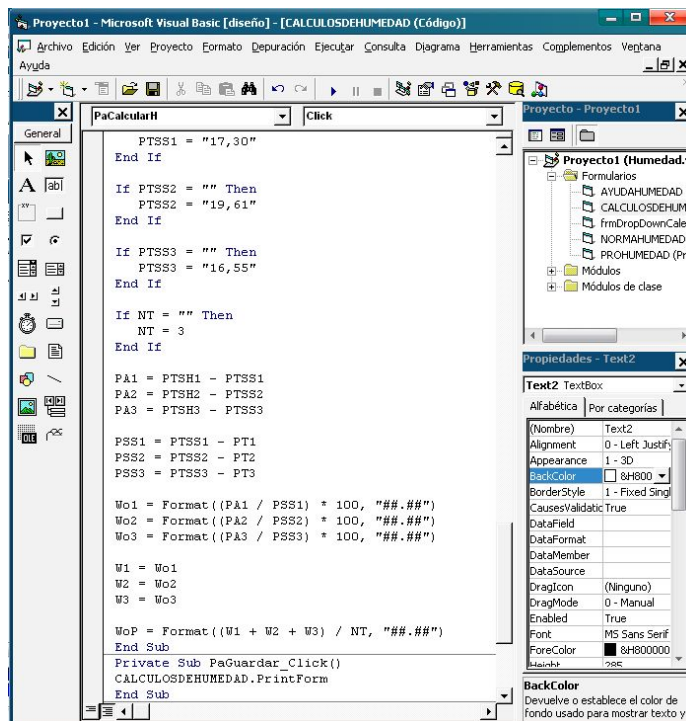


Imagen 3.2-5: Algoritmo en pantalla de código de Visual Basic 6.0.

El código total utilizado la programación es el siguiente. Donde el nombre de las variables utilizadas se muestra en la siguiente imagen.

CAPSULA N°	PESO TARA (g)	PESOTARA SUELO HUMEDO (g)	PESO TARA SUELO SECO (g)	PESO AGUA (g)	PESO SUELO SECO (g)	HUMEDAD (%) Wo
1	PT1	PTSH1	PTSS1	PA1	PSS1	Wo1
2	PT2	PTSH2	PTSS2	PA2	PSS2	Wo2
3	PT3	PTSH3	PTSS3	PA3	PSS3	Wo3
NT No de Taras						Promedio Wo (%) WoP

Imagen 3.2-6: Formulario terminado con variables utilizadas en la programación

```
Option Explicit
Private WithEvents m_oCalendar As clsCalendar
Private Sub cboDropDownCalendar_DropDown()
Dim sTemp As String
sTemp = cboDropDownCalendar.List(0)
GetDate cboDropDownCalendar, sTemp
cboDropDownCalendar.Clear
cboDropDownCalendar.AddItem sTemp
cboDropDownCalendar.ListIndex = 0
End Sub

Private Sub cboMonth_Click()
m_oCalendar.ShownMonth = cboMonth.ListIndex + 1
m_oCalendar.RefreshCalendar
End Sub

Private Sub cboYear_Click()
m_oCalendar.ShownYear = cboYear.List(cboYear.ListIndex)
m_oCalendar.RefreshCalendar
End Sub

Private Sub exit_Click()
Dim Respuesta
Respuesta = MsgBox("¿Desea salir de la aplicación?", vbCritical _
+ vbYesNo, "Cerrar")

If Respuesta = vbYes Then
```

Unload Me
End If

End Sub

```
Private Sub Form_Load()
Set m_oCalendar = New clsCalendar
Set m_oCalendar.PictureBox = picCalendar
Load frmDropDownCalendar
Dim iCount As Integer
For iCount = 1990 To 2030
cboYear.AddItem iCount
Next iCount
For iCount = 1 To 12
cboMonth.AddItem MonthName(iCount)
Next iCount
cboYear.ListIndex = Year(Now) - 1990
cboMonth.ListIndex = Month(Now) - 1
m_oCalendar.SelectDay Now
m_oCalendar.RefreshCalendar
```

End Sub

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Set m_oCalendar = Nothing
Unload frmDropDownCalendar
```

End Sub

```
Private Sub help_Click()
Unload Me
AYUDAHUMEDAD.Show
```

End Sub

```
Private Sub m_oCalendar_DateClicked(ByVal Button As Integer, ByVal dtDateClicked As Date, iPos As Integer)
```

```
Dim iCount As Integer
lstDates.Clear
For iCount = 1 To m_oCalendar.SelectedDays.Count
lstDates.AddItem Format(m_oCalendar.SelectedDays.Item(iCount).DateTime, "dd Mmm YYYY")
Next iCount
```

End Sub

```
Private Sub PaCalcularH_Click()
If NOMBRE = "" Then
MsgBox "LLENAR EL NOMBRE, POR FAVOR ", vbCritical + vbInformation, "Llenar Campo"
NOMBRE.SetFocus
End If
```

```
If CODIGO = "" Then
MsgBox "LLENAR EL CODIGO, POR FAVOR ", vbCritical + vbInformation, "Llenar Campo"
CODIGO.SetFocus
End If
```

```
If DESCRIPCION = "" Then
MsgBox "LLENAR LA DESCRIPCION, POR FAVOR ", vbCritical + vbInformation, "Llenar Campo"
DESCRIPCION.SetFocus
End If
```

```

If PT1 = "" Then
PT1 = "7,01"
End If

If PT2 = "" Then
PT2 = "6,85"
End If

If PT3 = "" Then
PT3 = "7,39"
End If

If PTSH1 = "" Then
PTSH1 = "20,10"
End If

If PTSH2 = "" Then
PTSH2 = "22,31"
End If

If PTSH3 = "" Then
PTSH3 = "19,15"
End If

If PTSS1 = "" Then
PTSS1 = "17,30"
End If

If PTSS2 = "" Then
PTSS2 = "19,61"
End If

If PTSS3 = "" Then
PTSS3 = "16,55"
End If

If NT = "" Then
NT = 3
End If

PA1 = PTSH1 - PTSS1
PA2 = PTSH2 - PTSS2
PA3 = PTSH3 - PTSS3

PSS1 = PTSS1 - PT1
PSS2 = PTSS2 - PT2
PSS3 = PTSS3 - PT3

Wo1 = Format((PA1 / PSS1) * 100, "##.##")
Wo2 = Format((PA2 / PSS2) * 100, "##.##")
Wo3 = Format((PA3 / PSS3) * 100, "##.##")

W1 = Wo1
W2 = Wo2
W3 = Wo3

WoP = Format((W1 + W2 + W3) / NT, "##.##")
End Sub

```

Private Sub PaGuardar_Click()
 CALCULOSDEHUMEDAD.PrintForm
 End Sub

Private Sub palproc_Click()
 Unload Me

PROHUMEDAD.Show
 End Sub

Private Sub PaRegresar_Click()
 Unload Me

HUMEDADYDENSIDAD.Show
 End Sub

Private Sub polanorma_Click()
 Unload Me
 NORMAHUMEDAD.Show

End Sub

3.3 LABSOF 1.0.

3.3.1 Nombre e Icono de Labsof 1.0.

El nombre de **Labsof** es una abreviación de la palabras laboratorio y software, y 1.0 es debido a que se trata de la primera versión. Es un nombre muy general debido a que no es explícito en primera medida que indique que es un herramienta informática para el laboratorio de suelos, pero debido a que en la actualidad la escuela de Ingeniera Civil de la Universidad Industrial de Santander, no cuenta con un software especializado en los laboratorios y de carácter educativo, no se previo como problema alguno que se asignara este nombre.

El icono que representa a Labsof 1.0, contiene la palabra Labsof donde las letras L y S están en mayúscula, y el numero 1.0 que se ubica en la parte superior.

Se diseño con un borde naranja en la periferia del icono, y con este mismo color las letras que van dentro del icono.



Imagen 3.3-1: Icono de Labsof 1.0.

Dentro de la herramienta informática por medio de ventanas se puede acceder a cada una de las 15 pruebas de laboratorio planteadas, incluyendo la clasificación de los suelos por el método de S.U.C.S., el acceso y manejo a estas se puede ampliar en el manual del software (Anexo 2).

CONCLUSIONES

Se recopilaron y se consultaron 16 Normas del INVIAS, planteándose 15 procedimientos basados en los nombrados en estas (normas) y en el desarrollo que se hizo en el laboratorio, cuando se realizaron las respectivas experiencias haciendo uso de los equipos existentes.

Algunas practicas (la mayoría) se realizaron en conjunto con los grupos de estudiantes que en ese momento estaban presentes en el laboratorio, realizando sus propios ensayos, mientras otros fueron guiados por los profesores de turno (colaboradores), cuando fueron realizados exclusivamente por los autores.

Utilizando el lenguaje de programación Visual Basic 6.0, se programo el software Labsof 1.0, el cual por medio de ventanas, presenta las normas de las prácticas, los equipos de estas y el procedimiento propio de cada una, que también son presentados en el actual documento. En el ítem cálculos de la herramienta informática se presentan los nuevos formatos y con ellos hojas de calculo, donde se requieren llenar ciertas casillas (datos de entrada) y el software internamente procesa los datos, calcula y presenta los resultados complementando el formato (llenando el resto de casillas), para luego imprimirlo si se dispone de una impresora a la mano, o guardarlo como un archivo jpg de la herramienta Imaging de Microsoft. Algunos cálculos contienen graficas que se pueden ver por medio de hojas de Excel, a las cuales el programa exporta datos, para generar las respectivas curvas.

Cada una de las prácticas está registradas en 151 fotos diferentes, mostradas en los procedimientos, sin contar las que se omitieron durante el trabajo de oficina, y las correspondientes a los equipos.

Se probó el software comparando los resultados de los cálculos con los resultados encontrados en los informes de laboratorios realizados por estudiantes de ingeniería civil, en anteriores semestres, los cuales fueron facilitados por el Ingeniero Luis Alberto Capacho para ajuste del proyecto.

Una vez se consiguió el material fotográfico, fílmico y las normas, se organizaron respecto a cada práctica de laboratorio, se complemento el software con los equipos y procedimientos; por último se dio origen a las memorias finales, que resumen el trabajo realizado.

OBSERVACIONES

El proyecto de grado no buscaba definir las propiedades de un material, pero se requirió de un proceso de investigación y de la realización de las algunas pruebas.

El estudio se centro en las prácticas que realizan los estudiantes de pregrado en el curso regular de mecánica de suelos.

Se requirió trabajo de campo, ya fuera en el laboratorio, como se dio en la mayoría de pruebas realizadas, o al aire libre como se necesito en la práctica de Cono de Arena.

Hubo trabajo de oficina, donde se organizo el material filmico y fotográfico, se estudiaron las respectivas normas, se investigo en libros de Mecánica de Suelos, se programo, se diseño el software y se valoro este por parte de los colaboradores.

Aparte de los procedimientos y equipos consignados en el manual para los ensayos, se complemento el proyecto con la clasificación de los suelos por el S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el cual es considerado uno de los más completos de las clasificaciones existentes.

El proyecto permitió mirar el inventario que se tiene de soporte destinado en el laboratorio para el acceso a estudiantes, el equipo utilizado y los formatos de resumen de los datos y los cálculos en cada una de las pruebas. La investigación llevo a encontrar un error respecto al nombre que se le dan a ciertas variables en el formato del ensayo de Limite de Contracción del laboratorio, respecto al calculo que se presenta en la norma.

Se diseñaron los formatos para Humedad, Densidad y Peso Especifico; se presento un nuevo formato de Consolidación, cada uno de ellos mostrados en los

cálculos del software. Además se presentaron nuevos formatos para el resto de las practicas, apoyados en los de uso diario en el laboratorio de suelos de la escuela de ingeniería civil por el Técnico Germán Hernández; las casillas programadas en los formularios corresponden solo a aquellas que llenan los estudiantes y no las que se llenan en este laboratorio como entidad que presta servicios de análisis de suelos.

Se entrega a la universidad un manual que es una herramienta técnica e informática, de uso practico para los estudiantes de pregrado y de base técnica para los profesionales.

Se logro retroalimentar el conocimiento aprendido, en la experiencia vivida por primera vez, durante el tiempo en que se hizo parte del curso de pregrado de Mecánica de Suelos.

Los procedimientos para Granulometría por Hidrómetro y Limite de Contracción no presentan fotos, debido a que durante el tiempo destinado para la realización del proyecto, no fueron programados en el curso de laboratorios de suelos para los estudiantes.

El proyecto requirió un mayor tiempo al que inicialmente se planteo, por ello se presento una nueva propuesta con un nuevo calendario, ante el "Comité de Proyectos de Grado", debido a exigencias que se necesitaron cumplir durante la programación del Software, como manejo del lenguaje de programación Visual Basic 6.0, la demora en la investigación de la herramienta utilizada para la impresión y la relación con las hojas de calculo Excel; estas hojas se vincularon al proyecto debido a la complejidad en algunas graficas de laboratorio (por ejemplo, curva Granulométrica), las cuales en Visual Basic no se podrían lograr, por la limitante en graficas que este tiene.

VENTAJAS

Se programaron cálculos de 15 experiencias de laboratorio de suelos, incluyendo el S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), que se presenta en un formato diferente, reduciendo el tiempo invertido en la interpretación de datos.

Se creó una herramienta informática para el aprendizaje de las experiencias de suelos y un documento de soporte para las mismas.

Se documentaron y se programaron dos experiencias que en la actualidad no se realizan en el laboratorio del centro de Caracterización de Materiales Álvaro Beltrán Pinzón, debido a la falta de ciertos elementos, entre estos de seguridad, como son los requeridos para el empleo de Mercurio en la práctica de Límite de Contracción. Esto permite conocer las experiencias así no se tengan contempladas en el pregrado.

Se planteó una alternativa para proyectos de grado de que posteriormente se realicen, encaminados a documentar las prácticas de los laboratorios, complementar el conocimiento aprendido en clase, y proveer de nuevas herramientas a la Escuela de Ingeniería Civil.

El software se generó en un archivo ejecutable, lo que evita el proceso de instalación.

El manual del software se entregó como un libro anexo al documento general del proyecto de grado, con el fin, de que tenga un manejo más sencillo del mismo.

Dentro del software, en el menú Ayuda respectivo a cada experiencia, se presentan ejemplos tipos y la explicación de las casillas que contiene el formato de cada una de ellas.

DESVENTAJAS

Las graficas en las hojas de cálculo de Excel, requieren de la intervención del usuario, para escoger el número correcto de datos. Esto limita la eficiencia de resultados, sino se escoge la cantidad correcta de números para generar la curva deseada.

Si el computador donde se itera el software no tiene la herramienta Imaging de Microsoft no se podrá guardar los resultados.

Si no se tiene el controlador “tabctl32.ocx” instalado en el computador, al programa no se accederá más allá de la ventana de presentación.

RECOMENDACIONES

El software fue creado como manual educativo, y se espera que ese sea el uso que se le dé, de forma exclusiva para los estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.

Por el reconocimiento de manual educativo y como proyecto de grado, los autores de Labsof 1.0 no se comprometen con los inconvenientes que se presenten en resultados que se obtengan, al utilizarse el software con intereses comerciales, ya que eso no fue el fin para el cual se diseñó la herramienta.

Las tres carpetas en las que se incluye el software, que aparecen en el CD (anexo 3), deben permanecer siempre en el mismo lugar (archivo), y mantener los mismo nombres, para que el proyecto tenga el alcance previsto.

Cualquier uso del software por fuera de la Universidad, será la responsabilidad de la persona que lo utilice.

BIBLIOGRAFIA

CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México: Editorial Limusa. 1998.

DEL TORO, R., Wilfredo y CASTAÑEDA P., Eduardo A. Guía de conocimientos básicos de suelos. Bucaramanga: Ediciones UIS. 1993

FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.. Capitulo 2. Pag. de internet: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo2.pdf

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SOLIDOS DE UN SUELO. Pagina de internet: www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-07.pdf

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos. Tomo 1. México: Editorial Limusa. 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería. I.N.V. E-101.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual). I.N.V. E-102.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas. I.N.V. E-106.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. I.N.V. E-122.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Análisis granulométrico de suelos por tamizado. I.N.V. E-123.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Análisis granulométrico por medio del Hidrómetro. I.N.V. E-124.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Determinación del límite líquido de los suelos. I.N.V. E-125.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Limite plástico e índice de plasticidad. I.N.V. E-126.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Determinación de los factores de contracción de los suelos. I.N.V. E-127.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Permeabilidad de suelos granulares (cabeza constante). I.N.V. E-130.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Relaciones del peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado. I.N.V. E-142.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Consolidación unidimensional de los suelos. I.N.V. E-151.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Compresión inconfiada de muestras de suelos. I.N.V. E-152.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (consolidado drenado). I.N.V. E-154.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS). Peso unitario del suelo en el terreno método del cono de arena. I.N.V. E-161.

MARQUEZ CARDENAS, Gabriel. Propiedades ingenieriles de los suelos. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 1983.

MICROSOFT VISUAL BASIC. Página de Internet:
es.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic.

VAQUERO SANCHEZ, Antonio y QUIROZ VIEYRA, Gerardo. Microsoft Visual Basic 6.0 Manual del Programador. Microsoft Corporation. Madrid- España. 1998.

ANEXOS

- Anexo 1: Auxiliar de Clasificación de Suelos, Método Unificado ⁴⁵⁾
- Anexo 2: Manual del software Labsof 1.0.
- Anexo 3: CD Programa Labsof 1.0.

⁴⁵⁾
Fuente: *Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos. Tomo 1.*