



**MANUAL TÉCNICO PARA EL DESARROLLO DEL LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES I**

**ORLANDO ENRIQUE PEDROZA NIÑO  
JORGE HERNANDO VERA SARMIENTO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2008**



**MANUAL TÉCNICO PARA EL DESARROLLO DEL LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES I**

**ORLANDO ENRIQUE PEDROZA NIÑO CÓDIGO: 2030405**

**JORGE HERNANDO VERA SARMIENTO CÓDIGO: 2030370**

**TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR**

**Ingeniera Civil. Ms.c, HEBENLY CELIS LEGUIZAMO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2008**

## DEDICATORIA

A mis padres, Orlando y Neyla por ser la guía ejemplar para mi desarrollo como persona, porque me han dado los valores morales y espirituales para lograr las metas propuestas.

A mis hermanas, Nataly y Paula porque sus enseñanzas son la esencia para fortalecer mi crecimiento personal.

A mi novia, Maria Alejandra por que con su carisma y amor logra corregir mis defectos y consolidar mis virtudes.

Orlando Enrique Pedroza Niño

A mi familia, en especial a mi padre, por todo el apoyo que me ha brindado en la vida para salir adelante, también a las personas que hicieron posible que este proyecto sea una realidad, gracias a su esfuerzo y colaboración.

Jorge Hernando Vera

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
1. PROGRAMA NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIOS.....	3
2. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES.....	6
2.1 Tipos de materiales según su naturaleza.....	6
2.2 Tipos de Materiales de construcción.....	7
2.3 Principales Materiales Estudiados en este Laboratorio.....	8
2.3.1 Acero.....	8
2.3.2 Agregados.....	9
2.3.3 Asfalto.....	11
2.3.4 Concreto.....	13
2.3.5 Suelos.....	15
REFERENCIAS.....	17
3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES.....	18
3.1 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. (NTC-176, NTC-237).....	19
Introducción.....	19
3.1.1 Objetivos.....	19
3.1.2 Aplicaciones.....	19

3.1.3	Materiales Y Equipos .....	19
3.1.4	Base Teórica.....	22
3.1.5	Recomendaciones .....	23
3.1.6	Procedimiento .....	23
3.1.7	Datos y Resultados .....	33
3.1.8	Análisis de Resultados .....	34
	REFERENCIAS.....	36
3.2	PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE).(INV E-130-07)	37
	Introducción .....	37
3.2.1	Objetivos.....	37
3.2.2	Aplicaciones.....	37
3.2.3	Materiales y Equipos .....	38
3.2.4	Base Teórica.....	41
3.2.5	Recomendaciones .....	42
3.2.6	Procedimiento .....	42
3.2.7	Datos y Resultados .....	46
3.2.8	Análisis de Resultados .....	47
	REFERENCIAS.....	49
3.3	DENSIDAD O MASA UNITARIA DEL SUELO EN EL TERRENO (MÉTODO DEL CONO DE ARENA).(INV E-161-07)	50
	Introducción .....	50
3.3.1	Objetivos.....	50
3.3.2	Aplicaciones.....	50
3.3.3	Materiales y Equipos .....	51
3.3.4	Base Teórica.....	55

3.3.5	Recomendaciones .....	55
3.3.6	Procedimiento .....	56
3.3.7	Datos y Resultados .....	62
3.3.8	Análisis de Resultados .....	62
	REFERENCIAS.....	64
3.4	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. (INV E-213-07).	65
	Introducción .....	65
3.4.1	Objetivos.....	65
3.4.2	Aplicaciones.....	65
3.4.3	Materiales y Equipos .....	66
3.4.4	Base Teórica.....	68
3.4.5	Recomendaciones .....	69
3.4.6	Procedimiento .....	69
3.4.7	Datos y Resultados .....	73
3.4.8	Análisis de Resultados .....	74
	REFERENCIAS.....	76
4.	CARACTERIZACIÓN EMPÍRICA DE LOS MATERIALES.....	77
4.1	PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV-E-706-07) .....	78
	Introducción .....	78
4.1.1	Objetivos.....	78
4.1.2	Aplicaciones.....	78
4.1.3	Materiales y Equipos .....	79
4.1.4	Base Teórica.....	81
4.1.5	Recomendaciones .....	82

4.1.6	Procedimiento .....	82
4.1.7	Datos y Resultados .....	87
4.1.8	Análisis de Resultados .....	88
	REFERENCIAS.....	90
4.2	MÉTODO PARA DETERMINAR LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO. (NTC-109, NTC-118).....	91
	PARTE A. Consistencia Normal del Cemento .....	91
	Introducción .....	91
4.2.1	Objetivos.....	91
4.2.2	Aplicaciones.....	91
4.2.3	Materiales y Equipos .....	92
4.2.4	Base Teórica.....	94
4.2.5	Recomendaciones .....	94
4.2.6	Procedimiento .....	94
4.2.7	Datos y Resultados .....	98
4.2.8	Análisis de Resultados .....	98
	PARTE B. Tiempos de Fraguado del Cemento.....	99
	Introducción .....	99
4.2.9	Objetivos.....	99
4.2.10	Materiales y Equipos .....	99
4.2.11	Base Teórica.....	101
4.2.12	Recomendaciones .....	102
4.2.13	Procedimiento .....	102
4.2.14	Datos y Resultados .....	108
4.2.15	Análisis de Resultados .....	108
	REFERENCIAS.....	110

4.3	ENSAYO DE DUREZA BRINELL. (INV E-503-07) .....	111
	Introducción .....	111
4.3.1	Objetivos.....	111
4.3.2	Aplicaciones.....	111
4.3.3	Materiales y Equipos .....	112
4.3.4	Base Teórica.....	112
4.3.5	Recomendaciones .....	113
4.3.6	Procedimiento .....	113
4.3.7	Datos y Resultados .....	115
4.3.8	Análisis de Resultados .....	117
	REFERENCIAS.....	121
4.4	PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (Aparato de Anillo y Bola). (INV E-712-07) .....	122
	Introducción .....	122
4.4.1	Objetivos.....	122
4.4.2	Aplicaciones.....	122
4.4.3	Materiales y Equipos .....	123
4.4.4	Base Teórica.....	125
4.4.5	Recomendaciones .....	126
4.4.6	Procedimiento .....	126
4.4.7	Datos y Resultados .....	130
4.4.8	Análisis de Resultados .....	131
	REFERENCIAS.....	133
4.5	DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV E-702-07).....	134
	Introducción .....	134

4.5.1	Objetivos.....	134
4.5.2	Aplicaciones.....	134
4.5.3	Materiales y Equipos .....	135
4.5.4	Base Teórica.....	137
4.5.5	Recomendaciones .....	137
4.5.6	Procedimiento .....	137
4.5.7	Datos y Resultados .....	141
4.5.8	Análisis de Resultados .....	142
	REFERENCIAS.....	144
4.6	LIMITES DE ATTERBERG. (INV-E-125-07, INV-E-126-07).....	145
	Introducción .....	145
4.6.1	Objetivos.....	145
4.6.2	Aplicaciones.....	145
4.6.3	Materiales y Equipos .....	146
4.6.4	Base Teórica.....	149
4.6.5	Recomendaciones .....	150
4.6.6	Procedimiento .....	150
4.6.7	Datos y Resultados .....	159
4.6.8	Análisis de Resultados .....	159
	REFERENCIAS.....	162
5.	CARACTERIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....	163
5.1	ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-673).....	164
	Introducción .....	164

5.1.1	Objetivos.....	164
5.1.2	Aplicaciones.....	164
5.1.3	Materiales Y Equipos .....	165
5.1.4	Base Teórica.....	169
5.1.5	Recomendaciones .....	169
5.1.6	Procedimiento .....	170
5.1.7	Datos y Resultados .....	177
5.1.8	Análisis de Resultados .....	178
	REFERENCIAS.....	180
5.2	ENSAYO DE TRACCIÓN PARA PRODUCTOS DE ACERO. (ENSAYO #2 NTC-ACERO DE REFUERZO) Y MODULO DE RIGIDEZ.....	182
	Introducción .....	182
5.2.1	Objetivos.....	182
5.2.2	Aplicaciones.....	182
5.2.3	Materiales Y Equipos .....	183
5.2.4	Base Teórica.....	184
5.2.5	Recomendaciones .....	185
5.2.6	Procedimiento .....	186
5.2.7	Datos y Resultados .....	188
5.2.8	Análisis de Resultados .....	188
	REFERENCIAS.....	191
5.3	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO (MÉTODO DE CORTE DIRECTO). (INV E-154-07).....	192
	Introducción .....	192
5.3.1	Objetivos.....	192

5.3.2	Aplicaciones.....	192
5.3.3	Materiales y Equipos .....	193
5.3.4	Base Teórica.....	196
5.3.5	Recomendaciones .....	197
5.3.6	Procedimiento .....	197
5.3.7	Datos y Resultados .....	204
5.3.8	Análisis de Resultados .....	205
	REFERENCIAS.....	209
5.4	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ). (INV E-414-07) .....	210
	Introducción .....	210
5.4.1	Objetivos.....	210
5.4.2	Aplicaciones.....	210
5.4.3	Materiales y Equipos .....	211
5.4.4	Base Teórica.....	214
5.4.5	Recomendaciones .....	214
5.4.6	Procedimiento .....	215
5.4.7	Datos y Resultados .....	223
5.4.8	Análisis de Resultados .....	225
	REFERENCIAS.....	227
5.5	ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-22) .....	228
	Introducción .....	228
5.5.1	Objetivos.....	228
5.5.2	Aplicaciones.....	228

5.5.3	Materiales y Equipos .....	229
5.5.4	Base Teórica.....	233
5.5.5	Recomendaciones .....	233
5.5.6	Procedimiento .....	234
5.5.7	Datos y Resultados .....	242
5.5.8	Análisis de Resultados .....	242
	REFERENCIAS.....	244
5.6	ENSAYO VISCOSIDAD DEL ASFALTO MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO. (INV E-716-07) .....	245
	Introducción .....	245
5.6.1	Objetivos.....	245
5.6.2	Aplicaciones.....	245
5.6.3	Materiales y Equipos .....	246
5.6.4	Base Teórica.....	248
5.6.5	Recomendaciones .....	248
5.6.6	Procedimiento .....	248
5.6.7	Datos y Resultados .....	251
5.6.8	Análisis de Resultados .....	252
	REFERENCIAS.....	254
	RECOMENDACIONES GENERALES .....	260
	CONCLUSIONES .....	261

## LISTA DE FIGURAS

4. CARACTERIZACIÓN EMPÍRICA DE LOS MATERIALES.....	77
4.3 ENSAYO DE DUREZA BRINELL. (INV E-503-07).....	111
4.3.7 Datos y Resultados .....	115
Figura 4.3.7-1: Resultado de Dureza en el Eje Medio.....	116
5. CARACTERIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....	163
5.6 ENSAYO VISCOSIDAD DEL ASFALTO MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO. (INV E-716-07) .....	245
5.6.3 Materiales y Equipos .....	246
Figura 5.6.3-1: Viscosímetro Koppers .....	247

## LISTA DE TABLAS

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES .....	18
3.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.(INV E-213-07)..	65
3.4.6 Procedimiento .....	69
Tabla 3.4.6-1: Toma de Muestras según Tamaño Máximo Nominal .....	70
4. CARACTERIZACIÓN EMPÍRICA DE LOS MATERIALES.....	77
4.1 PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV-E-706-07) .....	78
4.1.6 Procedimiento .....	82
Tabla 4.1.6-1: Condiciones del Ensayo de Penetración .....	87
5. CARACTERIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....	163
5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-673).....	164
5.1.6 Procedimiento .....	170
Tabla 5.1.6-1: Número de Capas de Llenado para Cilindros de Hormigón.....	173
Tabla 5.1.6-2: Apisonado de Cilindros de Hormigón .....	174
5.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ). (INV E-414-07) .....	210

5.4.6	Procedimiento .....	215
	Tabla 5.4.6-1: Número de Capas de Llenado para elementos Prismáticos de Hormigón .	219
	Tabla 5.4.6-2: Apisonado de Vigas de Hormigón .....	219
5.5	ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-722) .....	228
5.5.6	Procedimiento .....	234
	Tabla 5.5.6-1: Número de Capas de Llenado para Cilindros de Hormigón.....	237
	Tabla 5.5.6-2: Apisonado de Cilindros de Hormigón .....	237

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES .....	18
3.1 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. (NTC-176, NTC-237) .....	19
3.1.3 Materiales Y Equipos .....	19
Foto 3.1.3-1: Balanza.....	20
Foto 3.1.3-2: Recipiente Metálico.....	20
Foto 3.1.3-3: Canastilla de Malla .....	20
Foto 3.1.3-4: Tamiz N°4.....	21
Foto 3.1.3-5: Balón Aforado.....	21
Foto 3.1.3-6: Pisón y Cono Metálico .....	22
Foto 3.1.3-7: Secador de Pelo .....	22
3.1.6 Procedimiento .....	23
Foto 3.1.6-1: Proceso de Tamizado.....	24
Foto 3.1.6-2: Proceso de Tamizado.....	24
Foto 3.1.6-3: Material Tamizado.....	24
Foto 3.1.6-4: Material Tamizado.....	25
Foto 3.1.6-5: Agregado Grueso Lavado .....	25
Foto 3.1.6-6: Agregado Grueso Sumergido .....	25
Foto 3.1.6-7: Agregado Grueso Sumergido .....	26
Foto 3.1.6-8: Eliminación de Agua en Agregado.....	26
Foto 3.1.6-9: Secado Agregado Grueso .....	26
Foto 3.1.6-10: Pesaje Agregados.....	27

Foto 3.1.6-11: Pesaje Agregados Sumergidos.....	27
Foto 3.1.6-12: Material en el Horno .....	28
Foto 3.1.6-13: Extracción del Horno .....	28
Foto 3.1.6-14: Pesaje Agregado Seco.....	28
Foto 3.1.6-15: Proceso de Tamizado.....	29
Foto 3.1.6-16: Finos Sumergidos.....	29
Foto 3.1.6-17: Finos Extendidos en Cuarteador .....	30
Foto 3.1.6-18: Secado Agregado Fino .....	30
Foto 3.1.6-19: Apisonamiento de Finos .....	30
Foto 3.1.6-20: Extracción Cono Metálico.....	31
Foto 3.1.6-21: Muestra en Balón Aforado .....	31
Foto 3.1.6-22: Pesaje de Balón Aforado Lleno de Agua .....	32
Foto 3.1.6-23: Muestras en el Horno .....	32
Foto 3.1.6-24: Finos Secos .....	32
Foto 3.1.6-25: Pesaje de Finos .....	33
3.2 PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE).(INV E-130-07)	37
3.2.3 Materiales y Equipos .....	38
Foto 3.2.3-1: Balanza.....	38
Foto 3.2.3-2: Permeámetro .....	38
Foto 3.2.3-3: Calibrador .....	39
Foto 3.2.3-4: Embudo con Manguera .....	39
Foto 3.2.3-5: Pala Pequeña .....	39
Foto 3.2.3-6: Probeta .....	40
Foto 3.2.3-7: Pisón .....	40
Foto 3.2.3-8: Cronometro .....	40
3.2.6 Procedimiento .....	42

Foto 3.2.6-1: Muestra de Suelo .....	42
Foto 3.2.6-2: Proceso de Tamizado.....	42
Foto 3.2.6-3: Muestra Tamizada.....	43
Foto 3.2.6-4: Medición Diámetro Interno Permeámetro .....	43
Foto 3.2.6-5: Pesaje Permeámetro .....	43
Foto 3.2.6-6: Colocación Piedras Porosas.....	44
Foto 3.2.6-7: Llenado de Permeámetro con Suelo .....	44
Foto 3.2.6-8: Proceso de Compactación .....	44
Foto 3.2.6-9: Permeámetro Lleno.....	45
Foto 3.2.6-10: Saturación del Suelo .....	45
Foto 3.2.6-11: Flujo Saliente en Permeámetro.....	46
3.3 DENSIDAD O MASA UNITARIA DEL SUELO EN EL TERRENO (MÉTODO DEL CONO DE ARENA).(INV E-161-07) .....	50
3.3.3 Materiales y Equipos .....	51
Foto 3.3.3-1: Tarro Plástico.....	51
Foto 3.3.3-2: Cono Metálico con Válvula.....	51
Foto 3.3.3-3: Placa Base Metálica.....	52
Foto 3.3.3-4: Pala Pequeña .....	52
Foto 3.3.3-5: Porra .....	52
Foto 3.3.3-6: Cuchara.....	53
Foto 3.3.3-7: Cepillo .....	53
Foto 3.3.3-8: Balanza.....	53
Foto 3.3.3-9: Horno.....	54
Foto 3.3.3-10: Arena de Densidad Conocida .....	54
Foto 3.3.3-11: Flexómetro .....	54
3.3.6 Procedimiento .....	56

Foto 3.3.6-1: Plato Base sobre Terreno Nivelado .....	56
Foto 3.3.6-2: Vaciado de Arena en Cono .....	56
Foto 3.3.6-3: Pesaje de Arena sobrante.....	57
Foto 3.3.6-4: Excavacion Hueco .....	57
Foto 3.3.6-5: Medición Profundidad Hueco.....	57
Foto 3.3.6-6: Hueco Terminado .....	58
Foto 3.3.6-7: Recolección de Muestra .....	58
Foto 3.3.6-8: Muestra Extraída .....	58
Foto 3.3.6-9: Dispositivo Preparado para Llenado .....	59
Foto 3.3.6-10: Hueco Lleno .....	59
Foto 3.3.6-11: Extracción y Llenado de Bolsa con Arena.....	60
Foto 3.3.6-12: Extracción y Llenado de Bolsa con Arena.....	60
Foto 3.3.6-13: Hueco Despues de Extracción de Arena.....	60
Foto 3.3.6-14: Pesaje de Muestra Extraída.....	61
Foto 3.3.6-15: Pesaje de Arena .....	61
Foto 3.3.6-16: Colocación de Muestra en el Horno.....	61
3.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.(INV E-213-07)..	65
3.4.3 Materiales y Equipos .....	66
Foto 3.4.3-1: Balanza.....	66
Foto 3.4.3-2: Material Grueso y Fino .....	66
Foto 3.4.3-3: Horno.....	67
Foto 3.4.3-4: Tamices (Agregado Grueso) .....	67
Foto 3.4.3-5: Tamices (Agregado Fino).....	67
Foto 3.4.3-6: Tamizadora mecánica.....	68
3.4.6 Procedimiento .....	69
Foto 3.4.6-1: Material Cuarteado .....	69

Foto 3.4.6-2: Lavado Agregado Grueso .....	70
Foto 3.4.6-3: Lavado Agregado Fino .....	71
Foto 3.4.6-4: Agregado Grueso y Fino Limpio.....	71
Foto 3.4.6-5: Agregado Grueso y Fino en el Horno .....	71
Foto 3.4.6-6: Agregado Grueso y Fino Seco.....	72
Foto 3.4.6-7: Tamizado de Agregado Grueso .....	72
Foto 3.4.6-8: Tamizado de Agregado Fino .....	73
Foto 3.4.6-9: Pesaje de los Agregados .....	73
4. CARACTERIZACIÓN EMPÍRICA DE LOS MATERIALES.....	77
4.1 PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV-E-706-07).....	78
4.1.3 Materiales y Equipos .....	79
Foto 4.1.3-1: Muestra de Asfalto .....	79
Foto 4.1.3-2: Recipientes Metálicos.....	79
Foto 4.1.3-3: Estufa Eléctrica .....	79
Foto 4.1.3-4: Termometro .....	80
Foto 4.1.3-5: Vasija Metálica.....	80
Foto 4.1.3-6: Cronometro .....	80
Foto 4.1.3-7: Penetrometro .....	81
4.1.6 Procedimiento .....	82
Foto 4.1.6-1: Muestra de Asfalto .....	82
Foto 4.1.6-2: Calentamiento de Muestra.....	83
Foto 4.1.6-3: Medición de Temperatura Asfalto .....	83
Foto 4.1.6-4: Llenado de Recipientes.....	83
Foto 4.1.6-5: Llevando al Laboratorio.....	84
Foto 4.1.6-6: Recipientes con Muestra .....	84

Foto 4.1.6-7: Enfriado de Recipientes.....	84
Foto 4.1.6-8: Muestra Sumergida en Agua .....	85
Foto 4.1.6-9: Nivelación de Penetrometro .....	85
Foto 4.1.6-10: Calibración de Aguja en Cero .....	86
Foto 4.1.6-11: Acercamiento de Aguja en Muestra de Asfalto .....	86
Foto 4.1.6-12: Limpieza de Aguja.....	87
4.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO. (NTC-109, NTC-118) .....	91
4.2.3 Materiales y Equipos .....	92
Foto 4.2.3-1: Aparato Vicat.....	92
Foto 4.2.3-2: Balanza.....	92
Foto 4.2.3-3: Molde troco-cónico .....	93
Foto 4.2.3-4: Muestra de Cemento.....	93
Foto 4.2.3-5: Probeta .....	93
4.2.6 Procedimiento .....	94
Foto 4.2.6-1: Pesaje de Cemento.....	94
Foto 4.2.6-2: Colocación de Cemento en Mezclador.....	95
Foto 4.2.6-3: Adición de Agua en Mezclador.....	95
Foto 4.2.6-4: Proceso de Mezclado.....	95
Foto 4.2.6-5: Muestra de Cemento Mezclada .....	96
Foto 4.2.6-6: Muestra de Cemento Enrazada.....	96
Foto 4.2.6-7: Muestra de Cemento en el Aparato Vicat.....	97
Foto 4.2.6-8: Penetración en el Aparato Vicat.....	97
Foto 4.2.6-9: Penetración en el Aparato Vicat.....	98
4.2.10 Materiales y Equipos .....	99

Foto 4.2.10-1: Muestra de Cemento.....	99
Foto 4.2.10-2: Agujas de Gillmore .....	100
Foto 4.2.10-3: Molde Circular .....	100
Foto 4.2.10-4: Espatula .....	100
Foto 4.2.10-5: Aguja de Vicat.....	101
Foto 4.2.10-6: Molde Cónico.....	101
4.2.13 Procedimiento .....	102
Foto 4.2.13-1: Colocación de Cemento en Molde .....	103
Foto 4.2.13-2: Vibración para Extracción de Vacíos en Molde.....	103
Foto 4.2.13-3: Dispositivo Preparado .....	103
Foto 4.2.13-4: Penetración de Aguja .....	104
Foto 4.2.13-5: Detalle Penetración .....	104
Foto 4.2.13-6: Detalle Penetración .....	105
Foto 4.2.13-7: Colocación de Cemento en Molde .....	105
Foto 4.2.13-8: Eliminación de Excesos.....	105
Foto 4.2.13-9: Nivelación de Superficie de Molde.....	106
Foto 4.2.13-10: Dispositivo Preparado .....	106
Foto 4.2.13-11: Ajuste Aguja Previo a la Penetracion .....	107
Foto 4.2.13-12: Penetración de Aguja .....	107
Foto 4.2.13-13: Detalle Penetración .....	107
4.3 ENSAYO DE DUREZA BRINELL. (INV E-503-07).....	111
4.3.3 Materiales y Equipos .....	112
Foto 4.3.3-1: Maquina de Ensayo Brinell.....	112
Foto 4.3.3-2: Probeta de Ensayo.....	112
4.3.6 Procedimiento .....	113

Foto 4.3.6-1: Probeta de Ensayo sobre la Maquina Brinell .....	113
Foto 4.3.6-2: Alineación de la Probeta.....	114
Foto 4.3.6-3: Ajuste de la Maquina Brinell en Cero .....	114
Foto 4.3.6-4: Penetración de la Maquina Brinell sobre la Probeta .....	114
Foto 4.3.6-5: Lectura de la Dureza Brinell.....	115
Foto 4.3.6-6: Repetición del Ensayo .....	115
4.4 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (Aparato de Anillo y Bola). (INV E-712-07).....	122
4.4.3 Materiales y Equipos .....	123
Foto 4.4.3-1: Anillos .....	123
Foto 4.4.3-2: Bolas de Acero Inoxidable .....	123
Foto 4.4.3-3: Montaje y Soporte de anillos .....	123
Foto 4.4.3-4: Plato Base .....	124
Foto 4.4.3-5: Termómetro para Asfalto .....	124
Foto 4.4.3-6: Termómetro para Agua .....	124
Foto 4.4.3-7: Líquido para Baño (Agua) .....	125
Foto 4.4.3-8: Estufa Eléctrica .....	125
4.4.6 Procedimiento .....	126
Foto 4.4.6-1: Medición de la Temperatura del Asfalto.....	126
Foto 4.4.6-2: Plato Base con Agente Aislante .....	127
Foto 4.4.6-3: Vertido de Asfalto sobre los Anillos .....	127
Foto 4.4.6-4: Anillos con Asfalto .....	127
Foto 4.4.6-5: Vertiendo Agua sobre el Montaje .....	128
Foto 4.4.6-6: Medición de la Temperatura del Agua .....	128
Foto 4.4.6-7: Anillos y Bolas sobre el Montaje .....	129
Foto 4.4.6-8: Medición de la Variación de la Temperatura en el Montaje .....	129

Foto 4.4.6-9: Detalle del Montaje .....	129
Foto 4.4.6-10: Bolas de Acero Cayendo .....	130
Foto 4.4.6-11: Detalle Final de la Prueba.....	130
4.5 DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV E-702-07).....	134
4.5.3 Materiales y Equipos .....	135
Foto 4.5.3-1: Moldes .....	135
Foto 4.5.3-2: Plato Base .....	135
Foto 4.5.3-3: Baño de Agua.....	135
Foto 4.5.3-4: Ductilómetro.....	136
Foto 4.5.3-5: Termómetro .....	136
Foto 4.5.3-6: Tamiz # 50.....	136
4.5.6 Procedimiento .....	137
Foto 4.5.6-1: Plato Base con Material Aislante.....	138
Foto 4.5.6-2: Molde sobre el Plato Base.....	138
Foto 4.5.6-3: Calentamiento de Asfalto.....	138
Foto 4.5.6-4: Vertido del Asfalto sobre el Molde .....	139
Foto 4.5.6-5: Molde con Asfalto Enfriándose .....	139
Foto 4.5.6-6: Molde con Asfalto sobre el Baño de Agua .....	139
Foto 4.5.6-7: Molde con Asfalto dentro del Ductilómetro .....	140
Foto 4.5.6-8: Acople del Molde en el Ductilómetro .....	140
Foto 4.5.6-9: Detalle de la Muestra Ensayándose .....	140
Foto 4.5.6-10: Detalle de la Muestra Ensayándose .....	141
Foto 4.5.6-11: Ruptura Final de la Muestra .....	141
4.6 LÍMITES DE ATTERBERG. (INV-E-125-07, INV-E-126-07).....	145

4.6.3	Materiales y Equipos .....	146
	Foto 4.6.3-1: Vasija de Porcelana.....	146
	Foto 4.6.3-2: Calibrador .....	146
	Foto 4.6.3-3: Ranurador .....	146
	Foto 4.6.3-4: Tamiz N° 40.....	147
	Foto 4.6.3-5: Espatula .....	147
	Foto 4.6.3-6: Maquina de Casagrande.....	147
	Foto 4.6.3-7: Recipientes para Secado de Muestras .....	148
	Foto 4.6.3-8: Balanza.....	148
	Foto 4.6.3-9: Horno .....	148
	Foto 4.6.3-10: Probeta .....	149
	Foto 4.6.3-11: Pipeta.....	149
4.6.6	Procedimiento .....	150
	Foto 4.6.6-1: Pesaje de Suelo Tamizado .....	150
	Foto 4.6.6-2: Muestra de Suelo .....	151
	Foto 4.6.6-3: Colocación de Muestra en Vasija .....	151
	Foto 4.6.6-4: Adición de Agua sobre la Muestra .....	151
	Foto 4.6.6-5: Homogenización de Muestra .....	152
	Foto 4.6.6-6: Colocación de Pasta de Suelo en Maquina .....	152
	Foto 4.6.6-7: Pasta de Suelo lista para Ensayar .....	152
	Foto 4.6.6-8: Medición de Profundidad de Pasta de Suelo .....	153
	Foto 4.6.6-9: Ranuración de la Pasta de Suelo .....	153
	Foto 4.6.6-10: Pasta de Suelo Ranurada.....	153
	Foto 4.6.6-11: Proceso de Golpeado mediante la Maquina de Ensayo.....	154
	Foto 4.6.6-12: Toma de Muestra para Medición de Humedad .....	154
	Foto 4.6.6-13: Pesaje de Muestra para Medicion de Humedad.....	155
	Foto 4.6.6-14: Colocación de Muestra en el Horno.....	155
	Foto 4.6.6-15: Homogenización de Muestra .....	156

Foto 4.6.6-16: Bola de Suelo .....	156
Foto 4.6.6-17: Partición de Bola de Suelo.....	156
Foto 4.6.6-18: Medición de Diametro de Rollo .....	157
Foto 4.6.6-19: Partición de Rollo .....	157
Foto 4.6.6-20: Amasado de Bolas de Suelo.....	157
Foto 4.6.6-21: Colocacion de Muestra en el Horno.....	158
Foto 4.6.6-22: Muestras Secas.....	158
5. CARACTERIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....	163
5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-673).....	164
5.1.3 Materiales Y Equipos .....	165
Foto 5.1.3-1: Balanza.....	165
Foto 5.1.3-2: Maquina de Ensayo .....	165
Foto 5.1.3-3: Deformímetro.....	1656
Foto 5.1.3-4: Material Aislante .....	166
Foto 5.1.3-5: Molde de Cilindro .....	166
Foto 5.1.3-6: Materiales para la Muestra .....	167
Foto 5.1.3-7: Palustre.....	167
Foto 5.1.3-8: Probeta .....	168
Foto 5.1.3-9: Recipiente para Mezcla y Muestreo.....	168
Foto 5.1.3-10: Varilla Compactadora .....	168
5.1.6 Procedimiento .....	170
Foto 5.1.6-1: Pesaje de los Materiales.....	171
Foto 5.1.6-2: Agregado Fino en el Recipiente de Mezclado .....	171
Foto 5.1.6-3: Agregado Fino y Cemento en el Recipiente de Mezclado.....	172

Foto 5.1.6-4: Agregado Fino, Grueso y Cemento en el Recipiente de Mezclado .....	172
Foto 5.1.6-5: Adición de Agua al Recipiente de Mezclado .....	172
Foto 5.1.6-6: Mezclado de Materiales .....	173
Foto 5.1.6-7: Compactación de la Mezcla.....	174
Foto 5.1.6-8: Vertido de la Mezcla sobre el Molde.....	175
Foto 5.1.6-9: Molde lleno con la Mezcla de Concreto.....	175
Foto 5.1.6-10: Alineación de la Probeta en la Maquina de Ensayo .....	176
Foto 5.1.6-11: Colocación de Deformímetro .....	176
Foto 5.1.6-12: Prueba de Resistencia Ultima del Cilindro .....	177
Foto 5.1.6-13: Detalle de Falla en Cilindro.....	177
5.2 ENSAYO DE TRACCIÓN PARA PRODUCTOS DE ACERO. (ENSAYO #2 NTC-ACERO DE REFUERZO) Y MODULO DE RIGIDEZ.....	182
5.2.3 Materiales Y Equipos .....	183
Foto 5.2.3-1: Calibrador .....	183
Foto 5.2.3-2: Extensómetro .....	183
Foto 5.2.3-3: Deformímetro.....	183
Foto 5.2.3-4: Maquina Universal de Ensayo .....	184
Foto 5.2.3-5: Probetas.....	184
5.2.6 Procedimiento .....	186
Foto 5.2.6-1: Medición Inicial de Probeta.....	186
Foto 5.2.6-2: Colocación de Marcas.....	186
Foto 5.2.6-3: Colocación de Anillos Sujetadores .....	187
Foto 5.2.6-4: Prueba de Resistencia .....	187
Foto 5.2.6-5: Detalle de Falla en Probetas.....	188
5.3 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO (MÉTODO DE CORTE	

DIRECTO). (INV E-154-07).....	192
5.3.3 Materiales y Equipos .....	193
Foto 5.3.3-1: Muestra Natural de Suelo .....	193
Foto 5.3.3-2: Aparato de Corte Directo .....	193
Foto 5.3.3-3: Pesas .....	193
Foto 5.3.3-4: Caja de Corte .....	194
Foto 5.3.3-5: Caucho de Separación .....	194
Foto 5.3.3-6: Segueta .....	194
Foto 5.3.3-7: Anillos de Acero .....	195
Foto 5.3.3-8: Balanza.....	195
Foto 5.3.3-9: Medidor de Carga .....	195
Foto 5.3.3-10: Medidor de Desplazamiento .....	196
5.3.6 Procedimiento .....	197
Foto 5.3.6-1: Muestra Natural de Suelo .....	198
Foto 5.3.6-2: Colocación de Tubo en Prensa .....	198
Foto 5.3.6-3: Corte de Tubo .....	198
Foto 5.3.6-4: Porciones de Tubo Cortadas.....	199
Foto 5.3.6-5: : Colocación de Anillo en Porcion de Suelo .....	199
Foto 5.3.6-6: Anillos Incrustados en Suelo.....	199
Foto 5.3.6-7: Extracción de Anillos .....	200
Foto 5.3.6-8: Anillos con Suelo.....	200
Foto 5.3.6-9: Pesaje de Anillos con Suelo .....	200
Foto 5.3.6-10: Colocación de Anillo en Caja de Corte.....	201
Foto 5.3.6-11: Extracción de Anillo mediante el Caucho.....	201
Foto 5.3.6-12: Muestra de Suelo a Ensayar .....	201
Foto 5.3.6-13: Caja de Corte Preparada.....	202
Foto 5.3.6-14: Maquina de corte Preparada para Ensayo .....	202
Foto 5.3.6-15: Proceso de Corte .....	203

Foto 5.3.6-16: Detalle de Falla del Suelo .....	203
Foto 5.3.6-16: Muestras de Suelo Falladas .....	204
Foto 5.3.6-17: Colocación de Muestras en el Horno .....	204
5.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ). (INV E-414-07) .....	210
5.4.3 Materiales y Equipos .....	211
Foto 5.4.3-1: Balanza .....	211
Foto 5.4.3-2: Materiales para la Mezcla .....	211
Foto 5.4.3-3: Maquina de Universal de Ensayo .....	212
Foto 5.4.3-4: Material Aislante .....	212
Foto 5.4.3-5: Molde para Viga .....	212
Foto 5.4.3-6: Palustre.....	213
Foto 5.4.3-7: Probeta .....	213
Foto 5.4.3-8: Recipiente para Mezclado .....	213
Foto 5.4.3-9: Varilla Compactadora .....	214
5.4.6 Procedimiento .....	215
Foto 5.4.6-1: Pesaje de Materiales para la Mezcla .....	216
Foto 5.4.6-2: Materiales para la Mezcla .....	216
Foto 5.4.6-3: Aplicación de Material Aislante dentro del Molde de la Viga.....	217
Foto 5.4.6-4: Colocación de Finos en recipiente de Mezclado .....	217
Foto 5.4.6-5: Adición de Cemento en Recipiente de Mezcla.....	217
Foto 5.4.6-6: Adición de Agregado Gruesos y Mezclado en Recipiente.....	218
Foto 5.4.6-7: Adición de Agua en Recipiente de Mezclado .....	218
Foto 5.4.6-8: Mezcla de los Materiales.....	218
Foto 5.4.6-9: Colocación de Mezcla dentro del Molde de la Viga .....	220
Foto 5.4.6-10: Compactación de la Mezcla.....	220
Foto 5.4.6-11: Enrazado final de la Mezcla .....	220

Foto 5.4.6-12: Viga despues de 24 Horas de Fraguado .....	221
Foto 5.4.6-13: Viga despues de 14 dias de Fraguado .....	221
Foto 5.4.6-14: Preparación de la Maquina para el Ensayo .....	221
Foto 5.4.6-15: Aplicación de Carga sobre la Viga.....	222
Foto 5.4.6-16: Falla Inicial .....	222
Foto 5.4.6-17: Viga Fallada.....	222
5.5 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-722) .....	228
5.5.3 Materiales y Equipos .....	229
Foto 5.5.3-1: Balanza.....	229
Foto 5.5.3-2: Maquina de Ensayo .....	229
Foto 5.5.3-3: Listones de Apoyo en Madera.....	230
Foto 5.5.3-4: Material Aislante .....	230
Foto 5.5.3-5: Molde Cilíndrico .....	230
Foto 5.5.3-6: Materiales para la Mezcla .....	231
Foto 5.5.3-7: Palustre.....	231
Foto 5.5.3-8: Probeta .....	232
Foto 5.5.3-9: Recipiente para Mezclado .....	232
Foto 5.5.3-10: Varilla Compactadora .....	232
5.5.6 Procedimiento .....	234
Foto 5.5.6-1: Pesaje de Materiales .....	235
Foto 5.5.6-2: Colocación de Arena en Recipiente de Mezclado .....	235
Foto 5.5.6-3: Adición de Cemento en Recipiente de Mezclado .....	236
Foto 5.5.6-4: Adición de Agregado Grueso en Recipiente de Mezclado .....	236
Foto 5.5.6-5: Adición de Agua en Recipiente de Mezclado .....	236
Foto 5.5.6-6: Proceso de Mezclado.....	237

Foto 5.5.6-7: Compactacion de Muestra .....	238
Foto 5.5.6-8: Llenado de Molde Cilíndrico.....	238
Foto 5.5.6-9: Molde Cilíndrico Lleno.....	238
Foto 5.5.6-10: Colocación de Listón Inferior.....	239
Foto 5.5.6-11: Colocación de Listón Superior .....	239
Foto 5.5.6-12: Preparación de Maquina .....	240
Foto 5.5.6-13: Maquina en Condiciones Previas al Ensayo .....	240
Foto 5.5.6-14: Aplicación de Carga sobre el Cilindro .....	240
Foto 5.5.6-15: Carga Ultima .....	241
Foto 5.5.6-16: Detalle de Falla .....	241
Foto 5.5.6-17: Cilindro Fallado.....	241
5.6 ENSAYO VISCOSIDAD DEL ASFALTO MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO. (INV E-716-07) .....	245
5.6.3 Materiales y Equipos .....	246
Foto 5.6.3-1: Baño de Agua (60°C).....	246
Foto 5.6.3-2: Horno.....	246
Foto 5.6.3-3: Muestra de Asfalto .....	247
Foto 5.6.3-4: Viscosímetro Koppers.....	247
5.6.6 Procedimiento .....	248
Foto 5.6.6-1: Llenado de Viscosímetro .....	249
Foto 5.6.6-2: Llenado de Viscosímetro .....	249
Foto 5.6.6-3: Colocación en Baño de Agua .....	249
Foto 5.6.6-4: Generación de Vacío.....	250
Foto 5.6.6-5: Apertura de Válvula.....	250
Foto 5.6.6-6: Medición de Tiempo.....	251
Foto 5.6.6-7: Ascenso del Asfalto.....	251

## LISTA DE ANEXOS

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES .....	18
3.1 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. (NTC-176, NTC-237) .....	19
ANEXO #1 (Tabla de Resultados) .....	35
3.2 PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE).(INV E-130-07) .....	37
ANEXO #2 (Tabla de Resultados) .....	48
3.3 DENSIDAD O MASA UNITARIA DEL SUELO EN EL TERRENO (MÉTODO DEL CONO DE ARENA).(INV E-161-07) .....	50
ANEXO #3 (Tabla de Resultados) .....	63
3.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.(INV E-213-07)..	65
ANEXO #4 (Tabla de Resultados) .....	75
4. CARACTERIZACIÓN EMPÍRICA DE LOS MATERIALES.....	77
4.1 PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV-E-706-07) .....	78
ANEXO #5 (Tabla de Resultados) .....	89
4.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO.(NTC-109, NTC-118).....	91
ANEXO #6 (Tabla de Resultados) .....	109
4.3 ENSAYO DE DUREZA BRINELL. (INV E-503-07).....	111

ANEXO #7 (Tabla 1 de Resultados) .....	118
ANEXO #8 (Tabla 2 de Resultados) .....	119
ANEXO #9 (Grafico de Resultados) .....	120
4.4 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (Aparato de Anillo y Bola). (INV E-712-07) .....	122
ANEXO #10 (Tabla de Resultados) .....	132
4.5 DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV E-702-07).....	134
ANEXO #11 (Tabla de Resultados) .....	143
4.6 LIMITES DE ATTERBERG. (INV-E-125-07, INV-E-126-07).....	145
ANEXO #12 (Tabla de Resultados) .....	160
ANEXO #13 (Grafico de Resultados) .....	161
5. CARACTERIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....	163
5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-673).....	164
ANEXO #14 (Tabla 1 de Resultados) .....	179
ANEXO #15 (Tabla 2 de Resultados) .....	180
5.2 ENSAYO DE TRACCIÓN PARA PRODUCTOS DE ACERO. (ENSAYO #2 NTC-ACERO DE REFUERZO) Y MODULO DE RIGIDEZ.....	182
ANEXO # 16 (Tabla de Resultados) .....	189
ANEXO # 17 (Grafico de Resultados) .....	190
5.3 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO (MÉTODO DE CORTE	

DIRECTO). (INV E-154-07).....	192
ANEXO #18 (Tabla 1 de Resultados) .....	206
ANEXO #19 (Tabla 2 de Resultados) .....	207
ANEXO #20 (Tabla 3 de Resultados) .....	208
5.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ). (INV E-414-07).....	210
ANEXO #21 (Tabla de Resultados) .....	226
5.5 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-722) .....	228
ANEXO #22 (Tabla de Resultados) .....	243
5.6 ENSAYO VISCOSIDAD DEL ASFALTO MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO. (INV E-716-07) .....	245
ANEXO #23 (Tabla de Resultados) .....	253
ANEXO #24 (Especificaciones del cemento asfáltico.).....	255
ANEXO #25 (Condiciones Generales de Equipos para Laboratorio).....	256
ANEXO #26 (Metodología Propuesta).....	258

## GLOSARIO

**ABSORCIÓN:** la absorción en los agregados básicamente se define como la cantidad de agua absorbida por estos durante un periodo de tiempo de 24 horas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

**COMPRESIÓN:** el esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.

**DENSIDAD:** el término densidad es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.

**DUCTILIDAD:** la ductilidad es la propiedad que presentan algunos metales y aleaciones cuando, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin romperse permitiendo obtener alambres o hilos.

**DUREZA:** la dureza es una propiedad mecánica de los materiales consistente en la dificultad que existe para rayar (mineralogía) o crear marcas en la superficie mediante micro penetración de una punta (penetrabilidad).

**FLEXIÓN:** se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras.

**GRANULOMETRÍA:** la granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

**LÍMITES DE ATTERBERG:** los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregarle agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

**PERMEABILIDAD:** la permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es

permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

**POROSIDAD:** la porosidad específica es la capacidad de un material de absorber líquidos o gases.

**TRACCIÓN:** se denomina tracción al esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

**VISCOSIDAD:** la viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

**RIGIDEZ:** la rigidez de un material es básicamente una relación de esfuerzo a deformación unitaria.

**RESISTENCIA A ESFUERZOS:** compresión, flexión, tracción y torsión.

Resistencia: hay tres valores interesantes de resistencia:

- a) La *Resistencia a la fluencia* ( $\sigma_y$ ), es el esfuerzo máximo que puede resistir el material sin adquirir una deformación permanente apreciable.
- b) La *resistencia ultima* ( $\sigma_u$ ), es el valor máximo del esfuerzo (es decir, el valor máximo del esfuerzo mecánico) que puede resistir el material.
- c) El *esfuerzo a rotura* ( $\sigma_r$ ), es el valor del esfuerzo en el momento de la rotura (puede ser diferente al esfuerzo ultimo).

## RESUMEN

### TITULO:

MANUAL TÉCNICO PARA EL DESARROLLO DEL LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES I\*

### AUTORES:

PEDROZA NIÑO, Orlando Enrique  
VERA SARMIENTO, Jorge Hernando\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Manual, Caracterización de Materiales, Normas INVÍAS, NTC.

### DESCRIPCIÓN:

La base fundamental de este proyecto es la realización de un Manual Técnico para el Laboratorio de Caracterización de Materiales I, el cual sirve como guía en el desarrollo de la práctica a los estudiantes, y como material de apoyo al docente.

El resultado y aporte de este trabajo esta recopilado en este manual, donde para cada práctica de laboratorio se expone de manera concisa y abreviada: introducción, objetivos, instrumentos y materiales, base teórica, procedimientos, cálculos y preguntas; todo lo anterior está debidamente sustentado según las Normas INVÍAS y las Normas Técnicas Colombianas NTC, que rigen cada ensayo.

El manual consta de veinte prácticas en las cuales la introducción y la base teórica están argumentadas a partir de libros y páginas técnicas sobre cada una en particular. También contiene cálculos y resultados, necesarios en cada procedimiento, para los cuales se diseño su respectivo formato en hojas de cálculo Excel. A manera de ilustración esta guía contiene una serie de fotografías paso a paso, de cómo se realiza cada práctica, para facilitar el desempeño del estudiante en la elaboración de cada uno de los ensayos y servir de consulta técnica para los profesionales.

---

\* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de Investigación.

\*\* Facultad de Ingeniería Físico - Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Ms.c, Hebenly Celis Leguizamo.

## ABSTRACT

### TITLE:

TECHNICAL MANUAL FOR THE DEVELOPMENT OF THE MATERIALS CHARACTERIZATION I LABORATORY\*

### AUTHORS:

PEDROZA NIÑO, Orlando Enrique  
VERA SARMIENTO, Jorge Hernando\*\*

**KEYWORDS:** Manual, Materials Characterization, INVÍAS Norms, NTC.

### DESCRIPTION:

The fundamental base of this project is the execution of a technical manual for the “Materials Characterization I Laboratory”. This manual will be a guide to develop the practice for the students and also it’s going to be a support material for the teacher.

The result and contribution of this work is complicated in this manual, where people can find clearly and well explained for every practice at the laboratory: introduction, objectives, materials, theory bases, procedure, calculations and questions about every practice at the laboratory, which are properly attached to the standards of the INVÍAS Norms and the Colombian Technical Norms, who are the ones that give regulation for every procedure made.

In this manual you can find twenty laboratory practices with their introductions and theory bases supported on several books and technical publications about those topics, it also has some calculations, which are necessary in every procedure, and results made on electronic sheets (Excel). This guide contains a great amount of pictures, step by step, on the process to realize every practice in order to make easier the performance of the students during the laboratory practices and also a technical resource for the professionals at this area.

---

\* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de Investigación.

\*\* Facultad de Ingeniería Físico - Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Ms.c, Hebenly Celis Leguizamo.

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander ha hecho una serie de reformas con el fin de alcanzar día tras día el mejoramiento académico de la institución, dentro de dichas reformas académicas, se creó en el pensum de Ingeniería Civil el Laboratorio de Caracterización de Materiales I, con el fin de que el estudiante conozca el comportamiento de los materiales.

En la formación del estudiante y el desempeño del profesional se ha evidenciado el olvido sobre las prácticas que se realizan en los laboratorios para determinar el comportamiento de los materiales, así como de su interpretación y correcta aplicación.

Como un aporte a la Facultad de Ingeniería Civil y a los estudiantes, se elaboró una guía informativa a la cual se denominó Manual Técnico para el Desarrollo del Laboratorio de Caracterización de Materiales I, en la que se expone un procedimiento aplicado y sustentado con las norma que rigen cada practica, explicando de manera didáctica lo que se debe realizar, lo cual sirve como apoyo al estudiante y soporte técnico al profesional.

El manual técnico es regido por la normas del INVÍAS (Instituto Nacional de Vías) y NTC (Normas Técnicas Colombianas); en este se presenta cada uno de los pasos a seguir para la correcta elaboración de los laboratorios, y los debidos formatos para la obtención de resultados.

Es de gran importancia dar claridad a los lectores que consulten este manual , que no se pretende reemplazar las normas ya existentes para consultar los procedimientos adecuados, sino mas bien ser un texto de apoyo y consulta para poder tener una mayor comprensión acerca de los procedimientos adecuados en la elaboración de las practicas en el laboratorio.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

Crear un manual técnico para el desarrollo del laboratorio de caracterización de materiales I.

### Objetivos Específicos:

Inspeccionar, clasificar y analizar la información bibliográfica que pueda ser un aporte para el proyecto.

Generar un documento escrito mediante el cual se muestre la metodología para la ejecución de un manual para el laboratorio de caracterización de materiales I.

Elaboración de formatos base para la presentación de informes de los ensayos contenidos en la materia caracterización de materiales I.

Presentación de material visual complementario, que servirá de apoyo en la realización de los ensayos más complejos de la materia.

Presentar recomendaciones generales de mejoramiento en la metodología de enseñanza-aprendizaje para las prácticas de esta materia.

## 1. PROGRAMA NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIOS.

Debido a la creciente demanda de calidad en todos los procedimientos y resultados para la caracterización de los materiales de construcción, existe un programa nacional encargado de realizar la acreditación a los laboratorios que realizan los ensayos para estos materiales.

Esta acreditación es un procedimiento mediante el cual se reconoce la competencia de un organismo de evaluación de la conformidad y además se demuestra el cumplimiento de los requisitos especificados respecto a un producto, proceso o sistema. Esta acreditación de los ensayos y de los laboratorios se encuentra incluida en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología desarrollado por la Superintendencia de Industria y Comercio y descrita en el Decreto 2269 de 1993.

La Superintendencia de Industria y Comercio es una entidad de carácter nacional adscrita al Ministerio de Comercio Industria y Turismo y tiene entre sus funciones la de acreditar y supervisar a los organismos evaluadores de la conformidad – OEC (organismos de certificación, inspección, laboratorios de ensayo y calibración), que hacen parte del Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología.

Es de gran importancia para la escuela realizar estos procesos de acreditación debido a que en la actualidad es un requisito indispensable para poder vender los servicios como evaluador. Además para otorgarle a la escuela de ingeniería civil mayores oportunidades comerciales y una alto grado de competencia y reconocimiento a nivel nacional e internacional.

Un manual que sirva de guía en la caracterización física y mecánica de los materiales de construcción utilizados en ingeniería civil es uno de los tantos requisitos a seguir para obtener la acreditación. La elaboración del manual técnico no solo es una herramienta más para el estudiante y el docente sino una gran ayuda para que la escuela certifique sus laboratorios con la normatividad que los rige.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Importancia de la Acreditación [en línea]. Santa Fe de Bogotá: Superintendencia de Industria y Comercio, 2008. [Consultado 13 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.sic.gov.co/acreditacion/acreditacion.php>.

### *Acreditación de laboratorios en la UIS<sup>2</sup>*

La importancia de la acreditación para los laboratorios está en demostrar que tienen implementado un sistema de gestión, que son competentes técnicamente y que los resultados reportados tienen validez.

En la Universidad Industrial de Santander se viene realizando, con el acompañamiento de las Vicerrectorías Académica y Administrativa, la implementación de la Norma ISO 17025:2005 con el propósito final de obtener la acreditación de las pruebas relacionadas en el alcance de cada laboratorio inscrito en el proceso, el cual se ha desarrollado por etapas, que incluyen: la sensibilización y capacitación al personal que estará comprometido con el proceso de implementación de la Norma citada, el diagnóstico del sistema de gestión de la calidad; la planeación, el diseño y documentación de todos los aspectos que influyen en la calidad del ensayo y/o calibración; la implementación o aplicación de lo planeado y documentado.

Este proceso, finalizará con la visita de la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) que después de una evaluación preliminar realizará la evaluación documental y la Auditoría de Acreditación definitivas, que conducen a la Comisión de Acreditación a otorgar o negar dicho reconocimiento.

Es frecuente la confusión entre los conceptos de acreditación y certificación. Para establecer la diferencia, es necesario identificar el objeto de cada actividad; de esta manera, cuando se habla de certificación se hace referencia a “evaluar y declarar públicamente que el laboratorio cumple los requisitos de una norma de gestión de calidad”. La importancia para los laboratorios radica en demostrar que se tiene un sistema de gestión implementado. Y acreditación es “reconocer formalmente que se tiene la competencia técnica para desempeñar determinadas tareas”. La importancia de la acreditación para los laboratorios está en demostrar que tienen implementado un sistema de gestión, que son competentes técnicamente y que los resultados reportados tienen validez.

Un laboratorio constituye una organización a la cual son aplicables los lineamientos de la ISO 9001 como estandarte de un Sistema de Gestión de Calidad. Una vez implementado el Sistema, el laboratorio puede proceder a certificarse ante las entidades autorizadas para tal fin.

---

<sup>2</sup>Acreditación de Laboratorios en la UIS [en línea]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008. [Consultado 19 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet:[http://www.uis.edu.co/portal/catedra\\_libre/julio2008/articulo1.html](http://www.uis.edu.co/portal/catedra_libre/julio2008/articulo1.html).

La norma de certificación ISO 9001, describe de un modo general los requisitos de un sistema de gestión de calidad para que puedan ser utilizados por cualquier tipo de empresa.

La norma de acreditación ISO17025, está totalmente enfocada a los requisitos específicos que debe cumplir el laboratorio para demostrar su competencia técnica, incluyendo los requisitos para asegurar su sistema de gestión.

La Norma ISO 9001:2000 se enfoca hacia la implementación del Sistema de Gestión de Calidad basado en los procesos, es aplicable a todo tipo de organización sin reparar en tamaño, tipo, categoría ni producto. Sin embargo, no todos los requisitos de la Norma se aplican a todas las organizaciones, se dan exclusiones de dicha Norma para determinadas actividades.

Un laboratorio constituye una organización a la cual son aplicables los lineamientos de la ISO 9001 como estandarte de un Sistema de Gestión de Calidad. Una vez implementado el Sistema, el laboratorio puede proceder a certificarse ante las entidades autorizadas para tal fin. Obviamente, el hecho de certificarse le da posicionamiento al laboratorio ya que le permitirá mejorar sus aspectos organizativos y generar confianza en sus clientes; pero la certificación no establece ningún aseguramiento en cuanto a su competencia técnica. Aseguramiento que sí obtiene cuando decide implementar una norma técnica (ISO 15189 o ISO 17025), garantizando la adopción de un sistema de gestión de calidad a todos sus procesos organizativos y además asegurando su competencia técnica, dando validez a los resultados emitidos por el laboratorio.

Por tanto, la norma ISO 17025 contiene los requerimientos que los laboratorios de calibración y ensayo tienen que cumplir si desean demostrar que funcionan con un sistema de calidad, son técnicamente competentes y pueden generar resultados válidos, se constituye en guía para la evaluación de la conformidad de los requisitos para calidad y competencia aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la naturaleza del ensayo y/o la calibración que se realice; proporciona herramientas y la estructura para que el laboratorio pueda generar confianza en sus clientes mejorando su competitividad y productividad.

## 2. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES

Un material es toda sustancia palpable que compone una cosa o producto el cual es utilizado para algún fin específico o puede ser parte de obtención de uno nuevo.

Los productos de los que se ha servido el hombre a lo largo de la historia para mejorar su nivel de vida o simplemente para subsistir han sido y son fabricados a base de materiales, se podría decir que estos están alrededor de nosotros y que somos parte de una constante interacción con ellos.

Nuestra existencia depende de los materiales y la constante evolución del hombre será el principal argumento para la optimización y el desarrollo de estos.

### 2.1 Tipos de materiales según su naturaleza<sup>3</sup>

Los materiales están divididos en tres grupos principales: materiales metálicos, poliméricos, y cerámicos.

#### *Materiales metálicos:*

Estos son sustancias inorgánicas compuestas de uno o más elementos metálicos, pudiendo contener algunos elementos no metálicos, como el carbono. (Hierro, cobre, aluminio, níquel y titanio).

#### *Materiales cerámicos:*

Los materiales de cerámica, como los ladrillos, el vidrio la loza, los aislantes y los abrasivos, tienen escasa conductividad tanto eléctrica como térmica y aunque pueden tener buena resistencia y dureza son deficientes en ductilidad y resistencia al impacto.

#### *Materiales poliméricos:*

En estos se incluyen el caucho (el hule), los plásticos y muchos tipos de adhesivos. Se producen creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas obtenidas del petróleo o productos agrícolas.

---

<sup>3</sup>Tipos de Materiales [en línea]. Santa Fe de Bogotá: Biblioteca Luis Ángel Arango, 2008. [Consultado 15 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/matcon/matcon1.htm>.

## 2.2 Tipos de Materiales de construcción

### *Clasificación de los materiales de construcción<sup>4</sup>*

Los llamados materiales de construcción engloban a aquellos materiales que entran a formar parte de los distintos tipos de obras arquitectónicas o de ingeniería, cualquiera que sea su naturaleza, composición o forma. Los materiales de construcción abarcan un gran número y de orígenes muy diversos, pudiéndose clasificar para su estudio con base a diferentes criterios, siendo los más habituales su función en la obra, su intervención y su origen.

Según su función en la obra, los materiales de construcción se clasifican en: resistentes, aglomerantes y auxiliares. Los materiales resistentes son los que soportan el peso de la obra y los ataques meteorológicos o los provocados por el uso (piedras, ladrillos, hormigón, hierro, etc.). Los materiales aglomerantes son los que sirven de ligazón entre los resistentes para unirlos en formaciones adecuadas a su función (cemento, yeso, cal, etc.). Por último, los materiales auxiliares son aquellos que tienen una función de remate y acabado (maderas, vidrios, pinturas, etc.).

Por su intervención en la obra, los materiales se clasifican en: de cimentación, de estructura, de cobertura y de cerramiento. Los de cimentación son fundamentalmente los hormigones, en particular, el hormigón armado. Las estructuras pueden ser de hormigón, metálicos, de madera o mixtas. Las coberturas pueden ser de prefabricadas, metálicas, de materiales cerámicos o pétreos. Por último, los cerramientos pueden ser ladrillos, acristalados, prefabricados, etc.

Finalmente, en función de su origen los materiales de construcción se pueden dividir en función de su origen, siendo este criterio el más adecuado para el estudio de las propiedades características de los mismos, y será el que se seguirá en el desarrollo del presente tema. Presenta además la ventaja de que, a diferencia de las otras clasificaciones, no hay materiales que se repiten en los diferentes apartados. Según este criterio, los materiales se dividen en:

<b>Pétreos</b>	<b>Naturales</b>	Rocas Igneas Rocas Metamórficas Rocas Sedimentarias	<b>Metálicos</b>	Férricos No Férricos	<b>Aglomerantes</b>	Yeso Cal Cemento
	<b>Artificiales</b>	Materiales Cerámicos Vidrios		<b>Otros</b>		Bitúmenes Plásticos Pintura Aislantes

<sup>4</sup> Clasificación de los materiales de construcción [en línea]. Santa Fe de Bogotá: Biblioteca Luis Ángel Arango, 2008. [Consultado 30 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: [http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/apuntes/materiales\\_de\\_construccion.htm](http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/apuntes/materiales_de_construccion.htm)

## 2.3 Principales Materiales Estudiados en este Laboratorio

### 2.3.1 Acero<sup>5</sup>

#### *Propiedades físicas y químicas*

La palabra *acero* usualmente se refiere a los aceros al carbono comunes, que se definen como aleaciones de acero y carbono que no contienen más del 2% de carbono y que son maleables en forma de bloque o lingote. Los aceros inoxidables y las aleaciones de acero se estudian por separado.

En los aceros al carbono comunes o sin otra combinación, el hierro siempre constituye más del 95 %. También están presentes azufre, oxígeno, nitrógeno y fósforo, los primeros tres siempre en forma de impureza. Pueden estar presentes también manganeso, silicio, aluminio, cobre y níquel, ya sea como impurezas residuales del método de horno utilizado, o como elementos adicionados deliberadamente en pequeñas cantidades para controlar las propiedades del acero.

#### *Definición formal del acero al carbono*

Formalmente, un acero se clasifica como acero al carbono cuando 1) no se especifica o requiere un contenido mínimo de aluminio, boro, cromo, cobalto, columbio (niobio), molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio, circonio o cualquier otro elemento adicionado para obtener un efecto determinado; o bien, 2) el mínimo de cobre especificado no excede al 0.40%; o 3) el máximo contenido especificado para cualquier de los siguientes elementos no excede el porcentaje establecida: manganeso 1.65%, cobre 0.60%, y silicio 0.60% .

#### *Modificación de propiedades*

Las propiedades de un acero al carbono varían en gran medida no sólo en relación con su composición química, es decir, la cantidad de carbono y otros elementos presentes, sino también porque son determinadas en gran medida por la clase de tratamiento en caliente.

---

<sup>5</sup>HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para Construcción. Tipos, usos y Aplicaciones. México: Limusa S.A, 2005.

### 2.3.2 Agregados<sup>6</sup>

#### *Propiedades físicas y químicas*

Un agregado es cualquier material duro e inerte formado por fragmentos clasificados en una amplia gama de tamaños, que se mezcla con un material cementante para formar concreto o un material similar. Este término puede referirse también a cualquier masa de fragmentos minerales semejantes que se emplea, con o sin aglomerante, en muchas formas, inclusive en algunas que incluyen la alteración física y química del agregado mismo.

Los agregados deben ser limpios, sin defectos, resistentes, durables y de calidad uniforme. No deben contener fragmentos blandos, pulverizables, delgados o laminados, así como tampoco sustancias deletéreas como álcalis, aceite, carbón mineral, mantillo o humus ni otra materia orgánica.

En algunos casos son importantes la densidad relativa, el color, la resistencia a la compresión y la redondez de las partículas. Las características de porosidad y rugosidad de la superficie afecta la unión entre el cemento y el agregado. La estructura de la porosidad, es decir, el *tamaño*, el número y la continuidad de disposición de los espacios huecos afecta también a la absorción de agua, la permeabilidad y la densidad específica aparente.

La actividad química de las impurezas, tales como vidrio volcánico, colas de proceso, yeso y piritita (mineral de sulfuro de hierro) que ocurren en los agregados minerales con los álcalis en el cemento Portland, es un factor que debe considerarse, ya que la oxidación e hidratación de ciertos minerales pueden dar origen a formación de cristales y ácido sulfúrico, con posibles consecuencias indeseables.

#### *Tipos y usos*

Los agregados pueden clasificarse en dos grupos: 1) materiales naturales como la arena, la grava, la piedra triturada y la piedra pómez; y 2) los materiales artificiales producidos por la *trituration* de escoria de alto horno o por la calcinación y trituración de arcillas o lutitas. Al segundo grupo pertenece la mayoría de los agregados ligeros.

---

<sup>6</sup> HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para Construcción. Tipos, usos y Aplicaciones. México: Limusa S.A, 2005.

### *Agregados finos*

En los trabajos de construcción se emplean dos grados básicos de agregados, los finos y los gruesos. Los agregados finos están formados por partículas de 0.02 a ¼ de Pulg. (0.508 a 6.35 mm) de diámetro. Deben ser de forma razonablemente regular y no contener partículas planas y alargadas. El módulo de finura debe ser no menor de 2.3 ni mayor de 3.1. Los agregados finos que se usan con más frecuencia son la arena natural y la piedra, escuna y ceniza finamente trituradas.

### *Agregados Gruesos*

Los agregados gruesos están formados por partículas de 1/4 pulg (6.35 mm) de diámetro y mayores. La grava, la roca triturada y la escoria de alto horno son de uso general. En algunas áreas se venden las colas o desechos de proceso como agregados. Estos desechos son generalmente tepetate procedente de explotaciones mineras. Frecuentemente se usa roca triturada para concreto reforzado y presforzado (esto es, concreto de alta resistencia) porque la resistencia a la compresión de la piedra puede determinarse con anticipación y permanece constante, mientras que la grava de los bancos contiene tipos diferentes de piedra con diferentes valores de resistencia.

### 2.3.3 Asfalto<sup>7</sup>

#### *Propiedades físicas y químicas*

El asfalto puede describirse como un material cementoso sólido o semisólido, de color negro a café oscuro, formado principalmente por bitúmenes de origen natural que quedan como residuos en la destilación del petróleo. Se licua fácilmente por aplicación de calor y se disuelve en destilados volátiles y no volátiles del petróleo y en aceites residuales. También puede emulsionarse con agua.

El asfalto es un potente material aglutinante al que no afectan la mayoría de los ácidos y álcalis. Se adhiere con facilidad, es altamente impermeable y durable. El asfalto se vende en formas que varían desde la sólida y frágil hasta la forma líquida casi acuosa.

*Asfalto Nativo:* Los depósitos de asfalto nativo producidos por los procesos naturales de evaporación y destilación incluyen al:

- 1) Asfalto de lago o lacustre, que es un depósito superficial que se forma en depresiones de la corteza terrestre.
- 2) Asfalto de roca, también llamado roca bituminosa, la cual está formada por una roca porosa, como una arenisca o una caliza, impregnada con un asfalto natural.
- 3) La Gilsonita, que es un asfalto nativo, excepcionalmente puro y muy frágil que ocurre en vetas como el carbón mineral.

#### *Tipos y usos*

Los usos del asfalto en el campo de la construcción incluyen los materiales para techos y cubiertas laterales; pinturas, adhesivos y recubrimientos durables que son resistentes a los álcalis y a los ácidos; recubrimientos impermeabilizantes y protectores contra la humedad; fieltros comunes, y materiales en lámina y cartón hechos de distintas fibras e impregnados de asfalto; pisos flexibles; bloques para pavimentación de asfalto y en carreteras, banquetas, caminos y otros tipos de pavimentación. También se fabrican tubos para drenajes y desagües hechos de asfalto con una estructura fibrosa entretrejida de refuerzo.

---

<sup>7</sup> HORNOSTEL, Caleb. Materiales para Construcción. Tipos, usos y Aplicaciones. México: Limusa S.A, 2005.

### *Historia y manufactura*

Desde 3200 años a.C. los sumerios utilizaban el asfalto como material para impermeabilización en el valle del Éufrates. En Babilonia lo usaban como mortero para mampostería y en pavimentos. También se le conoció desde los tiempos antiguos como medicinal, adhesivo y conservador.

Al perforarse los primeros pozos petroleros hacia 1865 y el descubrimiento de que ciertos petróleos crudos producían un material parecido al asfalto nativo, se dispuso de una nueva fuente de asfalto casi ilimitada para la explotación técnica. En la actualidad el asfalto que se obtiene del petróleo es la fuente más importante de este material.

### 2.3.4 Concreto<sup>8</sup>

El concreto es una mezcla de arena, grava, piedra triturada u otro agregado que se mantiene unida por una pasta endurecida de cemento y agua. Esta mezcla, cuando se dosifica correctamente, primero es una masa plástica que puede vaciarse o moldearse a tamaño y forma predeterminados.

Al ocurrir la hidratación del cemento por el agua, el concreto se convierte en un material de la naturaleza de la piedra, que tiene resistencia, dureza y durabilidad. Se diferencia de otras mezclas de cemento, agua y agregado con base en el tamaño de este último. Cuando se mezcla cemento con agua y un agregado fino de menos de  $\frac{1}{4}$  pulg (6.35 mm), se obtiene una pasta que se conoce como mortero, estuco y revoque para aplanados.

Cuando se agrega al cemento un agregada mayor de  $\frac{1}{4}$  Puig (6.35 mm) de diámetro, agregado fino y agua, se obtiene lo que se conoce como concreto. Las características del concreto pueden variar en una amplia gama, dependiendo de las características de los ingredientes y de las proporciones de la mezcla. Las técnicas usadas para mezclar, colocar, acabar y curar pueden afectar también la calidad del concreto. En general, el revoque constituye entre el 25 y el 40% del volumen total del concreto, y el volumen del cemento está entre el 7 y el 15% (375 y 750 lb/yarda<sup>3</sup> o 22249 a 444.98 kg/m<sup>3</sup>).

El agregado constituye entre 40y 60% del volumen del concreto, y en el concreto de aire atrapado, el contenido de aire varía subiendo hasta el 8% del volumen del concreto. En la Foto C38 se muestra la resistencia a la compresión con diversas relaciones de agua Cemento para concreto con aire atrapado y sin aire atrapado.

La unidad de medida del concreto es el pie cúbico (equivalente a 0.02832 m<sup>3</sup>). Un saco de cemento Portland que contiene 94 lb (42.6384 Kg.) Ocupa un volumen de 1 pie<sup>3</sup>. El agregado fino y grueso se mide por volumen estando suelto. El agua se mide por galones (1galón = 8lb 4.546 litros = 3.6288 Kg.).

---

<sup>8</sup> HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para Construcción. Tipos, usos y Aplicaciones. México: Limusa S.A, 2005.

El concreto pesa de 110 a 155 lb/pie<sup>3</sup> (1762.2 a 2483.1 kg/m<sup>3</sup>). Los pesos de tipos específicos de concreto son como sigue;

- Concreto para construcción (en general): 140 a 150 lb/pie<sup>3</sup> (2242.8 a 2403.0 kg/m<sup>3</sup>)
- Concreto de grava o de caliza: 142 a 148 lb/pie<sup>3</sup> (2272.84 a 2370.96 kg/m<sup>3</sup>)
- Concreto de roca trapeana: 148 a 155 lb/pie<sup>3</sup> (2370.96 a 2483.10 kg/m<sup>3</sup>)

El concreto puede ser muy ligero y pesar hasta 35 lb/pie<sup>3</sup> (560.7 kg/m<sup>3</sup>); para este concreto se usa agregado ligero especial.

#### *Tipos generales y usos*

La construcción de concreto, en la que se utiliza concreto simple, reforzado y presforzado, dependiendo del uso final en particular, tiene un papel de primera importancia en el campo de la construcción. Se emplea para pilotes, zapatas, muros de cimentación y de contención, miembros estructurales, pisos, paredes y techos y para áreas pavimentadas en caminos, carreteras, lotes de estacionamiento, banquetas y pasillos para autos. El concreto también se prefabrica en varios tipos de bloques, cubiertas, columnas, vigas comunes y maestras, piedra artificial, loseta para techos y pisos, etc.

Los métodos estructurales tales como las construcciones de cascarón, de superficies inclinadas, prefabricadas, presforzadas y de levantamiento de losas, producen formas de construcción y efectos de diseño que sólo pueden lograrse con este material. Entre otros tipos importantes de la construcción de concreto pueden mencionarse las carreteras, las pistas de aterrizaje, los diques, muelles, rompeolas, puentes, barcos, tanques y tuberías.

### 2.3.5 Suelos<sup>9</sup>

El término suelo puede tener diferentes matices de significados dependiendo del contexto en el que se use. Para el geólogo, “suelo” describe las capas de material suelto sin consolidar que se extienden desde la superficie hasta la roca sólida, y que se han formado por el intemperismo y la desintegración de las propias rocas.

Por otra parte, para el ingeniero, el concepto de “suelo” está relacionado con la obra que pueda hacer sobre él, con él o en él. Por consiguiente, para la ingeniería el término “suelo” se refiere al material que se puede utilizar sin necesidad de perforaciones o voladuras. Los pedólogos, agrónomos, horticultores y otros tendrán o preferirán su propia definición.

En el estudio de los orígenes del suelo aplicaremos el punto de vista del geólogo, aunque en lo que se refiere a la clasificación y propiedades para propósitos de ingeniería, se usarán las definiciones de aceptación general en este campo

Todos los suelos tienen su origen, directa o indirectamente, en las rocas sólidas, que se clasifican de acuerdo con su proceso de formación de la siguiente manera:

*Rocas Ígneas*, formadas por enfriamiento de material fundido (“magma”) dentro o sobre la superficie de la corteza terrestre, como por ejemplo: granito, basalto, dolerita, andesita, gabro, sienita y pórfido.

*Rocas Sedimentarias*, formadas en capas acumuladas por el asentamiento de sedimentos en cuerpos de agua, como mares y lagos; por ejemplo, caliza, arenisca, lodolita, esquisto y conglomerados.

*Rocas Metamórficas*, formadas por la modificación de rocas ya existentes a causa de: (a) calor extremo, como el mármol y la cuarcita; o (b) presiones muy altas, por ejemplo, pizarra y esquisto.

---

<sup>9</sup> WHITLOW, R. Fundamentos de Mecánica de Suelos. Orígenes y Composición de los Suelos. México: CECSA, 1994.

Los procesos que transforman a las rocas sólidas en suelos se verifican en, o cerca de, la superficie y, aunque son complejos, dependen de los siguientes factores:

- a) Naturaleza y composición de la roca madre.
- b) Condiciones climáticas, en especial temperatura y humedad.
- e) Condiciones topográficas y generales de terreno, tales como grado de protección o exposición, densidad y tipo de vegetación, etc.
- d) Duración de las condiciones específicas prevalecientes.
- e) Interferencia de otros factores, como pueden ser los cataclismos, los terremotos y las actividades humanas.
- f) Mecanismos y condiciones de acarreo natural.

## REFERENCIAS

Acreditación de Laboratorios en la UIS [en línea]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008. [Consultado 19 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet:[http://www.uis.edu.co/portal/catedra\\_libre/julio2008/articulo1.html](http://www.uis.edu.co/portal/catedra_libre/julio2008/articulo1.html)

Clasificación de los materiales de construcción [en línea]. Santa Fe de Bogotá: Biblioteca Luis Ángel Arango, 2008. [Consultado 30 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: [http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/apuntes/materiales\\_de\\_construccion.htm](http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/apuntes/materiales_de_construccion.htm)

HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para Construcción. Tipos, usos y Aplicaciones. México: Limusa S.A, 2005.

Importancia de la Acreditación [en línea]. Santa Fe de Bogotá: Superintendencia de Industria y Comercio, 2008. [Consultado 13 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.sic.gov.co/acreditacion/acreditacion.php>

Tipos de Materiales [en línea]. Santa Fe de Bogotá: Biblioteca Luis Ángel Arango, 2008. [Consultado 15 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.lablaa.org/blaavirtual/ayudadetareas/matcon/matcon1.htm>

WHITLOW, R. Fundamentos de Mecánica de Suelos. Orígenes y Composición de los Suelos. México: CECSA, 1994.

### **3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES**

### **3.1 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. (NTC-176, NTC-237)**

#### **Introducción**

Una de las propiedades físicas de los agregados es la densidad. Al realizar este laboratorio se observará que de acuerdo a los tipos de agregados, se encuentran partículas que tienen poros saturables como no saturables que dependiendo de su permeabilidad pueden estar denominados como vacíos, parcialmente saturados o totalmente saturados de agua, generando así una serie de estados en su humedad y densidad.

#### **3.1.1 Objetivos**

Objetivo General:

- Determinar la densidad y la absorción de los agregados (finos y gruesos) a partir del humedecimiento de los agregados en un tiempo determinado.

Objetivos Específicos:

- Calcular la densidad y absorción de una cierta muestra de agregado (fino y grueso) para saber si cumple los requerimientos para la elaboración del diseño de una
- mezcla.
- Establecer el tipo de agregado (fino y grueso) para la elaboración de un buen diseño de mezcla.
- Conocer la importancia y cómo influye la densidad y absorción que tienen los agregados en una mezcla de concreto.

#### **3.1.2 Aplicaciones**

- Agregados para diseño de mezclas de concreto.
- Estudios de Suelos.
- Agregados para diseño de mezclas asfálticas.

#### **3.1.3 Materiales Y Equipos**

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

**Para el agregado grueso**

- Balanza



**Foto 3.1.3-1**

- Recipiente para colocación de la muestra



**Foto 3.1.3-2**

- Canasta de malla con abertura de 3.35 mm



**Foto 3.1.3-3**

- Tamiz N° 4 o 4.75 mm



**Foto 3.1.3-4**

**Para el agregado fino**

- Balanza
- Balón aforado con capacidad mínima de 500 cm<sup>3</sup>.



**Foto 3.1.3-5**

- Molde Metálico. Debe ser de forma tronco cónico con las medidas siguientes: 40 mm de diámetro en la base superior, 90 mm de diámetro en la inferior y 75 mm de altura.
- Pisón que tenga un peso aproximado de 340 g y un cono metálico de sección plana de 25 mm de diámetro.



**Foto 3.1.3-6**

- Secador de Pelo.



**Foto 3.1.3-7**

### **3.1.4 Base Teórica**

La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano de agregado.

Un factor importante en el campo de la tecnología del concreto y específicamente en el diseño de mezclas es la densidad aparente que se define como la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables). Por medio de este parámetro se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto.

Existen tres tipos de densidad las cuales están basadas en la relación entre la masa (en el aire) y el volumen del material; a saber:

- **Densidad Nominal:** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a cierta temperatura.
- **Densidad Aparente:** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una cierta temperatura.
- **Densidad Aparente (SSS):** Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una cierta temperatura.

La absorción en los agregados básicamente se define como la cantidad de agua absorbida por estos durante un periodo de tiempo de 24 horas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada<sup>10</sup>.

La porosidad específica es la capacidad de un material de absorber líquidos o gases.

### 3.1.5 Recomendaciones

- Se debe hacer un buen lavado de las muestras de agregado, evitando así que queden partículas extrañas que puedan interferir en los resultados observados.
- Cuando se realiza el secado de los agregados gruesos, siempre se deben secar manualmente las partículas de gran tamaño para eliminar los rastros de agua.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

### 3.1.6 Procedimiento

Se llevaron a cabo dos procedimientos, uno para el agregado grueso y el otro para el agregado fino.

- **Para el agregado grueso**

---

<sup>10</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción. Primera Parte. Método para determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos. Santa Fe de Bogotá. Legis Editores S.A. NTC 176.

- a) Se debe escoger de acuerdo al material granular disponible, una muestra representativa del agregado, la cual se obtiene haciendo una selección por tamizado de este material granular, dejando solamente el material retenido por el tamiz # 4.



**Foto 3.1.6-1**



**Foto 3.1.6-2**



**Foto 3.1.6-3**



**Foto 3.1.6-4**

Se deben obtener alrededor de 5000 gramos de este material tamizado y luego se procede a lavar la muestra.

- b) Después de lavar la muestra, debemos sumergirla en un balde con agua durante 24 horas.



**Foto 3.1.6-5**



**Foto 3.1.6-6**



**Foto 3.1.6-7**

- c) Al día siguiente, se toma la muestra secándola parcialmente con una toalla hasta eliminar los rastros visibles de agua en la superficie, Se debe tener en cuenta que las partículas más grandes deben ser secadas por separado. Cuando las partículas tienen un color mate es porque ya se encuentran en la condición saturada y superficialmente seca (SSS).



**Foto 3.1.6-8**



**Foto 3.1.6-9**

- d) Ahora con la balanza debidamente calibrada se pesa la muestra para averiguar su masa en esta condición.



**Foto 3.1.6-10**

- e) Luego de esto se debe introducir la muestra en la canastilla y se sumerge en agua a una temperatura ambiente, bajo esta condición se obtiene la masa de la muestra sumergida.



**Foto 3.1.6-11**

- f) Finalmente se lleva la muestra al horno que tiene que estar bajo una temperatura aproximada de 110°C durante 24 horas, al día siguiente se extrae del horno y se toma su peso.



**Foto 3.1.6-12**



**Foto 3.1.6-13**



**Foto 3.1.6-14**

- **Para el agregado fino**

- a) Se toma una muestra representativa de agregado fino, que apreciablemente puede ser una muestra del material granular que pueda pasar a través del tamiz #4.



**Foto 3.1.6-15**

- b) En un principio esta muestra se sumerge en agua y se deja durante 24 horas.



**Foto 3.1.6-16**

- c) Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja que no sea absorbente y con un secador se le inyecta una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, cuando los granos del agregado estén sueltos, se puede decir que la muestra ya se encuentra parcialmente seca.



**Foto 3.1.6-17**



**Foto 3.1.6-18**

- d) Luego de esto se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y se chequea que al quitar el molde la muestra se deje caer libremente, en caso contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con esta condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.



**Foto 3.1.6-19**



**Foto 3.1.6-20**

- e) Ahora se procede a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro, llenándolo con agua a temperatura ambiente hasta más o menos 250 cms<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Luego de esto se debe obtener el peso de todo el conjunto (muestra dentro del picnómetro con el agua).



**Foto 3.1.6-21**

- f) El peso del picnómetro lleno solo con agua también debe ser tomado, para efecto de los cálculos de densidad que se realizarán.



**Foto 3.1.6-22**

- g) Finalmente se envasan las muestras en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevan las muestras a la balanza y se cuantifica su peso.



**Foto 3.1.6-23**



**Foto 3.1.6-24**



Foto 3.1.6-25

### 3.1.7 Datos y Resultados

#### Agregado grueso

Para Cualquier muestra:

Masa de la muestra seca: **A**

Masa de la muestra superficialmente seca: **B**

Masa de la muestra sumergida: **C**

$$D_{\text{aparente}} = A/(B-C)$$

$$D_{\text{sss}} = B/(B-C)$$

$$D_{\text{nominal}} = A/(A-C)$$

$$\text{Absorción (\%)} = [(B-A)/A]*100$$

#### Agregado fino

Para Cualquier muestra:

Masa de la muestra seca: **A**

Masa del picnómetro lleno de agua: **B**

Masa del picnómetro con muestra y agua: **C**

Masa de la muestra superficialmente seca: **S**

$$D_{\text{aparente}} = A/(B+S-C)$$

$$D_{\text{sss}} = S/(B+S-C)$$

$$D_{\text{nominal}} = A/(B+A-C)$$

$$\text{Absorción (\%)} = [(S-A)/A]*100$$

### 3.1.8 Análisis de Resultados

- ¿Cuál es la densidad promedio del agregado grueso?
- ¿Qué significa ese valor de densidad promedio?
- ¿Cuál es la densidad promedio del agregado fino?
- ¿Este resultado fue mayor o menor que en el agregado grueso?, ¿Cuál puede ser la causa de esto?
- ¿Cómo caracterizamos los porcentajes de absorción obtenidos para hacer un diseño de una mezcla de concreto?
- ¿Qué podemos decir del grado de compactación de la muestra ensayada?



**ANEXO #1 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 DENSIDAD NOMINAL, APARENTE Y ABSORCION  
 NTC-176 Y NTC-237

Elaborado Por: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**AGREGADOS GRUESOS**

Peso Canastilla	122.49	gr
Peso Taza	204.66	gr

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A/(B-C)</i>	<i>B/(B-C)</i>	<i>A/(A-C)</i>	<i>[(B-A)/A]*100</i>
Muestra	Masa Muestra Seca (gr)	Masa Muestra Superficialmente Seca (gr)	Masa Muestra Sumergida (gr)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Nominal (gr/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)
1	950.10	960.40	596.90	2.614	2.642	2.690	1.084%
2	893.50	902.60	561.20	2.617	2.644	2.689	1.018%
3	909.30	917.30	570.70	2.623	2.647	2.685	0.880%
			Promedio	2.6181			

**AGREGADOS FINOS**

Peso Picnometro	168.25	gr
Peso Taza	204.66	gr

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>S</i>	<i>A/(B+S-C)</i>	<i>S/(B+S-C)</i>	<i>A/(B+A-C)</i>	<i>[(S-A)/A]*100</i>
Muestra	Masa Muestra Secada en Horno (gr)	Masa Picnometro con Agua (gr)	Masa Picnometro con Muestra y Agua (gr)	Masa Muestra Superficialmente Seca (gr)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Nominal (gr/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)
1	493.80	665.80	1055.90	500.00	4.493	4.550	4.762	1.26%
2	493.50	665.80	1056.10	500.00	4.499	4.558	4.782	1.32%

## REFERENCIAS

ASTM C-127 Specific Gravity and absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C-128 Specific Gravity and absorption of Fine Aggregate.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción. Primera Parte. Método para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos. Santa Fe de Bogotá. Legis Editores S.A. NTC 176.

IRAM 1533 N.I.O Agregados Gruesos. Peso Específico y Absorción.

UNE 7083 Determinación del Peso Especifico y de la Absorción en gravas y arenas.

## **3.2 PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE). (INV E-130-07)**

### **Introducción**

Este método de ensayo cubre un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares.

#### **3.2.1 Objetivos**

##### Objetivo General

- Establecer el procedimiento de ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad de los suelos.

##### Objetivos Específicos

- Obtener información de un material acerca de sus condiciones hidráulicas e hidrogeológicas.
- Analizar y comprender el comportamiento de un suelo cuando un flujo constante pasa a través de él midiendo además la velocidad con que este fluye.

#### **3.2.2 Aplicaciones**

- Estudios geológicos de un suelo.
- Estudios hidráulicos de un suelo.
- Estudios para determinar la erosión de un suelo.

### 3.2.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Balanza



**Foto 3.2.3-1**

- Permeámetro (Incluye Piedras Porosas)



**Foto 3.2.3-2**

- Calibrador



**Foto 3.2.3-3**

- Embudo con Manguera.



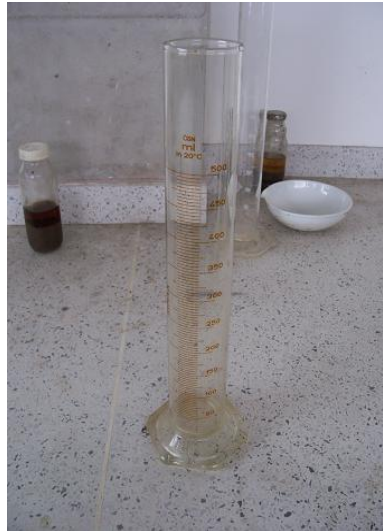
**Foto 3.2.3-4**

- Pala Pequeña



**Foto 3.2.3-5**

- Probeta



**Foto 3.2.3-6**

- Pisón



**Foto 3.2.3-7**

- Cronometro



**Foto 3.2.3-8**

### 3.2.4 Base Teórica<sup>11</sup>

El término de permeabilidad de los suelos se refiere a la mayor o menor facilidad con que el agua puede fluir a través de los espacios vacíos, para velocidades pequeñas el caudal ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ) queda expresado como:

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

Donde:

A = Área de sección transversal del filtro

i = Gradiente hidráulico del flujo.

K = Constante de permeabilidad del suelo.

$\left( \frac{\delta V}{\delta t} \right)$  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.

Métodos para medición de Permeabilidad:

a) Directos:

- Permeámetro de Carga Constante.
- Permeámetro de Carga Variable.
- Prueba directa de los suelos en el lugar.

b) Indirectos:

- Calculo a partir de la curva granulométrica.
- Calculo a partir de la prueba de consolidación.
- Calculo con la prueba horizontal de capilaridad.

<sup>11</sup> JUAREZ BADILLO, Eulalio; RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos. Tomo 1. México: Limusa, 1974.

### 3.2.5 Recomendaciones

- Se debe hacer un buen tamizado de la muestra para evitar que hayan muchas partículas de gran tamaño y se afecten los resultados.
- Las piedras porosas deben ser ubicadas cuidadosamente, asegurando que no hayan filtraciones al momento de realizar el ensayo.
- Se debe garantizar que durante el proceso de ensayo siempre exista un flujo constante de agua para tener mayor confiabilidad en los resultados.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

### 3.2.6 Procedimiento

- a) Se debe tomar una muestra de cualquier suelo y se debe tamizar para asegurar que el tamaño máximo de partículas sea inferior a  $3/4''$ . Además se debe tamizar también con el #200 para quitarle por lo menos el 90% de los finos a la muestra.



**Foto 3.2.6-1**



**Foto 3.2.6-2**



**Foto 3.2.6-3**

b) Se toma la medida del permeámetro para determinar su diámetro interno.



**Foto 3.2.6-4**

c) Luego de esto se debe tomar todo el conjunto del permeámetro, incluidas las piedras porosas y se debe determinar su peso.



**Foto 3.2.6-5**

- d) Ahora se deben sacar la mitad de las piedras y se inicia el llenado del permeámetro con el suelo.



**Foto 3.2.6-6**



**Foto 3.2.6-7**

- e) El suelo se debe introducir en el permeámetro en 5 capas uniformes y cada capa se compacta con el pisón, dándole 25 golpes a cada capa.



**Foto 3.2.6-8**

Nota: se puede utilizar un procedimiento alternativo de compactación de acuerdo al peso unitario que se requiera.

- f) Después de haber llenado el permeámetro con todas las capas de suelo debemos poner las piedras porosas superiores rotándolas suavemente de izquierda a derecha para nivelar la superficie, luego de esto ponemos la tapa y sellamos el aparato.



**Foto 3.2.6-9**

- g) Se llena el embudo y la manguera con agua y se conecta a la llave inferior del permeámetro, verificando siempre que no se encuentren burbujas de aire en la manguera.
- h) Luego se abre la válvula inferior y se deja entrar agua para saturar la muestra hasta que se llene totalmente, cuando ya esté llena se cierra la válvula superior.



**Foto 3.2.6-10**

- i) Ahora debemos medir la altura entre el nivel máximo del agua en el embudo y la válvula inferior.

- j) Después de tener saturada la muestra, desconectamos la manguera y la reconectamos a la válvula superior. Abrimos la válvula inferior, para permitir el flujo del agua y ponemos la probeta a la salida del tubo de evacuación. Se debe tomar el tiempo requerido para que la probeta se llene con 200 cm<sup>3</sup>. Se deben tomar cinco medidas de tiempo para realizar un promedio.



**Foto 3.2.6-11**

Nota: se debe verter agua constantemente en el embudo para evitar filtraciones de aire y para mantener el nivel de la cabeza de agua.

### 3.2.7 Datos y Resultados

Se realizan 5 mediciones para determinar cuánto tiempo se tarda el flujo en llenar un volumen de 200 cm<sup>3</sup> en la probeta.

Se toman los tiempos y luego se calcula la permeabilidad así:

$$KT: \frac{Q * L}{A * h * t}$$

Donde:

Q: Volumen medido en ensayo.

L: Longitud de la muestra.

A: Área Transversal.

h: Altura Cabeza de Agua.

t: Tiempo.

### 3.2.8 Análisis de Resultados

- Según los resultados obtenidos, ¿Qué tipo de suelo cree Ud. que es el ensayado?
- ¿Cómo se clasifican los suelos según su permeabilidad?
- ¿Qué otro tipo de ensayos se usa para medir la permeabilidad de los suelos?
- ¿Porque es importante conocer este parámetro del suelo, con qué finalidad se determina?
- ¿Qué ecuaciones conoce para medir la permeabilidad a partir de la curva granulométrica?



**ANEXO #2 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS  
 INV E-130-07

Elaborado Por: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**Datos de la Muestra**

Diametro Interno	7.67	cm
Longitud de la Muestra	13.011	cm
Area Transversal	46.2	cm <sup>2</sup>
Volumen	601.16	cm <sup>3</sup>

Peso Muestra	785.4	gr
Densidad	1.31	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	23.56	%

Viscosidad Agua a 20°C	1.0019	cp
Viscosidad Agua a 25°C	0.8909	cp
Altura Cabeza Agua	128	cm

**Resultados**

Prueba	Tiempo (seg)	Q cte (cm <sup>3</sup> )	Temperatura Agua (°C)	KT (cm/seg)	nT	K 20 (cm/seg)
1	33.84	200	25	0.01300229	0.8909	0.01156177
2	34.33	200	25	0.01281670	0.8909	0.01139675
3	34.60	200	25	0.01271669	0.8909	0.01130781
4	34.75	200	25	0.01266180	0.8909	0.01125900
5	35.56	200	25	0.01237338	0.8909	0.011002539
<b>Promedio</b>	34.62	200.00	25.00	0.01271417	0.8909	0.011305574

$KT=Q \cdot L / A \cdot h \cdot t$

$K20=KT \cdot nT / n20$

n20 viscosidad del agua a 20°C

nT viscosidad del agua a la temperatura del ensayo

## REFERENCIAS

AASHTO T 215-70 Permeability of Granular Soils (Constant Head).

ASTM D 2434-68 Permeability of Granular Soils (Constant Head).

JUAREZ BADILLO, Eulalio; RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos. Tomo 1. México: Limusa, 1974.

### **3.3 DENSIDAD O MASA UNITARIA DEL SUELO EN EL TERRENO (MÉTODO DEL CONO DE ARENA).(INV E-161-07)**

#### **Introducción**

La calidad durante un proceso de compactación en campo se mide a partir de un parámetro conocido como grado de compactación, el cual se mide en porcentaje. Su evaluación involucra la determinación previa del peso específico y de la humedad óptima correspondiente a la capa de material ya compactado. Este método es usado para conocer el grado de compactación de un suelo.

#### **3.3.1 Objetivos**

Objetivo General:

- Este método de ensayo se usa para determinar (en el sitio) la densidad o la masa unitaria de los suelos con el equipo de cono de arena.

Objetivos Específicos:

- Establecer las ventajas y desventajas de la utilización de este método para la determinación de la densidad en campo.
- Conocer los demás métodos alternativos que existen para realizar este tipo de pruebas.

#### **3.3.2 Aplicaciones**

- Control de calidad de compactación en subrasantes para carreteras.
- Mejoramiento de terreno para construcción de terraplenes.

### 3.3.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Tarro de Almacenamiento de Arena



**Foto 3.3.3-1**

- Cono Metálico con Válvula



**Foto 3.3.3-2**

- Placa Base Metálica



**Foto 3.3.3-3**

- Pala Pequeña



**Foto 3.3.3-4**

- Porra



**Foto 3.3.3-5**

- Cuchara



**Foto 3.3.3-6**

- Cepillo



**Foto 3.3.3-7**

- Balanza



**Foto 3.3.3-8**

- Horno



**Foto 3.3.3-9**

- Arena de Densidad Conocida



**Foto 3.3.3-10**

- Flexómetro



**Foto 3.3.3-11**

### 3.3.4 Base Teórica<sup>12</sup>

La compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos; el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos en tanto se mantienen el contenido de humedad aproximadamente constante.

En la práctica la compactación se realiza con frecuencia sobre los materiales que se utilizan para rellenos en la construcción de terraplenes, pero también puede realizarse in situ con suelos naturales en proyectos de mejoramiento del terreno.

Una vez que se han definido los criterios de compactación para las obras en terreno, es necesario utilizar un método para determinar la densidad o peso unitario que el suelo alcanza luego de la compactación.

Para obtener estas densidades existen los siguientes métodos en terreno:

- Cono de arena
- Balón de densidad
- Densímetro Nuclear

### 3.3.5 Recomendaciones

- Se debe abrir el hueco teniendo el máximo cuidado de no dejar escapar el material que se saca de este
- Se debe mantener la válvula del cono siempre cerrada para evitar derrames de arena.
- Las muestras extraídas se deben almacenar siempre en un medio que sea hermético para no alterar la humedad del suelo
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

---

<sup>12</sup> Densidad en Campo de Suelos [en línea]. Medellín: Laboratorio de Suelos, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2008. [Consultado 08 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <http://suelos.eia.edu.co/iniciolab.htm>.

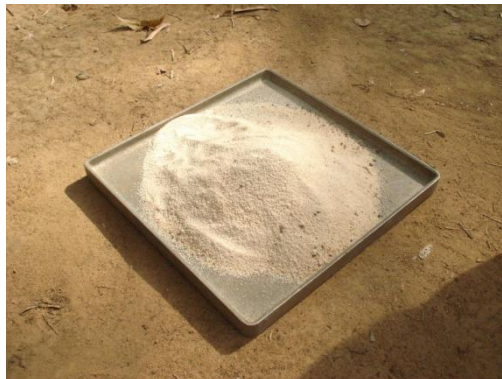
### 3.3.6 Procedimiento

- a) Lo primero que debemos hacer es buscar en el campo donde vamos a trabajar una superficie plana y bien nivelada, sobre esta ubicamos el plato base y lo aseguramos para que no se pueda mover.



**Foto 3.3.6-1**

- b) Tomamos el tarro con 2000 gramos de arena aproximadamente y lo volteamos sobre el plato base, dejamos escurrir la arena hasta que pare el flujo, luego cerramos la válvula y determinamos el peso de la arena sobrante. Se registra el peso de la arena necesaria para llenar el cono.



**Foto 3.3.6-2**



**Foto 3.3.6-3**

- c) Luego de esto se debe empezar a cavar el hueco en forma cilíndrica, teniendo cuidado de no botar el material extraído. El hueco debe tener una profundidad medida de 10 cm.



**Foto 3.3.6-4**



**Foto 3.3.6-5**



**Foto 3.3.6-6**

- d) Se debe recoger todo el material que se extrae del hueco y guardarse en una bolsa o frasco que sea hermético para mantener su humedad.



**Foto 3.3.6-7**



**Foto 3.3.6-8**

- e) Ahora volvemos a llenar el dispositivo de arena con 3500 gramos aproximadamente, ya que ahora se necesitan mayor cantidad para llenar no solo el hueco, sino también el cono.

- f) Después de haber extraído la muestra, ponemos el dispositivo del cono con la arena boca abajo encajándolo con el plato base para evitar que se derrame la arena. Esta operación se hace con la válvula cerrada.



**Foto 3.3.6-9**

- g) Luego de tener el dispositivo en su lugar, abrimos la válvula y dejamos que se llene totalmente el hueco con la arena, se debe dejar fluir la arena hasta que baje totalmente llenando el hueco y el cono metálico.



**Foto 3.3.6-10**

- h) Ahora extraemos la arena cuidadosamente y la almacenamos en una bolsa teniendo cuidado de no mezclarla con el suelo existente y tratando de recuperar la mayor cantidad posible de esa arena.



**Foto 3.3.6-11**



**Foto 3.3.6-12**



**Foto 3.3.6-13**

- i) Luego de terminar el trabajo en campo, vamos al laboratorio y pesamos la muestra extraída y la arena que quedó almacenada en este.



**Foto 3.3.6-14**



**Foto 3.3.6-15**

- j) Finalmente llevamos la muestra extraída al horno y la dejamos por un tiempo aproximado de 24 horas, después de pasado este tiempo se saca y se determina su peso seco.



**Foto 3.3.6-16**

### 3.3.7 Datos y Resultados

$$\text{Volumen Hueco: } \frac{\text{Peso Arena hueco}}{\text{Densidad Arena}}$$

$$\text{Densidad Suelo: } \frac{\text{Peso Material Extraído}}{\text{Volumen hueco}}$$

Peso Unitario Arena: 2.2 gr/cm<sup>3</sup>.

Peso Arena que cabe en el Cono Metálico: 1850 gr.

Volumen Hueco: 429.55 cm<sup>3</sup>.

Densidad Suelo: 4.49 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.3.8 Análisis de Resultados

- ¿Cuál es la importancia de la aplicación de este método de ensayo en campo?
- ¿Cuál fue la densidad obtenida durante el ensayo?, compárela con los resultados de tablas.
- ¿Cuál es el porcentaje de compactación del terreno?
- ¿Cuál es el fin de usar arena de Ottawa en el ensayo y no cualquier otro tipo de arena?
- Investigue y realice un comparativo con los otros métodos de campo existentes, ¿Cuál considera es el más preciso, porque?



**ANEXO #3 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 DENSIDAD DE CAMPO EN SUELOS (CONO DE ARENA)  
 INV E-161-07

Elaborado Por: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

***Calibración de Arena en el Cono***

Peso Total (gr)	2000.00
Peso Final (gr)	150.00
Peso Arena en el Cono (gr)	1850.00

***Ensayo de Peso Unitario***

Peso inicial Cono-Arena (gr)	3500.00
Peso final Cono-Arena (gr)	705.00
Peso de la Arena en el Cono y Hueco (gr)	2795.00
Peso Arena-Hueco (gr)	945.00
Densidad Arena (gr/cm <sup>3</sup> )	2.20
Volumen Hueco (cm <sup>3</sup> )	429.55
Peso Material Extraído (gr)	2137.20
Peso Seco Material Extraído (gr)	1929.20
Peso Especifico Humedo (gr/cm <sup>3</sup> )	4.98
Peso Especifico Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	4.49
Humedad (%)	9.73%

## REFERENCIAS

AASHTO T 191-02 Standard Method of Test for Density of Soil in-Place by the Sand -Cone Method.

ASTM D 1556-00 Density & Unit Weight of Soil in Place by the Sand Cone Method.

Densidad en Campo de Suelos [en línea]. Medellín: Laboratorio de Suelos, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2008. [Consultado 08 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <http://suelos.eia.edu.co/iniciolab.htm>.

### 3.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. (INV E-213-07)

#### Introducción

Por medio de este ensayo podemos determinar la distribución de tamaños de las partículas, el cual consiste en hacer pasar una cierta cantidad de muestra de agregado por una serie de tamices normalizados, en Europa los tamices UNE, y en América los tamices ASTM, en un orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz.<sup>13</sup>

El obtener un material bien clasificado con la correcta granulometría de los porcentajes retenidos y los que pasan por cada tamiz es una buena práctica para que los materiales cumplan con sus objetivos en obra.

#### 3.4.1 Objetivos

Objetivo general

- Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda.

Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad en porcentaje de los distintos tamaños de partículas presentes en un suelo.
- Establecer la cantidad de material que pasa por determinado tamiz usando la curva granulométrica.

#### 3.4.2 Aplicaciones

- Granulometría para agregado grueso.
- Granulometría para suelos.

---

<sup>13</sup>Padilla Rodríguez, Alejandro. Materiales Básicos [en línea]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. [Consultado 15 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>

- Granulometría para pavimentos.

### 3.4.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Balanza



**Foto 3.4.3-1**

- Material de agregado



**Foto 3.4.3-2**

- Horno



**Foto 3.4.3-3**

- Tamices (Agregado Grueso)



**Foto 3.4.3-4**

- Tamices (Agregado Fino)



**Foto 3.4.3-5**

La escogencia de los tamices se realiza de acuerdo a la aplicación y a la noema escogida.

Generalmente se utiliza dos series de tamices, una gruesa y una fina.

Tamices para el agregado grueso parten desde el #4 hasta el tamaño máximo de la partícula más grande según el agregado.

Tamices para agregado fino parten desde el #4 hasta el tamiz # 200.

- Tamizadora mecánica



**Foto 3.4.3-6**

#### **3.4.4 Base Teórica**

La granulometría es la medición del tamaño de granos y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.<sup>14</sup>

Existen dos métodos para realizar este ensayo, por medio de tamices o en materiales muy finos por medio de un hidrómetro.

El resultado de la prueba por medio de tamices es una curva granulométrica. La cual es una grafica en la cual se ilustra el eje horizontal, el tamaño de la partícula en se da mm (escala logarítmica) y en el eje vertical (escala natural) el porcentaje del material que pasa.

---

<sup>14</sup> LAMBE T., William; WHITMAN V., Robert. Mecánica de Suelos. México: Limusa, 1997.

### 3.4.5 Recomendaciones

El siguiente ensayo se demuestra cómo se realiza una granulometría en general para cualquier tipo de material sin tener en cuenta cual vas a ser su uso. Pero para mayor énfasis y estudio según la práctica, se recomienda leer las siguientes normas:

- Norma INV-123 para realizar granulometría en suelos.
- Norma NTC-77 para tamizado de materiales granulados.
- Norma NTC-174 para realizar granulometría para hormigón.

### 3.4.6 Procedimiento

Hay que tener en cuenta que en este laboratorio se realizó la granulometría con un material de agregados y su función es demostrar cómo se realiza de manera general.

- a) Primero se hace una inspección visual del material y se toma la partícula más grande de éste, para referenciar con cual tamiz de mayor tamaño se va a empezar la granulometría (teniendo en cuenta que el material este completamente mezclado), seguidamente se obtendrá una muestra por cuarteo la cual debe ser pesada y estar suficientemente humedecida para evitar la pérdida de finos.
- b) Luego determinamos la humedad de la muestra, por medio de una tara tomando su peso antes y después de metida la muestra en el horno.



**Foto 3.4.6-1**

**Tabla 3.4.6-1: Toma de Muestras según Tamaño Máximo Nominal**

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de ensayo
mm	(Pulg.)	kg
9.5	(3/8)	1
12.5	(½)	2
19.0	(3/4)	5
25.0	(1)	10
37.5	(1½)	15
50.0	(2)	20
63.0	(2½)	35
75.0	(3)	60
90.0	(3½)	100
100.0	(4)	150
125.0	(5)	300

**Fuente: INV E-213-07**

Nota: si la cantidad excede 2 pulgadas hay que prever la forma para tamizar.

- c) Ahora se separa el material por el tamiz número 4 tomando las partículas mayores y menores de este en dos taras diferentes. Luego realizamos un lavado del material para ambas taras. para el material que pasa el tamiz numero 4 su lavado se hace colocando el material en el tamiz numero 200.



**Foto 3.4.6-2**



**Foto 3.4.6-3**



**Foto 3.4.6-4**

- a) Se coloca el material procedente del lavado en el horno a una temperatura de 110 grados aproximadamente hasta que su masa sea constante con respecto a la inicial antes de lavarlo.



**Foto 3.4.6-5**

- b) Se saca la muestra del horno una vez este seca, y se selecciona el grupo de tamices que se van a utilizar desde el numero mayor hasta el #200 (o los tamices que sean requeridos según el laboratorio).



**Foto 3.4.6-6**

- c) Ahora realizamos un tamizado manual para el agregado grueso, partiendo desde el tamiz mayor hasta el número #4. Luego se realiza un tamizado mecánico para el agregado fino (el pasa #4).



**Foto 3.4.5-7**



**Foto 3.4.5-8**

- d) Por último se pesa el material retenido en cada tamiz y sacamos la diferencia con el pesaje inicial de todo el material para saber la pérdida de este.



**Foto 3.4.5-9**

### 3.4.7 Datos y Resultados

Para elaborar el cálculo de la granulometría se deben tomar los siguientes datos:

Peso total de la muestra seca

- $P_{muestra\ humeda\ inicial}$  :
- $P_{muestra\ lavada\ y\ seca}$  :

- *Humedad del material:*

- $P_{material\ fino\ perdido}$  :

$$P_{m. humeda\ inicial} - P_{muestra\ lavada\ y\ seca}$$

- % de error:

$$\frac{P_{m.humeda\ inicial} - P_{m.final}}{P_{m.humeda\ inicial}}$$

Peso material retenido en cada tamiz

- Calculo porcentaje retenido
- Calculo porcentaje que pasa

#### 3.4.8 Análisis de Resultados

- ¿Cuáles son las series de tamices para hacer granulometría a mezclas densas y a suelos?
- ¿Buscar cual es la función de la curva granulométrica a la hora de elegir un pavimento flexible?
- ¿Qué se debe realizar para disminuir el porcentaje de finos en un material?
- ¿Por qué se debe lavar el material antes de hacer el tamizado?



**ANEXO #4 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 TAMAÑO MÁXIMO, GRANULOMETRÍA, FINURA (EN  
 MATERIALES PARTICULADOS)  
 NTC-129,NTC-174,NTC-123,INV-213

	Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
A g r e g n a d o	#4	426.4	24.91%	24.91%	75.09%
	#8	212.8	12.43%	37.34%	87.57%
	#16	243.4	14.22%	51.56%	85.78%
	#50	621.2	36.29%	87.85%	63.71%
	#100	134.7	7.87%	95.72%	92.13%
	#200	49.1	2.87%	98.59%	97.13%
	Fondo	24.2	1.41%		
	Total	1711.8	100.00%	Peso Muestra	1711.8

	Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
A g r e g a s d o	1"	836.1	16.89%	16.89%	83.11%
	3/4"	1170	23.64%	40.54%	76.36%
	1/2"	991.1	20.03%	60.56%	79.97%
	3/8"	239.95	4.85%	65.41%	95.15%
	Fondo	1711.8	34.59%		
	Total	4948.95	100.00%	Peso Muestra final	4948.95

% porcentaje de error 1.02%      Peso Muestra inicial H. 5000

## REFERENCIAS

AASHTO T 27-99 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate.

ASTM C 136-01 Sieve Analysis Gradation of Fine and Coarse Aggregate.

Padilla Rodríguez, Alejandro. Materiales Básicos [en línea]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. [Consultado 15 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>

LAMBE T., William; WHITMAN V., Robert. Mecánica de Suelos. México: Limusa, 1997.

## 4. CARACTERIZACIÓN EMPÍRICA DE LOS MATERIALES

## 4.1 PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV-E-706-07)

### Introducción

Los asfaltos son constituidos por la fracción más pesada obtenida de la destilación al vacío del crudo reducido (fondos de la destilación atmosférica del petróleo). Normalmente son hidrocarburos pesados, solubles de color oscuro, y pueden ser líquidos o sólidos.

El uso principal de los asfaltos es la construcción y conservación de vías. Pueden aplicarse de diferentes formas tales como emulsiones asfálticas, asfaltos líquidos o directamente como cemento asfáltico.<sup>15</sup>

#### 4.1.1 Objetivos

Objetivo General:

- El objetivo de este ensayo es determinar la dureza y la consistencia relativa de los materiales asfálticos.

Objetivos Específicos:

- Determinar la consistencia del asfalto ensayado, verificando que los resultados se ajusten de acuerdo a la normatividad respectiva. (INV-E-706-07).
- Conocer la importancia de las diferentes propiedades del asfalto y determinar cómo influyen estas en la selección de asfaltos según su uso en la construcción y rehabilitación de vías.

#### 4.1.2 Aplicaciones

- Asfaltos para pavimentación de vías.
- Asfaltos para realizar juntas selladoras en muros.
- Aplicaciones Industriales.

---

<sup>15</sup> Catalogo de Productos. Ecopetrol. Septiembre, 2008.

### 4.1.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Muestra de Asfalto (Asfalto 80/100 para este caso específico)



**Foto 4.1.3-1**

- Recipientes para colocación de la muestra a ensayar



**Foto 4.1.3-2**

- Estufa eléctrica



**Foto 4.1.3-3**

- Termómetro



**Foto 4.1.3-4**

- Vasija para Sumergir Muestras en Agua



**Foto 4.1.3-5**

- Cronometro



**Foto 4.1.3-6**

- Penetrómetro



**Foto 4.1.3-7**

#### 4.1.4 Base Teórica

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura.

Normalmente, el ensayo se realiza a 25° C (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas<sup>16</sup>.

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, puesto que son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia.

Si se expone al aire el cemento asfáltico en películas delgadas y se le somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo en las mezclas con agregado pétreo, el asfalto tiende a endurecerse y aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta, por lo cual un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar un daño al cemento asfáltico, tanto como el servicio en el camino terminado.

Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o de penetración<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Penetración de los Materiales Asfálticos. Santa Fe de Bogotá, 1996. INV-E-706-07.

<sup>17</sup> Los Asfaltos Modificados. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Publicación Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Argentina, 2008.

#### 4.1.5 Recomendaciones

- Se debe usar un asfalto que esté limpio, libre de polvo y demás partículas.
- Los tarros a usar deben tener unas dimensiones mínimas establecidas en la norma (Diámetro: 55 mm y Profundidad: 35 mm).
- Se debe nivelar siempre el penetrómetro, de esta manera podemos obtener resultados más confiables.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

#### 4.1.6 Procedimiento

- a) Se deben tomar alrededor de 500 gramos de asfalto como muestra representativa para el ensayo, en nuestro caso se hizo con asfalto 80/100, pero igualmente se puede realizar este ensayo con asfalto 60/70, el cual también es muy común.



**Foto 4.1.6-1**

- b) Después de tener esta muestra, se debe calentar en la estufa eléctrica cuidadosamente, teniendo en cuenta que se debe agitar lentamente para homogeneizar el proceso de calentamiento y además chequeando que la temperatura no se suba a más de 90°C.



**Foto 4.1.6-2**



**Foto 4.1.6-3**

- c) Luego de un tiempo aproximado de 30 minutos, se procede a envasar el asfalto en las probetas, estas deben ser de forma cilíndrica y de fondo plano. Se verifica que quede llena la probeta casi hasta el borde superior de la probeta.



**Foto 4.1.6-4**

- d) Después de tener llenas las probetas se llevan a un sitio seguro y se dejan enfriando, tapándolas con un cono invertido, para proteger las muestras del polvo, durante un tiempo entre 1 y 1.5 horas.



**Foto 4.1.6-5**



**Foto 4.1.6-6**



**Foto 4.1.6-7**

- e) Luego de esto se deben sumergir las muestras en agua durante un tiempo igual al que se empleó para dejarlas enfriando al aire libre (1 a 1.5 horas), el agua debe tener siempre una temperatura media de 25°C.



**Foto 4.1.6-8**

- f) Después de haber sacado las probetas de su estado sumergido, se deben escurrir y se alistan para ser ensayadas en el Penetrómetro.
- g) Para el uso del penetrómetro, lo primero que se hace es nivelarlo mediante los tornillos de nivelación que se encuentran justo delante de él, verificando que la burbuja de aire quede justo en el centro de la marca.



**Foto 4.1.6-9**

- h) Ahora se debe ajustar la aguja, verificando que el medidor se encuentre en el valor inicial (cero) y que la aguja esté limpia.



**Foto 4.1.6-10**

- i) Habiendo puesto el penetrómetro en ceros, tomamos la probeta y la ponemos sobre la base de este y bajamos cuidadosamente la aguja, observando que llegue al punto más cercano del asfalto, pero que no penetre.



**Foto 4.1.6-11**

- j) Ahora debemos tomar las diferentes medidas de penetración, primero se suelta la aguja, dejándola caer verticalmente mediante el seguro que tiene el instrumento, dejándolo sostenido durante un tiempo de 5 segundos, después de este tiempo tomamos el registro obtenido en el penetrómetro.
- k) Después de cada penetración realizada se debe limpiar la aguja con algún solvente (gasolina), calibrar en ceros y volver a ensayar, en total son 3 registros de penetración.



**Foto 4.1.6-12**

Nota: La norma especifica que se pueden usar masas fijas sobre la aguja tanto de 50 gramos como de 100, en nuestro caso se realizo un ensayo para cada una de estas masa fijas.

**Tabla 4.1.6-1: Condiciones del Ensayo de penetración**

Temperatura °C (°F)		Carga g	Tiempo s
0	(32)	200	60
4	(39.2)	200	60
25	(77)	100	5
25	(77)	50	5
45	(113)	50	5
46.1	(115°)	50	5

**Fuente: INV-E-706-07**

#### 4.1.7 Datos y Resultados

Para las dos probetas se obtienen 3 penetraciones, bajo diferentes condiciones de carga.

Masa: 50 gramos

Tiempo de caída aguja: 5 segundos

- Penetración #1: 81.5
- Penetración #2: 83.0
- Penetración #3: 81.0

Masa: 100 gramos

Tiempo de caída aguja: 5 segundos

- Penetración #1: 86.0
- Penetración #2: 88.0
- Penetración #3: 89.0

Nota: Las unidades de penetración están dadas en decimas de milímetro.

#### **4.1.8 Análisis de Resultados**

- ¿Cuál es el valor máximo y mínimo de penetración que debe tener un asfalto?
- ¿Qué podemos concluir acerca de la consistencia del asfalto ensayado?
- ¿Para qué puede ser usado el asfalto, según los resultados obtenidos?



**ANEXO #5 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 PENETRACION DE ASFALTOS  
 INV E-706-07

Elaborado Por: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**PROBETA # 1**

<i>Tipo de asfalto</i>	80/100
<i>Masa Fija (gr)</i>	50

<i>Ensayo</i>	<i>Penetracion (1/10 mm)</i>
1	81.5
2	83.0
3	81.0
<b>Promedio</b>	<b>81.83</b>

**PROBETA # 2**

<i>Tipo de asfalto</i>	80/100
<i>Masa Fija (gr)</i>	100

<i>Ensayo</i>	<i>Penetracion (1/10 mm)</i>
1	86.0
2	88.0
3	89.0
<b>Promedio</b>	<b>87.67</b>

## REFERENCIAS

AASHTO T 49 Standard Method of Test for Penetration of Bituminous Materials.

ASTM D5-97 Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials.

Catalogo de Productos. Ecopetrol. Septiembre, 2008.

Los Asfaltos Modificados. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Publicación Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Argentina, 2008.

## **4.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LOS TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO. (NTC-109, NTC-118)**

### **PARTE A. Consistencia Normal del Cemento**

#### **Introducción**

El siguiente ensayo se realiza hallando de forma empírica la cantidad de agua que debe llevar una pasta de cemento para obtener la consistencia normal de este. La consistencia se mide por medio del aparato de Vicat (Norma ICONTEC-110).

#### **4.2.1 Objetivos**

Objetivo general

- Establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato Vicat.

Objetivos específicos

- Establecer el procedimiento para la elaboración de la pasta de cemento.
- Desarrollar un informe con la metodología y la correcta utilización de los equipos.

#### **4.2.2 Aplicaciones**

- Cementos en general.

### 4.2.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Aparato Vicat



**Foto 4.2.3-1**

- Balanza



**Foto 4.2.3-2**

- Molde tronco-cónico



**Foto 4.2.3-3**

- Muestra de Cemento



**Foto 4.2.3-4**

- Probeta



**Foto 4.2.3-5**

#### 4.2.4 Base Teórica

La cantidad de agua que se le agrega al cemento, le comunica una determinada fluidez, la cual aumenta al incrementarse el contenido de agua. Existe una determinada fluidez para la cual debe agregarse cierta cantidad de agua. Esta fluidez es lo que se llama consistencia normal. Los valores encontrados en un ensayo de consistencia normal no se utilizan para el control de calidad del cemento, pero se considera complementaria de otros ensayos como el tiempo de fraguado y la estabilidad de volumen.<sup>18</sup>

#### 4.2.5 Recomendaciones

- La cantidad de agua requerida para hallar la consistencia del cemento se expresa como un porcentaje en peso del cemento seco.
- La temperatura ambiente de la sala de trabajo y de las herramientas debe estar entre 20 y 28 °C.
- La temperatura del agua de amasado debe estar en  $23 \pm 1.7$  °C.
- Es necesario el uso de protección como: guantes, bata y tapa bocas a la hora de realizar los ensayos.

#### 4.2.6 Procedimiento

- a) Pesamos 500 g de la muestra de cemento en la balanza.



**Foto 4.2.6-1**

<sup>18</sup>GIRALDO RÍOS, Isabel del Socorro. Información sobre cementos [en línea]. Medellín. Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2008. [Consultado 01 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet:<http://estructuras.eia.edu.co/tecnologia%20del20hormigon/cemento/APUNTES-CEMENTOEIA.htm>.

- b) Colocamos la muestra de cemento sobre el mezclador y vertemos un porcentaje de agua conocido (el % de agua es respecto a los 500g de cemento).



**Foto 4.2.6-2**



**Foto 4.2.6-3**

- c) Ahora encendemos el mezclador en primera velocidad durante 30 segundos. Seguidamente se sube a segunda velocidad durante 1 minuto.



**Foto 4.2.6-4**

- d) Tomamos la pasta de cemento que preparamos previamente en el paso anterior y se moldea con las manos dándole forma esférica y se lanza 6 veces de una mano a la otra manteniendo una distancia máxima de 15 cm entre cada mano.



**Foto 4.2.6-5**

- e) Se llena la base mayor del molde con la pasta de cemento, retiramos la cantidad sobrante de material y colocamos la base mayor sobre la placa metálica o vidrio.



**Foto 4.2.6-6**

- f) Se lleva el conjunto placa, pasta y molde sobre el aparato y lo centramos debajo del vástago. Se hace descender hasta que el vástago haga un ligero contacto con la pasta. calibramos en cero el aparato Vicat.



**Foto 4.2.6-7**

- g) La determinación de la consistencia se hace soltando el vástago para que este penetre en la muestra, se considera que hay consistencia normal cuando el vástago penetra alrededor de unos 10 mm en la muestra durante un tiempo de 30 segundos.



**Foto 4.2.6-8**

- h) Si no se obtiene la consistencia normal se varía el porcentaje de agua para la preparación de la pasta. No olvidar que a mayor % de agua menor consistencia.



**Foto 4.2.6-9**

#### 4.2.7 Datos y Resultados

Para el cálculo de la consistencia normal del cemento se calcula el porcentaje de agua respecto a los 500 gramos que es la muestra inicial de cemento, para nuestro caso se obtuvo el siguiente resultado:

*Porcentaje de agua : 26% en peso.*

#### 4.2.8 Análisis de Resultados

- ¿Cuál es el fin de determinar la consistencia normal del cemento en este tipo de pruebas?
- ¿Cuál es el porcentaje de agua más adecuado para obtener una buena consistencia del cemento?
- ¿La determinación de la consistencia normal del cemento es un ensayo base para realizar cuales otros?
  
- ¿Cuál debe ser la penetración del vástago de Vicat para ser aceptada la muestra?
- ¿En que influye el porcentaje de agua para determinar la consistencia del cemento?

## PARTE B. Tiempos de Fraguado del Cemento

### Introducción

El cemento requiere de rigurosos controles cuando sale de su fabricación, por lo tanto se realizan diversas pruebas en los laboratorios de las fábricas de cemento para asegurar que este posee la calidad deseada y está dentro de las normas, uno de estos controles es el inicio y final de fraguado del cemento.

#### 4.2.9 Objetivos

Objetivo General:

- El objetivo de este ensayo es determinar los tiempos de fraguado de pastas de cemento hidráulicos por medio de los métodos existentes.

Objetivos Específicos:

- Determinar los tiempos de fraguado del cemento hidráulico, mediante el método de las agujas de Gillmore de acuerdo a la normatividad respectiva. (NTC-109).
- Determinar los tiempos de fraguado del cemento hidráulico, mediante el método del aparato de Vicat de acuerdo a la normatividad respectiva. (NTC-118).

#### 4.2.10 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Muestra de Cemento Portland con un peso de 500 gramos.



**Foto 4.2.10-1**

- Agujas de Gillmore



**Foto 4.2.10-2**

- Molde circular para colocación de pasta de cemento.



**Foto 4.2.10-3**

- Espátula



**Foto 4.2.10-4**

- Aguja de Vicat



**Foto 4.2.10-5**

- Molde cónico para colocación de pasta de cemento



**Foto 4.2.10-6**

#### 4.2.11 Base Teórica

El cemento al ser mezclado con agua forma una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia. Estas características son causadas por un proceso físico-químico derivado de la reacción química del agua con las fases mineralizadas del clinker y que en su primera etapa incluye la solución en agua de los compuestos anhidros del cemento, formando compuestos hidratados.

El endurecimiento de la pasta de cemento muestra particularidades que son de interés para el desarrollo de obras de ingeniería:

- La reacción química producida es exotérmica, con desprendimiento de calor, especialmente en los primeros días.
- Durante su desarrollo se producen variaciones de volumen, de dilatación si el ambiente tiene un alto contenido de humedad o de contracción si este es bajo.

El proceso producido es dependiente de las características del cemento, principalmente de su composición y de su finura, los cuales condicionan en especial la velocidad de su generación.<sup>19</sup>

#### 4.2.12 Recomendaciones

- Se debe trabajar en un cuarto húmedo o al menos donde las condiciones de humedad sean estables durante todo el desarrollo de la práctica.
- Al realizar las penetraciones con las diferentes agujas, se debe tener cuidado de no dejarla caer libremente con gran fuerza, sino suavemente para obtener buenos resultados.
- La pasta de cemento a usar debe cumplir con las especificaciones de consistencia dadas en la norma técnica colombiana NTC-110
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

#### 4.2.13 Procedimiento

##### Agujas de Gillmore

- a) Se debe tomar la pasta de cemento e introducirla dentro del molde metálico por la parte de debajo de manera que cuando esté llena se voltea para poder asentar bien toda la mezcla y enrasarla en la parte superior.

---

<sup>19</sup> Tecnología del hormigón [en línea]. Chile. Universidad Católica del Norte, 2008. [Consultado 24 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/FraguaT2.htm>



**Foto 4.2.13-1**



**Foto 4.2.13-2**

- b) Después de preparar esta muestra, se debe dejar sobre el mesón para empezar a tomar las lecturas. En un principio se toma el dato a los primeros 30 minutos de haber iniciado el fraguado.



**Foto 4.2.13-3**

- c) Al realizar cada lectura, se debe llevar la aguja lentamente hasta que haga contacto con la superficie y dejarla caer suavemente. Después de tomar la primera lectura, las siguientes se realizan cada 15 minutos.



**Foto 4.2.13-4**



**Foto 4.2.13-5**

La idea es hacer penetración con la aguja pequeña hasta que ya no pueda entrar, en ese momento se dice que se llegó a su tiempo inicial de fraguado.

- d) Después de haber llegado al tiempo inicial, la siguiente lectura se hace con la aguja grande y se siguen verificando cada 15 minutos si la aguja entra o no. Al momento en que no entre la aguja hemos alcanzado el tiempo final de fraguado.



**Foto 4.2.13-6**

### **Aguja de Vicat**

- a) Se empieza tomando la pasta preparada previamente e introduciéndola en el cono por la parte de abajo, de manera que luego se voltee contra la placa de aluminio. Luego se le dan unos golpes y se enrasa para poder ser usada en el ensayo.



**Foto 4.2.13-7**



**Foto 4.2.13-8**



**Foto 4.2.13-9**

- b) Después de preparar esta muestra, se debe dejar sobre el mesón para empezar a tomar las lecturas. En un principio se toma el dato a los primeros 30 minutos de haber iniciado el fraguado.



**Foto 4.2.13-10**

- c) Después de 30 minutos de haber iniciado el fraguado se prepara la aguja acercándola a la superficie de la muestra y ajustando el medidor en cero, se deja caer la aguja libremente durante 30 segundos y se toma la lectura de penetración.



**Foto 4.2.13-11**



**Foto 4.2.13-12**



**Foto 4.2.13-13**

- d) Tomado el primer dato, se debe continuar haciendo este procedimiento cada 15 minutos hasta que la aguja no penetre más.

Nota: Para este método el tiempo de fraguado inicial se da cuando la penetración alcanzada por la aguja es de 25 cm y al tiempo de fraguado final se llega en el momento en que la aguja deja de penetrar en la muestra.

#### **4.2.14 Datos y Resultados**

##### **Agujas de Gillmore**

Se obtuvieron los siguientes tiempos:

- Tiempo de Fraguado inicial: 2 horas y 45 minutos.
- Tiempo de Fraguado final: 4 horas y 15 minutos.

##### **Aguja de Vicat**

Se obtuvieron los siguientes tiempos:

- Tiempo de Fraguado inicial: 1 horas y 30 minutos.
- Tiempo de Fraguado final: 3 horas y 30 minutos.

#### **4.2.15 Análisis de Resultados**

- ¿Qué podemos concluir de los tiempos de fraguado del cemento evaluado?
- ¿Por qué es importante conocer los valores del tiempo de fraguado en un cemento determinado?
- ¿Cuánto deben ser los tiempos iniciales y finales de fraguado en un cemento Portland tipo I?
- ¿Qué importancia tienes estos tiempos de fraguado al realizar una construcción con estos?



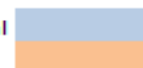
**ANEXO #6 (Tabla de Resultados)**



Porcentaje de Agua en la Pasta de Cemento	26.0%
---	-------

<i>Agujas de Gillmore</i>			<i>Aguja de Vicat</i>		
Pruebas	Hora de Inicio	Penetracion (mm)	Pruebas	Hora de Inicio	Penetracion (Si/No)
	10:00:00 a.m.			10:00:00 a.m.	
30'	10:30:00 a.m.	40	30'	10:30:00 a.m.	Si
15'	10:45:00 a.m.	40	15'	10:45:00 a.m.	Si
15'	11:00:00 a.m.	40	15'	11:00:00 a.m.	Si
15'	11:15:00 a.m.	38	15'	11:15:00 a.m.	Si
15'	11:30:00 a.m.	38	15'	11:30:00 a.m.	No
15'	11:45:00 a.m.	38	15'	11:45:00 a.m.	Si
15'	12:00:00 a.m.	37	15'	12:00:00 a.m.	Si
15'	12:15:00 p.m.	35	15'	12:15:00 p.m.	Si
15'	12:30:00 p.m.	31	15'	12:30:00 p.m.	Si
15'	12:45:00 p.m.	25	15'	12:45:00 p.m.	Si
15'	01:00:00 p.m.	22	15'	01:00:00 p.m.	Si
15'	01:15:00 p.m.	18	15'	01:15:00 p.m.	Si
15'	01:30:00 p.m.	15	15'	01:30:00 p.m.	No
15'	01:45:00 p.m.	10	15'	01:45:00 p.m.	
15'	02:00:00 p.m.	4	15'	02:00:00 p.m.	
15'	02:15:00 p.m.	0	15'	02:15:00 p.m.	
15'	02:30:00 p.m.		15'	02:30:00 p.m.	
15'	02:45:00 p.m.		15'	02:45:00 p.m.	
15'	03:00:00 p.m.		15'	03:00:00 p.m.	

Fraguado Inicial



Fraguado Final

## REFERENCIAS

ASTM C 266 Method of Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Gillmore Needles.

ASTM C 191 Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle.

ASTM C 187 Method of Test for Normal Consistency of Hydraulic Cement.

COPANT 3:1-006 Cementos. Método de Determinación de Consistencia Normal y Fraguado.

GIRALDO RÍOS, Isabel del Socorro. Información sobre cementos [en línea]. Medellín. Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2008. [Consultado 01 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet:<http://estructuras.eia.edu.co/tecnologia%20del20hormigon/cemento/APUNTES-CEMENTOEIA.htm>.

Tecnología del hormigón [en línea]. Chile. Universidad Católica del Norte, 2008. [Consultado 24 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet:<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/FraguaT2.htm>.

### 4.3 ENSAYO DE DUREZA BRINELL. (INV E-503-07)

#### Introducción

El siguiente ensayo consta de una máquina la cual sostiene una muestra de material metálico sobre un vástago, esta se encarga de aplicar una carga de penetración predeterminada por medio de una esfera que hace contacto con la muestra para determinar su dureza.

El diseño de la máquina de ensayo debe ser tal que no ocurran movimientos.

#### 4.3.1 Objetivos

Objetivo general

- Establecer el procedimiento que se debe seguir para determinar la dureza de cualquier metal.

Objetivos específicos

- Por medio de repetidos ensayos hallar un valor de alta confiabilidad de la dureza del metal estudiado.
- Realizar los respectivos cálculos con los diferentes valores tomados usando el método de Gauss.

#### 4.3.2 Aplicaciones

- Establecer la correlación que existe entre la dureza y la resistencia mecánica de aceros.

### 4.3.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Máquina de ensayo



**Foto 4.3.3-1**

- Probeta de ensayo



**Foto 4.3.3-2**

### 4.3.4 Base Teórica

La dureza caracteriza la deformación local concentrada en un pequeño volumen de la superficie exterior de un material y representa la resistencia que opone el material al tratar de ser rayado o penetrado por otro. La dureza está relacionada directamente con las propiedades elásticas y plásticas de un material; esta relación hace de las pruebas de dureza tener una importancia fundamental desde el punto de vista práctico.

El ensayo de dureza Brinell es un método para determinar la resistencia a la penetración usando una máquina que incrusta una esfera dura bajo condiciones específicas dentro de

la superficie ensayada, midiendo luego el diámetro de la impresión resultante o la penetración cuando se ha removido la carga.<sup>20</sup>

#### 4.3.5 Recomendaciones

- Para realizar el ensayo de dureza la máquina de ensayo debe estar calibrada y firme de tal que no ocurran movimientos laterales o balanceos de la muestra o de la esfera mientras se aplica la carga.
- A diferencia de la norma el ensayo realizado en el laboratorio tiene variaciones debido al modelo de la maquina Brinell.
- La aplicación y tiempo de la carga depende del tipo de material y del modelo de la maquina Brinell.

#### 4.3.6 Procedimiento

- Primero tomamos la muestra y verificamos que esté completamente liza y que sus caras opuestas estén enrazadas.



**Foto 4.3.6-1**

- Colocamos la muestra sobre el vástago de la maquina Brinell, subimos este hasta que este muy próximo a hacer contacto con la esfera Brinell.

<sup>20</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola). Santa Fe de Bogotá, 1996. INV-E-712-07.



**Foto 4.3.6-2**

- c) Ahora giramos el vástago para colocar el lector entre 0 y 10 seguidamente giramos la palanca inferior izquierda en ceros.



**Foto 4.3.6-3**

- d) Hallamos la dureza girando la palanca superior derecha durante un tiempo (X) segundos, el cual depende del material a probar (usamos 6 segundos para este tipo de material).



**Foto 4.3.6-4**



**Foto 4.3.6-5**

Nota: la escala de dureza Brinell del aparato está dada en Kg/cm<sup>2</sup>

- e) Por último tomamos la lectura de la dureza por el visor de la maquina Brinell y hacemos el proceso en repetidas ocasiones para poder realizar los respectivos cálculos.



**Foto 4.3.6-6**

- f) Se toman 4000 datos de dureza sobre la muestra, para dar un valor de alta confiabilidad respecto a su dureza final.

#### 4.3.7 Datos y Resultados

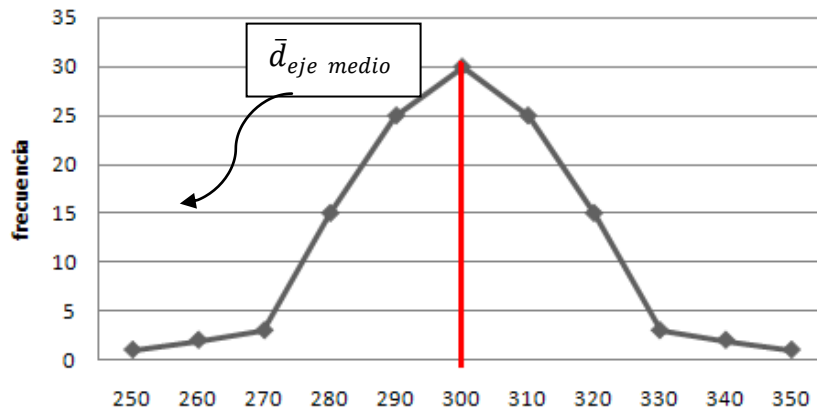
Toma de datos: x No de dureza

$$D.P = d.min + \frac{D.C}{2}$$

DP= dureza permisible  
 d.min= dureza mínima  
 D.C= d.max-d.mín

**Figura 4.3.7-1: Resultado de Dureza en el Eje Medio**

**frecuencia vs dureza**



$$D.P = \bar{d}_{eje\ medio}$$

Si la dureza permisible  $D.P$  no es igual a la dureza del eje central de la grafica (frecuencia vs dureza) entonces calculamos la dureza del material así:

$$\bar{d} = \sum \frac{(f \times d)}{n}$$

$\bar{d}$  = dureza promedio

f=frecuencia del dato

d= valor de dureza (Kg/cm<sup>2</sup>)

n= numero de datos

Nota: es de mayor confiabilidad calcular la dureza por gauss (D.P) que la dureza promedio del material.

#### 4.3.8 Análisis de Resultados

- ¿Qué otro tipo de ensayos se utilizan para determinar la dureza en un material?
- ¿Hay algún método estadístico para hallar la dureza media del material?
- ¿De qué sirve realizar el ensayo de dureza en obra?



**ANEXO #7 (Tabla 1 de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE DUREZA BRINELL  
 INV E 503 – 07

Elaborado Por:  
 Fecha:

No de muestra	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )	No de muestra	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )	No de muestra	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )
1	300	16	280	31	300
2	200	17	340	32	300
3	300	18	300	33	220
4	320	19	300	34	220
5	300	20	300	35	300
6	250	21	250	36	300
7	300	22	340	37	250
8	300	23	350	38	280
9	300	24	280	39	300
10	320	25	300	40	300
11	320	26	350	41	300
12	280	27	300	42	300
13	320	28	320	43	280
14	300	29	280	44	280
15	340	30	300	45	320

D.P= dureza permisible  
 d.min= dureza mínima  
 D.C= d.max-d.mín  
 D.P 300

$$D.P = d.min + \frac{D.C}{2}$$



**ANEXO #8 (Tabla 2 de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE DUREZA BRINELL  
 INV E 503 – 07

Elaborado Por:  
 Fecha:

No de muestra	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )	No de muestra	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )	No de muestra	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )
46	340	61	300	76	320
47	300	62	280	77	220
48	300	63	320	78	280
49	340	64	400	79	280
50	320	65	300	80	280
51	280	66	340	81	300
52	320	67	280	82	340
53	320	68	320	83	320
54	300	69	370	84	300
55	280	70	300	85	370
56	320	71	350	86	
57	350	72	320	87	
58	300	73	300	88	
59	370	74	320	89	
60	280	75	280	90	

D.P= Dureza Permisible  
 d.min= Dureza Mínima  
 D.C= d.max-d.mín  
 D.P 300

$$D.P = d.min + \frac{D.C}{2}$$



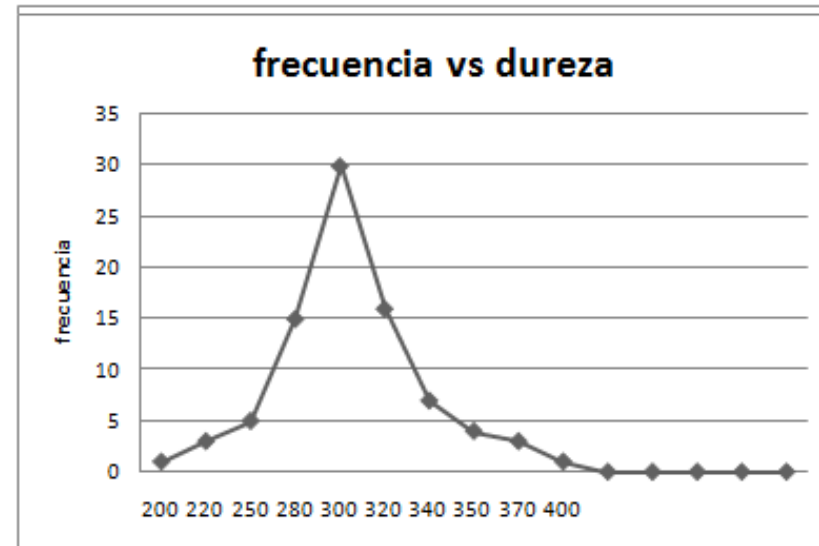
**ANEXO #9 (Grafico de Resultados)**



Elaborado Por:

Fecha:

No de Datos (En orden de menor a mayor)	Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )	frecuencia (No de repeticiones)
1	200	1
2	220	3
3	250	5
4	280	15
5	300	30
6	320	16
7	340	7
8	350	4
9	370	3
10	400	1
11		
12		
13		
14		
15		



Dureza eje medio 300

## REFERENCIAS

AASHTO T 70 Brinell Hardness of Metallic Materials.

ASTM E 10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.

#### **4.4 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (Aparato de Anillo y Bola). (INV E-712-07)**

##### **Introducción**

Como los cementos asfálticos no tienen un punto de fusión definido, por ser materiales termoplásticos, se ha definido un punto de ablandamiento convencional determinado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado de fluidez a la cual el asfalto no puede soportar una carga de una bola de acero dentro de un anillo, por lo que la prueba también se denomina “de anillo y bola”.

El punto de ablandamiento de un producto bituminoso es útil para dar un valor promedio al cual el material tiende a fluir cuando está sometido a altas temperaturas.

##### **4.4.1 Objetivos**

Objetivo general

- Este método cubre la determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C), glicerina USP (encima de 80° a 157° C), o glicol etileno (30° a 110° C).

Objetivos Específicos

- Valorar la capacidad de un material bituminoso al soportar altas temperaturas.
- Comparar y analizar la calidad del material bituminoso según el uso al cual vaya ser sometido.

##### **4.4.2 Aplicaciones**

- Asfaltos para pavimentación de vías.
- Asfaltos para realizar juntas selladoras en muros.
- Aplicaciones Industriales.

### 4.4.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Anillos



**Foto 4.4.3-1**

- Bolas de Acero Inoxidable



**Foto 4.4.3-2**

- Montaje y Soporte de anillos



**Foto 4.4.3-3**

- Plato base



**Foto 4.4.3-4**

- Termómetro para Asfalto



**Foto 4.4.3-5**

- Termómetro para Agua



**Foto 4.4.3-6**

- Líquido para Baño (Agua)



**Foto 4.4.3-7**

- Estufa



**Foto 4.4.3-8**

#### 4.4.4 Base Teórica

Los productos bituminosos son materiales visco elásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura se eleva. Por esta razón, el punto de ablandamiento se debe determinar por medio de un método arbitrario fijo, pero definido que produzca resultados reproducibles y comparables.<sup>21</sup>

Para poner en obra un material asfáltico, se requiere que tenga una viscosidad baja, lo cual puede conseguirse por medio de una disolución en un disolvente volátil, por emulsión

<sup>21</sup>INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola). Santa Fe de Bogotá, 1996. INV-E-712-07.

en agua o por un aumento en la temperatura, el cual éste último es el procedimiento frecuentemente utilizado.

La Susceptibilidad o punto de ablandamiento térmico de un producto asfáltico, es la aptitud que presenta para variar su viscosidad en función de la temperatura. Es muy importante la susceptibilidad debido a que

Se puede conocer la temperatura adecuada para que el producto asfáltico adquiera la viscosidad requerida para el uso que le daremos.<sup>22</sup>

#### 4.4.5 Recomendaciones

- Para la elaboración de este laboratorio es necesario conseguir guantes industriales para resistencia a altas temperaturas.
- No olvidar conseguir agua a una temperatura aproximada de 5°C para la inmersión del montaje, las bolas y el termómetro.
- Según la norma INV. E-172-07 este ensayo se puede realizar con glicerina y glicol etileno.

#### 4.4.6 Procedimiento

- Primero se consigue material bituminoso que esté limpio totalmente para realizar este laboratorio, enseguida preparamos la muestra calentándola en estufa u horno previendo que su temperatura no sobrepase los 110° C, hay que revolverla constantemente para que no haya sobrecalentamientos localizados.



**Foto 4.4.6-1**

<sup>22</sup> Padilla Rodríguez, Alejandro. Materiales Básicos [en línea]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. [Consultado 15 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>

- b) Ahora tomamos el plato base le colocamos un agente aislante (grasa) y encima colocamos los anillos los cuales deben estar caliente a igual temperatura que el material bituminoso, esto con el fin de que su vertimiento sea menos complicado.



**Foto 4.4.6-2**

- c) Luego vertimos el material bituminoso sobre los dos anillos y dejamos enfriar durante 30 minutos.



**Foto 4.4.6-3**



**Foto 4.4.6-4**

- d) Cuando el material este frio se corta el exceso que sobresalga de los anillos, esto con un cuchillo o espátula caliente.
- e) Enseguida vertimos agua sobre el recipiente del montaje a una altura aproximada de 105 mm la cual debe estar a una temperatura de 5 °C.



**Foto 4.4.6-5**

- f) De inmediato hacemos el montaje del equipo con los anillos y los sumergimos sobre el agua fría, también se sumergen las bolas y se dejan durante 15 min para que adquieran una temperatura constante.



**Foto 4.4.6-6**

- g) Una vez pasado los 15 minutos colocamos las esferas sobre los anillos de forma centrada y sumergimos el conjunto.



**Foto 4.4.6-7**

- h) Ahora comenzamos a calentar el baño en forma pausada, después de los 3 primeros minutos la variación de la temperatura no debe exceder los  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$



**Foto 4.4.6-8**

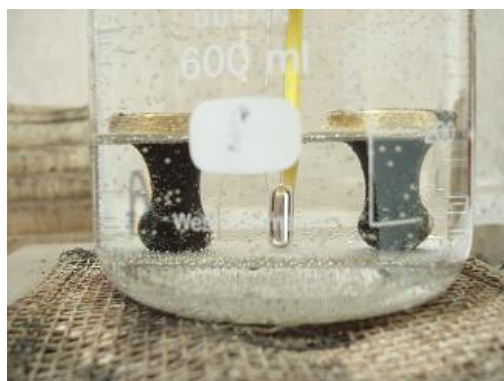


**Foto 4.4.6-9**

- i) Por último se toma la temperatura a la que el producto bituminoso que rodea la bola hace contacto con la placa metálica. Si la diferencia de las dos temperaturas para cada bola excede 1 °C se repite el ensayo.



**Foto 4.4.6-10**



**Foto 4.4.6-11**

#### 4.4.7 Datos y Resultados

Para el cálculo de la temperatura solo debemos colocar los resultados.

$T^{\circ}\text{ablandamiento} = (\text{valor})$

- MUESTRA

Para el aro #1

$t^{\circ}\text{ablandamiento} = 48^{\circ}\text{C}$

Para el aro #2

$$t^{\circ}_{ablandamiento} = 49^{\circ}C$$

#### 4.4.8 Análisis de Resultados

- ¿Cómo se determina el envejecimiento de un pavimento a partir del punto de ablandamiento?
- ¿De qué nos sirve saber la temperatura a la cual fluye el asfalto dentro de la mezcla ya puesto en obra?



**ANEXO #10 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL ASFALTO  
 INV E-172-07

**Elaborado Por:**

**Fecha:**

Identificación Muestra	Aros utilizados	Temp. de ablandamiento del asfalto (°C)
1	No 1	48
	No 2	49
2	No 1	48
	No 2	49
3	No 1	50
	No 2	51
4	No 1	47
	No 2	48
5	No 1	49
	No 2	50

## REFERENCIAS

AASHTO T 53-96 Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus).

ASTM D39-95 Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus).

Padilla Rodríguez, Alejandro. Materiales Básicos [en línea]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. [Consultado 15 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>.

## 4.5 DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. (INV E-702-07)

### Introducción

El procedimiento consiste en formar una probeta de cemento asfáltico con dimensiones determinadas y someterlas a un proceso de elongación. Este proceso se efectúa a una temperatura normalizada de 25°C y a una velocidad de 5 cm/min. El ensaye de ductilidad nos da la distancia a la cual se rompe la muestra y se mide en cm.

#### 4.5.1 Objetivos

Objetivo general

- Procedimiento para determinar la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.

Objetivos Específicos

- Someter una probeta de material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad.
- El ensayo se realiza con una velocidad de tracción de  $50 \pm 2.5$  mm por minuto y una temperatura de  $25 \pm 5$  °C, aunque se puede realizar en otras condiciones de temperatura, debiendo concretarse en este caso la velocidad correspondiente.

#### 4.5.2 Aplicaciones

- Asfaltos para pavimentación de vías.
- Asfaltos para realizar juntas selladoras en muros.
- Aplicaciones Industriales.

### 4.5.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Moldes



**Foto 4.5.3-1**

- Plato Base



**Foto 4.5.3-2**

- Baño de agua



**Foto 4.5.3-3**

- Ductilómetro



**Foto 4.5.3-4**

- Termómetro



**Foto 4.5.3-5**

- Tamiz # 50



**Foto 4.5.3-6**

#### 4.5.4 Base Teórica

La ductilidad se mide por el alargamiento, antes de producirse la rotura de una probeta de material asfáltico estirada por sus extremos con una velocidad constante.

Los materiales asfálticos están sometidos frecuentemente a variaciones de temperatura que le provocan cambios dimensionales, para esto es necesario que el material asfáltico tenga suficiente ductilidad para alargarse sin que se produzcan grietas. Una ductilidad excesiva tampoco es conveniente debido a que se corre el riesgo de que se presenten ondulaciones por efectos de las cargas del tráfico.<sup>23</sup>

#### 4.5.5 Recomendaciones

- La norma recomienda pasar el material bituminoso en estado líquido por el tamiz # 50 antes de verter al molde, pero por experiencia y enseñanza del personal encargado del laboratorio no se hace en la práctica ya que se supone que el material viene limpio y además este proceso es engorroso.
- Es necesario el uso de protección como: guantes, bata y pinzas a la hora de realizar los ensayos.

#### 4.5.6 Procedimiento

- a) Primero tomamos la placa o vasija plana y cubrimos su superficie con material aislante (grasa), enseguida cubrimos las paredes de las piezas laterales con el mismo material y armamos el molde sobre la vasija, teniendo en cuenta que las pinzas no llevan dicho material (grasa).

---

<sup>23</sup> Padilla Rodríguez, Alejandro. Materiales Básicos [en línea]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. [Consultado 15 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>



**Foto 4.5.6-1**



**Foto 4.5.6-2**

- b) Luego se utilizara material bituminoso que esté limpio totalmente para realizar este ensayo, enseguida preparamos la muestra calentándola en estufa u horno previendo que su temperatura no sobrepase los 110° C.



**Foto 4.5.6-3**

- c) Ahora tomamos el material bituminoso o asfalto y se llenan el molde en forma de chorro fino de extremo a extremo.

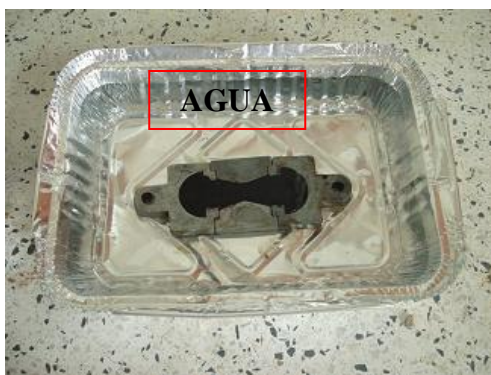


**Foto 4.5.6-4**

- d) Dejamos enfriar la probeta durante 30 o 40 minutos en un lugar libre de polvo o agentes externos, pasado el tiempo la introducimos en el baño de agua a temperatura de  $25 \pm 5$  °C durante otros 30 minutos.



**Foto 4.5.6-5**



**Foto 4.5.6-6**

- e) Se retira el molde de la vasija y con una espátula caliente retiramos el exceso de material bituminoso del molde (si lo hay). Luego se introduce de nuevo el molde en el baño de agua pero esta vez la del ductilómetro aproximadamente 80 minutos.



**Foto 4.5.6-7**

- f) Se acopla el molde en el ductilómetro y se retiran las piezas laterales.



**Foto 4.5.6-8**

- g) Por último se enciende el ductilómetro y se toma el dato al cual falla el material bituminoso, es decir cuando el hilo de asfalto más delgado rompa por tracción.



**Foto 4.5.6-9**



**Foto 4.5.6-10**



**Foto 4.5.6-11**

#### **4.5.7 Datos y Resultados**

Para el cálculo de la ductilidad solo debemos colocar los siguientes resultados.

Para una temperatura media de 25 °C y una velocidad del ductilómetro de 50 mm por minuto, se obtuvo el siguiente alargamiento:

$$L_{cm} = 122 \text{ cm.}$$

#### 4.5.8 Análisis de Resultados

- ¿Cuál debe ser el rango de elongación permitida para los diferentes tipos de asfalto?
- ¿Cuánto fue el valor obtenido de elongación durante el ensayo realizado?
- ¿Qué podemos concluir de la ductilidad del asfalto usado en el ensayo?



**ANEXO #11 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
4.5 DUCTILIDAD EN LOS MATERIALES ASFALTICOS  
Normas INV E 702 – 07

Resultados de ensayos

Presento: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
D: M: A:

Identificación Muestra	Temp. del agua a la cual esta sumergida la muestra (°C)	Longitud de rotura de la muestra (cm)
1	25	125
2	25	119
3	25	123
4		
5		

Vel. Ductilómetro 5 cm/min Long. Promedio de rotura 122.33

## REFERENCIAS

AASHTO T-51 Ductility of Bituminous Materials.

ASTM D113 - 07 Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials.

Padilla Rodríguez, Alejandro. Materiales Básicos [en línea]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 2008. [Consultado 15 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/13/34065-13.pdf>.

## 4.6 LÍMITES DE ATTERBERG. (INV-E-125-07, INV-E-126-07)

### Introducción

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

El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterberg. Ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente.<sup>24</sup>

#### 4.6.1 Objetivos

Objetivo General:

- Determinar el límite plástico y el límite líquido de una determinada muestra de suelo previamente seleccionada.

Objetivos Específicos:

- Determinar el porcentaje de humedad del suelo que ha producido un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro. Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido.
- Conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico.
- Conocer y diferenciar los diferentes estados de consistencia que tiene un suelo susceptible de ser plástico, de acuerdo a su humedad.

#### 4.6.2 Aplicaciones

- Utilización del suelo en la agricultura.
- Estudios de suelos en general.

---

<sup>24</sup> Laboratorio de Mecánica de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería en Construcción. Chile, 1999.

### 4.6.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Vasija de Porcelana



**Foto 4.6.3-1**

- Calibrador



**Foto 4.6.3-2**

- Ranurador



**Foto 4.6.3-3**

- Tamiz N° 40



**Foto 4.6.3-4**

- Espátula



**Foto 4.6.3-5**

- Máquina de Casagrande



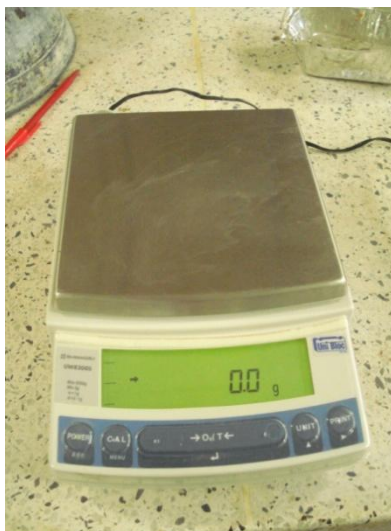
**Foto 4.6.3-6**

- Recipientes para secado de muestras



**Foto 4.6.3-7**

- Balanza



**Foto 4.6.3-8**

- Horno



**Foto 4.6.3-9**

- Probeta



**Foto 4.6.3-10**

- Pipeta



**Foto 4.6.3-11**

#### 4.6.4 Base Teórica

**Limite Líquido:** El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.<sup>25</sup>

**Limite Plástico:** El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El

<sup>25</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Determinación del límite líquido de los suelos. Santa Fe de Bogotá, 1996. INV E-125-07.

índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.<sup>26</sup>

#### 4.6.5 Recomendaciones

- Se debe tratar de usar el aparato de límite líquido con una velocidad de dos golpes por segundo, para lograr resultados confiables.
- Al elaborar la mezcla se debe tener cuidado de agregar el agua lentamente para evitar que se sature la muestra.
- Al realizar los rollitos con el suelo, se debe tener precaución al amasar la muestra para que se estire toda a la vez y mantenga un radio uniforme.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

#### 4.6.6 Procedimiento

Para ambos procedimientos primero que todo debemos tomar una muestra de suelo y esparcirla para dejarla secar al menos 24 horas al aire libre, para luego realizar el tamizado respectivo y tomar la muestra que se menciona a continuación.

##### Límite Líquido:

- a) Se toma una muestra representativa de suelo tamizado cuyo peso sea de 100 gramos y que haya pasado por el tamiz 40.



**Foto 4.6.6-1**

<sup>26</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Limite plástico e índice de plasticidad. Santa Fe de Bogotá, 1996. INV E-126-07.



**Foto 4.6.6-2**

- b) Se coloca la muestra de suelo en la vasija de y se mezcla completamente con 20 ml de agua, se agita y se amasa con una espátula en forma alternada y repetida. Se puede agregar más agua en incrementos de 1 a 3 ml usando la pipeta. Se mezcla completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición hasta obtener una pasta uniforme con buena consistencia.



**Foto 4.6.6-3**



**Foto 4.6.6-4**



**Foto 4.6.6-5**

- c) Después de haber creado la mezcla, se coloca una cantidad adecuada de esta en la cazuela comprimiéndola y se extiende con la espátula para nivelarla y dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor, este espesor se mide con el calibrador. El suelo que sobre se debe devolver al recipiente mezclador y se debe tapar con el fin de que se retenga la humedad de la muestra.



**Foto 4.6.6-6**



**Foto 4.6.6-7**



**Foto 4.6.6-8**

- d) Después de haber nivelado todo el suelo en la cazuela de bronce se debe dividir el suelo con una firme pasada del ranrador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo, de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas, evitando desmoronar o raspar el suelo que está a lado. Se recomienda hacer un máximo de 6 pasadas para dejar bien hecha la ranura.



**Foto 4.6.6-9**



**Foto 4.6.6-10**

- e) Se levanta y golpea la cazuela girando la manija, tratando de mantener una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, se debe anotar el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.



**Foto 4.6.6-11**

- f) Finalmente se saca una pequeña muestra de suelo en forma de tajada triangular y se coloca dentro del tarrito, se toma su peso y después se introduce al horno por un tiempo recomendado de 30 a 40 min mientras se obtiene una masa constante y se le quita toda el agua a la muestra, también se debe pesar después de ser sacado del horno.



**Foto 4.6.6-12**



**Foto 4.6.6-13**



**Foto 4.6.6-14**

Nota: La norma específica que se debe realizar tres veces este procedimiento, lavando cada vez que se realice la prueba el aparato y el ranurador. Además se debe tener en cuenta que para el segundo y tercer ensayo se aumenta la cantidad de agua en la muestra para obtener un mayor estado de fluidez.

#### **Límite Plástico:**

- a) Se toman aproximadamente unos 20 gramos de suelo que pase por el tamiz 40, a este suelo se le agrega agua de manera pausada hasta formar una bola con una buena consistencia, luego se toma una bola de al menos 6 gramos que será la muestra a ensayar.



**Foto 4.6.6-15**



**Foto 4.6.6-16**

- b) Esta bola luego se subdivide en tres partes iguales con las cuales se forman unos rollos que deben tener 3 milímetros de diámetro.



**Foto 4.6.6-17**

- c) Una vez formados los rollitos y al haber llegado a los 3 mm de diámetro sin que estos se destruyan, se debe partir el rollo en unas 6 partes, luego se junta y se

arma de nuevo una bola para volver a hacer rollitos. Este procedimiento se hace repetidamente hasta que al momento de estar haciendo los rollos estos se destruyan.

Hay que tener cuidado de no hacer el rollo de menos de 3 mm en cada uno de estos moldeados.



**Foto 4.6.6-18**



**Foto 4.6.6-19**



**Foto 4.6.6-20**

- d) Una vez se haya podido llevar el suelo al desmoronamiento por falta de consistencia se deben tomar estas pequeñas muestras de suelo en este estado y deben ser introducidas en los tarritos correspondientes, se toma su peso en este estado y luego se meten al horno por un tiempo aproximado de 30 a 40 minutos para poder asegurar que se liberó todo el contenido de humedad en la muestra. Finalmente se toman las medidas de peso de estas muestras en estado seco y se apuntan para poder realizar los cálculos.



**Foto 4.6.6-21**



**Foto 4.6.6-22**

#### 4.6.7 Datos y Resultados

##### Límite Líquido:

- Prueba Tipo

Número de Golpes: 36

Peso Taza: 10.5 gr

Peso muestra húmeda: **A**

Peso muestra seca: **B**

*Cont. de Humedad:*  $\frac{A-B}{B} * 100$

##### Límite Plástico:

- Prueba Tipo

Peso Taza: 10.5 gr

Peso muestra húmeda: **A**

Peso muestra seca: **B**

*Cont. de Humedad:*  $\frac{A-B}{B} * 100$

#### 4.6.8 Análisis de Resultados

- ¿Cuál es la diferencia entre límite líquido y límite plástico?
- ¿Cuáles son los diferentes estados en los que se puede encontrar un suelo?
- ¿Qué podemos decir acerca del índice de plasticidad del suelo ensayado?

**ANEXO #12 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 LIMITES DE ATTERBERG  
 INV E-125-07, INV E-126-07

Elaborado Por: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_

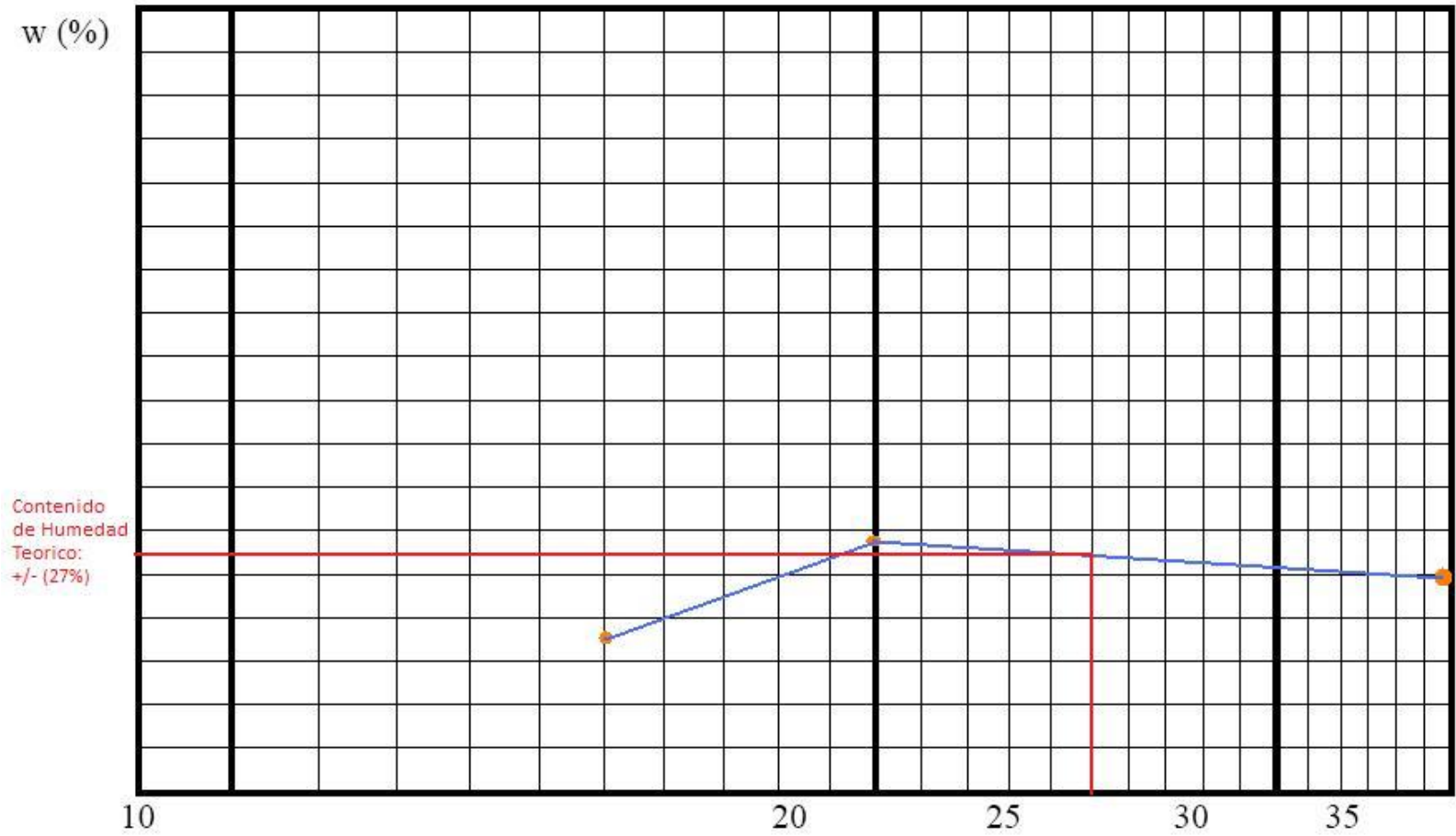
<i>Determinación del Límite Líquido</i>			
Tarro No.	1	2	3
Peso suelo húmedo con Tarrito	26.97	28.10	25.14
Peso suelo seco con Tarrito	23.70	24.20	22.00
Peso de Tarrito	10.50	10.50	10.50
Peso suelo seco	13.20	13.70	11.50
Peso de agua	3.27	3.90	3.14
Contenido de Humedad	24.77%	28.47%	27.30%
Número de golpes	36	20	15

<i>Determinación del límite plástico</i>			
Tarro No.	1	2	3
Peso suelo húmedo con Tarrito	18.50	18.50	16.10
Peso suelo seco con Tarrito	17.40	17.50	15.33
Peso de Tarrito	10.50	10.50	10.50
Peso suelo seco	6.90	7.00	4.83
Peso de agua	1.10	1.00	0.77
Contenido de Humedad	15.94%	14.29%	15.94%

Límite Líquido            26.85%  
 Límite Plástico            15.39%  
 Índice de Plasticidad    11.46%

ANEXO #13 (Grafico de Resultados)

Gráfico % de humedad contra número de golpes



## REFERENCIAS

AASHTO T-89-02 Determining the Liquid Limit of Soils.

AASHTO T 90-00 Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.

ASTM D 4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

Laboratorio de Mecánica de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería en Construcción. Chile, 1999.

## 5. CARACTERIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO

## **5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-673)**

### **Introducción**

El siguiente ensayo se realiza aplicando una carga de compresión a un cilindro de concreto el cual se elabora teniendo en cuenta la resistencia final. En este laboratorio se utiliza la norma INV-410 para el ensayo a compresión y la norma INV-402 para la elaboración de curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión.

#### **5.1.1 Objetivos**

Objetivo general

- Establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cilindros normales de hormigón (diámetro  $150 \pm 3$  mm y altura  $300 \pm 6$  mm).

Objetivos Específicos

- Hallar La resistencia a la compresión del espécimen, que se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.
- Desarrollar un informe con la metodología y la correcta utilización de los equipos.

#### **5.1.2 Aplicaciones**

- Resistencia ultima de concretos para edificaciones y pavimentos.

### 5.1.3 Materiales Y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Balanza



**Foto 5.1.3-1**

- Maquina de ensayo



**Foto 5.1.3-2**

- Deformímetro



**Foto 5.1.3-3**

- Material aislante



**Foto 5.1.3-4**

- Molde del cilindro



**Foto 5.1.3-5**

- Materiales para la muestra



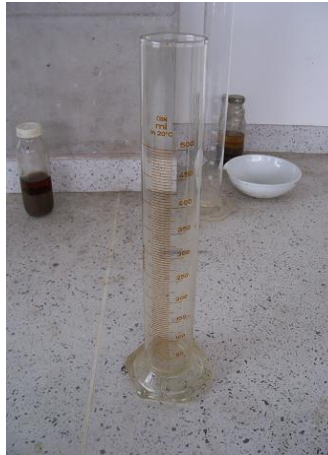
**Foto 5.1.3-6**

- Cemento, arena y agregados.
  - Los agregados para concreto deben cumplir con las normas estandarizadas, y que estén constituidos por granos duros, limpios y libres de: polvo, arcilla, limo, material orgánica, sales solubles y películas de aceite o grasa.
- Palustre



**Foto 5.1.3-7**

- Probeta



**Foto 5.1.3-8**

- Recipientes para muestreo y mezcla



**Foto 5.1.3-9**

- Varilla compactadora



**Foto 5.1.3-10**

Debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla 10 mm (3/8) (norma INV-404, pag.3).

#### 5.1.4 Base Teórica<sup>27</sup>

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo  $f' c$ . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas especímenes de mortero o de concreto.

El hormigón resiste tanto solicitaciones a compresión como a tracción y flexión, pero es la resistencia a compresión la que se destaca y por la que se usa tanto este material en la construcción. Por este motivo, y sin quitar importancia al resto de los ensayos realizados, se considera que éste es el más importante, y del que saldrán los Análisis de Resultados más solicitadas a la hora de construir en obra.

#### 5.1.5 Recomendaciones

- Para realizar el ensayo a compresión del cilindro se tiene que revisar la norma INV-402 "Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión".
- El cilindro debe ensayarse tan pronto como se saca del agua (en estado húmedo).
- El ensayo a compresión se le puede realizar a suelos (norma INV-152), para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remodeladas.
- Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.

---

<sup>27</sup> Resistencia del concreto [en línea]. República Dominicana .Architects Site, 2008. [Consultado 28 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.arqhys.com/resistencia-concreto.html>.

### 5.1.6 Procedimiento

a) Como primera medida debemos elaborar la probeta cilíndrica para poder realizar el ensayo a compresión (norma INV-402). Tomamos los materiales que componen el cilindro: agua, cemento, agregado fino, agregado grueso. Esta cantidad depende de la resistencia última que se quiera obtener. Para el ejemplo tomamos como resistencia última un concreto de 3000 psi (libras/pulgada<sup>2</sup>). Se realizaron los siguientes cálculos para determinar la cantidad de material para el cilindro.

- Volumen de material para 1m<sup>3</sup> de concreto de 3000 PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>).

*Para 1m<sup>3</sup> de concreto Dosificación según el laboratorio.*

$$\begin{aligned}
 1m^3 &\rightarrow 200 \text{ kg agua} \\
 1m^3 &\rightarrow 377 \text{ kg cemento} \\
 1m^3 &\rightarrow 754 \text{ kg de agregado fino} \\
 1m^3 &\rightarrow 1056 \text{ kg agregado de grueso}
 \end{aligned}$$

- Volumen del cilindro a ensamblar.

Diámetro sección de: 150 mm.

Altura: 300 mm.

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen cilindro: } &\pi \times r^2 \times h \\
 \text{Vol. cilindro: } &\pi \times 0.075^2 \times 0.3 \\
 \text{Vol. cilindro: } &0.0053 \text{ m}^3 \approx 0.006 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Regla de tres simple comparando el material a utilizar en el cilindro con respecto al utilizado en el concreto de 3000 PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>).

$$\begin{aligned}
 1m^3 &\rightarrow 200 \text{ kg agua} \\
 0.006 \text{ m}^3 &\rightarrow x \text{ de kg agua} \\
 x: &1.2 \text{ kg de agua}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1m^3 &\rightarrow 377 \text{ kg de cemento} \\
 0.006 \text{ m}^3 &\rightarrow x \text{ de cemento} \\
 x: &2.262 \text{ kg de cemento}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &\rightarrow 754 \text{ kg de agregado fino} \\ 0.006 \text{ m}^3 &\rightarrow x \text{ de agregado fino} \\ x &: 4.524 \text{ kg de agregado fino} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &\rightarrow 1056 \text{ kg de agregado grueso} \\ 0.006 \text{ m}^3 &\rightarrow x \text{ de agregado grueso} \\ x &: 6.336 \text{ kg de agregado grueso} \end{aligned}$$

b) Pesaje de los materiales que componen el cilindro.



**Foto 5.1.6-1**

- c) Una vez pesado y puesto aparte cada material se continúa con la preparación del molde del cilindro recubriendo con una capa de material aislante (aceite mineral o grasa) dentro de este con el fin facilitar su desmonte e impedir la adherencia.
- d) Ahora se vierte el agregado fino sobre el recipiente para muestreo y mezcla, haciendo un hoyo en su centro donde seguidamente se vierte el cemento y se mezcla de tal manera que quede lo más homogéneo posible.



**Foto 5.1.6-2**



**Foto 5.1.6-3**

- e) Al igual que el paso anterior se hace un hoyo en el centro con la mezcla de agregado fino y cemento, y se vierte el agregado grueso mezclando lo más homogéneo posible.



**Foto 5.1.6-4**

- f) Luego tomamos la cantidad de agua calculada para el diseño del cilindro y la vamos vertiendo al igual que la vamos mezclando, este proceso se terminara hasta que la apariencia de la mezcla sea lo más homogéneo posible.



**Foto 5.1.6-5**



**Foto 5.1.6-6**

- g) Luego usaremos el método de compactación por medio de la varilla, según la tabla 1 y 2 (INV E-402) se difunde el concreto sobre el cilindro en **3** capas iguales precedida cada una de **25** golpes con la varilla compactadora (para la muestra de ejemplo).

**Tabla 5.1.6-1: Número de Capas de Llenado para Cilindros de Hormigón**

Cilindros, Diámetro mm (pul.)		
Tamaño	Método	# capas
75 a 100 (3 a 4)	Apisonado	2
150 (6)	Apisonado	3
225 (9)	Apisonado	4

**Fuente: Norma Icontec 550**

**Apisonado de Cilindros de hormigón (Fuente: Norma Icontec 550)**

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas <sup>2</sup> )	Diámetro de la varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
50 (2) a < 150 (6)	10 (3/8)	25 golpes

150 (6)	16 (5/8)	25 golpes
200 (8)	16 (5/8)	50 golpes
250 (10)	16 (5/8)	75 golpes

**Tabla 5.1.6-2**

Para la muestra ensayada:

*Diámetro: 150 mm.*

*Apisonado: 3*

*Diámetro del cilindro : 150 mm.*

*Numero de golpes: 25 golpes*



**Foto 5.1.6-7**

- h) Ahora enrazamos con la espátula y colocamos el cilindro en un lugar fresco y seco durante  $20 \pm 4$  horas con temperatura entre 16 y 27 °C, una vez terminado el fraguado se desmonta la probeta y la colocamos en agua durante 7, 14 o 28 según el día de su prueba a compresión.



**Foto 5.1.6-8**



**Foto 5.1.6-9**

- i) Una vez pasado el tiempo al cual decidimos probarla (14 días) se saca del agua.
- j) Se limpian los apoyos de las bases del cilindro y se revisan que estos estén lo más uniforme posible en sus caras de apoyo (las bases deben estar plana en un margen de 0.05 mm). De lo contrario deben refrendarse con la norma ICONTEC 504.
- k) Se coloca el cilindro sobre la placa inferior y se alinea su eje con el de la rotula de la placa superior, luego se gira para que hasta que haga contacto.



**Foto 5.1.6-10**

- l) Ahora colocamos el deformímetro alrededor de la probeta, de tal manera que quede bien fijada, asegurándola con las tuercas que tiene tanto en la parte superior, como en la inferior.



**Foto 5.1.6-11**

- m) Por último se aplica la carga de forma continua (norma INV-410-7 numeral. 5.5) hasta que el cilindro falle, se anota el valor de la curva máxima, el tipo de falla y la apariencia del hormigón.



**Foto 5.1.6-12**



**Foto 5.1.6-13**

### 5.1.7 Datos y Resultados

Para el cálculo de la resistencia a la compresión del cilindro se debe calcular las siguientes variables.

- Número de identificación del cilindro:
- Área efectiva del cilindro:
- Edad del cilindro:
- Resistencia última (kg).
- Resistencia a la compresión ( $\sigma$ ) (Mpa, Psi (libras/pulgada<sup>2</sup>), Kgf/cm<sup>2</sup>).

#### PARA LA MUESTRA

Número de identificación: 1

área efectiva:  $\pi \times r^2 \rightarrow 176.71 \text{ cm}^2$

*edad del cilindro: 14 días*

*resistencia última: 29500 kg*

$$\sigma \left( \frac{kgf}{cm^2} \right) = \frac{29500}{176.71} = 166.94 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma_{teorica\ 14\ días} (Psi) = 2400 \frac{lb_f}{Pulg.^2}$$

La resistencia ultima que dio a los 14 días en el ensayo fue del 79.15 % con respecto a la teórica.

La resistencia ultima para un concreto de 3000 Psi (libras/pulgada<sup>2</sup>), a los 14 días debe ser aproximadamente del 80 % de los 3000 Psi (2400 Psi).

### 5.1.8 Análisis de Resultados

- ¿La alineación incorrecta de las probetas en la máquina de ensayo es un factor que puede afectar la resistencia a la compresión?
- ¿La forma de la fisura que se da en la probeta al fallar tiene algún significado?
- ¿Qué pasa si hay partículas redondeadas en el material grueso del cilindro?
- ¿Por qué se debe lavar el material antes de elaborar la probeta cilíndrica?



**ANEXO #14 (Tabla 1 de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE  
 CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN  
 NTC-673,INV E 402-07

Elaborado Por:

Fecha:

A B= A/área C=B\*14,2232

Identificación Probeta	Fecha de fundición			Fecha de ruptura			Edad muestra	Resistencia ultima	Esfuerzo	Ultimo
	Numero	Año	Mes	Día	Año	Mes	Día	Días	Kg	Kg/ cm <sup>2</sup>
1	2008	9	15	2008	9	29	14	29500	166.94	2374.424
2	2008	9	15	2008	10	12	28	38000	215.04	3058.58

$$\sigma (Psi) = X \frac{kgf}{cm^2} \times \frac{2.2046 lbf}{1 kgf} \times \frac{1 cm^2}{0.1550 pulg.^2} = X \frac{lbf}{pulg.^2} (Psi)$$

constante  
14.2232

Forma de la Probeta Cilindrica Área 176.71 cm<sup>2</sup>

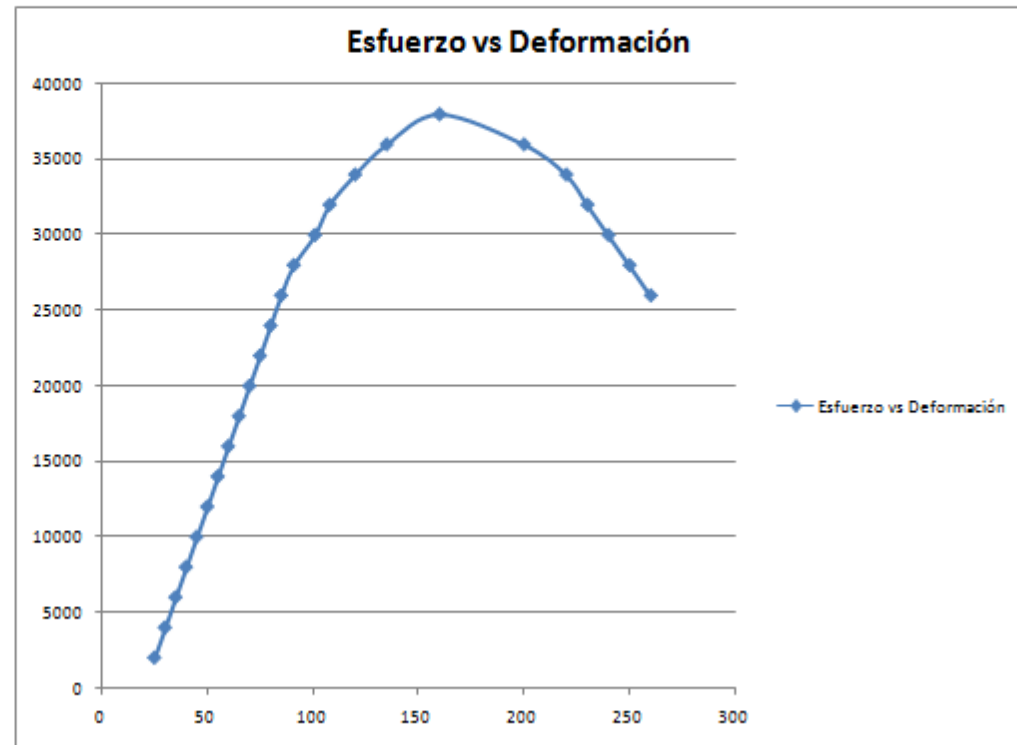
Observaciones

**ANEXO #15 (Tabla 2 de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE RESISTENCIA Y COMPRESIÓN DE  
 CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN  
 NTC-673,INV E 402-07

Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Ton)	Deformación (1/10 Pulg.)
2000	2	25
4000	4	30
6000	6	35
8000	8	40
10000	10	45
12000	12	50
14000	14	55
16000	16	60
18000	18	65
20000	20	70
22000	22	75
24000	24	80
26000	26	85
28000	28	91
30000	30	101
32000	32	108
34000	34	120
36000	36	135
38000	38	160
36000	40	200
34000	42	220
32000	44	230
30000	46	240
28000	48	250
26000	50	260



## REFERENCIAS

ASTM C 39-66 Compressive Strength of Molded Concrete Cylinders.

ICONTEC 504: Refrentado de Cilindros de Hormigón.

Resistencia del concreto [en línea]. República Dominicana .Architects Site, 2008.  
[Consultado 28 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet:  
<http://www.arqhys.com/resistencia-concreto.html>.

## 5.2 ENSAYO DE TRACCIÓN PARA PRODUCTOS DE ACERO. (ENSAYO #2 NTC-ACERO DE REFUERZO) Y MODULO DE RIGIDEZ.

### Introducción

Para conocer las cargas que pueden soportar los materiales, se efectúan ensayos para medir su comportamiento en distintas situaciones. El ensayo destructivo más importante es el ensayo de tracción, en donde se coloca una probeta en una máquina de ensayo consistente de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.

#### 5.2.1 Objetivos

Objetivo General:

- Establecer el método de ensayo para todos los productos de acero.

Objetivos Específicos:

- Aprender a utilizar la maquina universal de ensayo para el método de tracción.
- Analizar el comportamiento de las diferentes probetas debido a la carga aplicada.
- Analizar el comportamiento y la relación esfuerzo-deformación de los diferentes productos de acero.
- Hallar la carga máxima de rotura a la cual puede someterse el material.
- Analizar e interpretar la importancia del modulo de rigidez en la caracterización de los materiales.

#### 5.2.2 Aplicaciones

- Resistencia de aceros para refuerzo estructural.
- Resistencia de elementos para estructuras metálicas.

### 5.2.3 Materiales Y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Calibrador



**Foto 5.2.3-1**

- Extensómetro



**Foto 5.2.3-2**

- Deformímetro



**Foto 5.2.3-3**

- Maquina Universal de Ensayo



**Foto 5.2.3-4**

- Probetas



**Foto 5.2.3-5**

#### 5.2.4 Base Teórica<sup>28</sup>

El esfuerzo de tracción es en cualquier instante, el cociente entre la carga y el área de la sección transversal y el área de sección transversal inicial de la probeta.

El esfuerzo máximo de tracción es el cociente entre la carga máxima y el área de la sección transversal inicial de la probeta.

<sup>28</sup> Ensayo de Tracción [en línea]. Medellín. Laboratorio de Suelos, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2008. [Consultado 21 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: [http://materiales.eia.edu.co/laboratorios/traccion/ensayo\\_de\\_traccion1.htm](http://materiales.eia.edu.co/laboratorios/traccion/ensayo_de_traccion1.htm)

El límite de fluencia se da cuando se genera una caída o estabilización de la carga, el esfuerzo correspondiente a al valor más alto de dicha carga se denomina “límite superior de fluencia”.

La curva de esfuerzo deformación ingenieril o nominal se obtiene a partir de las medidas de carga y alargamiento. El valor del esfuerzo que soporta el material se define como  $s = p / a_0$ .

El alargamiento es la variación de la longitud  $d_l = l_f - l_0$  y la deformación nominal se define como  $e = d_l / l_0$  entonces  $e = (l_f - l_0) / l_0$ .

Todos los materiales metálicos tienen una combinación de comportamiento elástico y plástico en mayor o menor proporción.

Elasticidad: es la propiedad de un material en virtud de la cual las deformaciones causadas por la aplicación de una fuerza desaparecen cuando cesa la acción de la fuerza.

Plasticidad: es aquella propiedad que permite al material soportar una deformación permanente sin fracturarse.

Todo cuerpo al soportar una fuerza aplicada trata de deformarse en el sentido de aplicación de la fuerza. En el caso del ensayo de tracción, la fuerza se aplica en dirección del eje de ella y por eso se denomina axial, la probeta se alargara en dirección de su longitud y se encogerá en el sentido o plano perpendicular. Aunque el esfuerzo y la deformación ocurren simultáneamente en el ensayo, los dos conceptos son completamente distintos.

El valor del modulo es una medida de la rigidez del material, entre mayor pendiente tenga la curva más rígido será el material.

### 5.2.5 Recomendaciones

- Las dimensiones de las probetas de aceros deben ser revisadas de acuerdo a la normatividad existente(NTC-2 Aceros)
- Para efectos de seguridad, debe hacerse un acompañamiento de personal competente en el uso de la máquina de ensayo para evitar accidentes.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

### 5.2.6 Procedimiento

- a) Lo primero que se debe hacer es tomar las probetas y chequear sus medidas para verificar que están dentro de los rangos normales.



**Foto 5.2.6-1**

- b) Luego de determinar la luz útil de la muestra, se deben realizar dos marcas dentro de esta, una al inicio y otra al final; luego se toma esta medida.



**Foto 5.2.6-2**

- c) Ahora adecuamos la probeta en la maquina, colocando los anillos en las dos puntas de la probeta para encajarla en la maquina.



**Foto 5.2.6-3**

- d) Se instala el extensómetro y el deformímetro en la maquina y en la probeta respectivamente, luego de haber calibrado estos instrumentos en cero, iniciamos la aplicación de la carga y se toman lecturas del deformímetro y del extensómetro para encontrar el límite de fluencia, la carga ultima de rotura y la carga máxima.



**Foto 5.2.6-4**

- e) Finalmente se toman las probetas falladas y se mide la longitud entre las marcas realizadas inicialmente, para poder obtener el porcentaje de elongación.



**Foto 5.2.6-5**

Este procedimiento completo se realizará para dos materiales diferentes para realizar un comparativo.

### 5.2.7 Datos y Resultados

#### Diámetros (d)

$$d_o = 16.06 \text{ mm}$$

$$d_f = 16.06 \text{ mm}$$

#### Longitud Útil ( $L_o$ )

$$L_o = 105.78 \text{ mm}$$

$$L_f = 142.4 \text{ mm}$$

#### Longitud Total ( $L_t$ )

$$L_{to} = 198 \text{ mm}$$

$$L_{tf} = 236 \text{ mm}$$

### 5.2.8 Análisis de Resultados

- Según los resultados de la curva esfuerzo-deformación ¿Qué tipo de material se usó en la probeta?
- ¿Cuál es la diferencia entre un material dúctil y uno frágil?
- ¿Cuál es la diferencia entre la carga máxima y la carga última de rotura?
- ¿Cuál es el material más rígido de los ensayados en la prueba, porque?

**ANEXO # 16 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE TRACCION PARA PRODUCTOS DE ACERO.  
 (ENSAYO #2 NTC-ACERO DE REFUERZO) Y MODULO DE RIGIDEZ

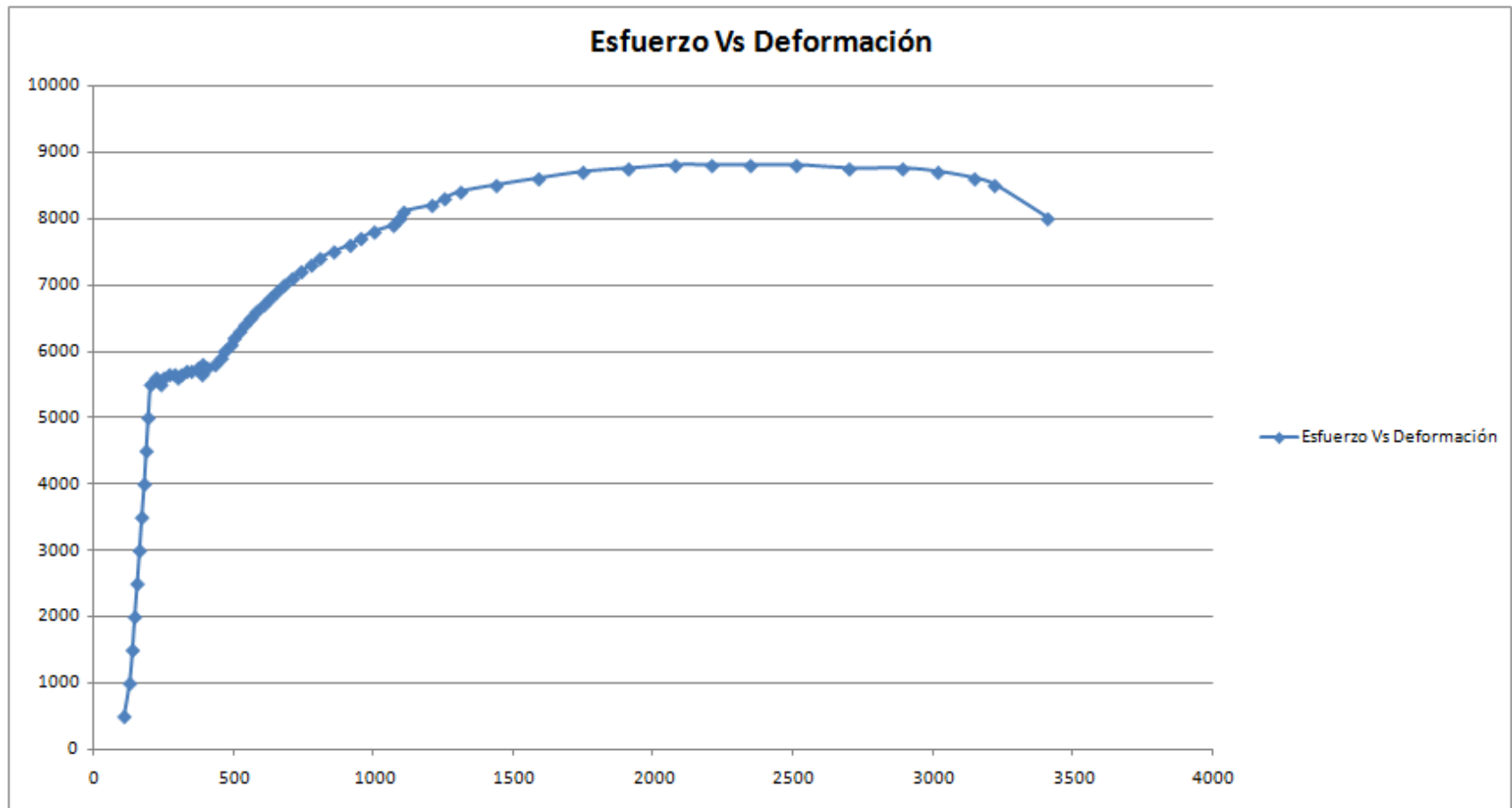
Elaborado Por: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_

Diametro Inicial (do)	<u>16.06</u> mm	Diametro Final (do)	<u>9.09</u> mm	Esfuerzo Fluencia (kg)	<u>5600</u>
Longitud Inicial (Lo)	<u>105.78</u> mm	Longitud Final (Lo)	<u>142.4</u> mm	Esfuerzo Ultimo (kg)	<u>8800</u>
Longitud Total Inicial (Lto)	<u>198</u> mm	Longitud Total Final (Lto)	<u>236</u> mm	Fractura (kg)	<u>8000</u>

Tipo de Material: Acero Punto de Fluencia  

Fuerza (Kg)	Deformacion (1/10 mm)	Extensometro (1/10 mm)	Fuerza (Kg)	Deformacion (1/10 mm)	Fuerza (Kg)	Deformacion (1/10 mm)	Fuerza (Kg)	Deformacion (1/10 mm)
500	110	0.0	5650	389	7400	810	8750	2892
1000	130	1.0	5750	375	7500	860	8700	3018
1500	140	2.0	5800	391	7600	918	8600	3149
2000	148	2.3	5750	407	7700	956	8500	3220
2500	157	2.5	5800	436	7800	1004	8000	3410
3000	165	3.0	5900	458	7900	1073		
3500	173	3.5	6000	469	8000	1095		
4000	182	4.0	6100	493	8100	1109		
4500	189	4.1	6200	504	8200	1210		
5000	196	4.5	6300	524	8300	1255		
5500	205	4.7	6400	542	8400	1313		
5600	225	4.7	6500	563	8500	1440		
5500	242		6600	583	8600	1591		
5600	252		6700	610	8700	1750		
5650	272		6800	633	8750	1912		
5650	292		6900	657	8800	2080		
5600	303		7000	683	8800	2210		
5650	315		7100	712	8800	2348		
5700	334		7200	743	8800	2512		
5700	351		7300	779	8750	2701		

ANEXO # 17 (Grafico de Resultados)



## REFERENCIAS

ASTM A 370 Methods and Definitions for Chemical Testing of Steel Products.

COPANT R 2 Ensayo de Tracción para Acero.

Ensayo de Tracción [en línea]. Medellín. Laboratorio de Suelos, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2008. [Consultado 21 de Octubre, 2008]. Disponible en Internet: [http://materiales.eia.edu.co/laboratorios/traccion/ensayo\\_de\\_traccion1.htm](http://materiales.eia.edu.co/laboratorios/traccion/ensayo_de_traccion1.htm).

ISO R 89 Tensile testing of Steel Wire.

### 5.3 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO (MÉTODO DE CORTE DIRECTO). (INV E-154-07)

#### Introducción

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Para poder determinar esta resistencia en el laboratorio usamos el aparato de corte directo, el cual posee una cajita donde se coloca la muestra junto con piedras porosas en ambos extremos, para luego aplicar las diferentes cargas y observar el comportamiento de los suelos bajo los diferentes estados de carga vertical y horizontal. Este tipo de ensayo puede ser realizado en suelos arenosos y arcillosos.

#### 5.3.1 Objetivos

Objetivo General:

- El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo, empleando el método de corte directo.

Objetivos Específicos:

- Determinar la cohesión de la muestra que se ensaya e interpretar su resultado.
- Determinar el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y entender su importante significado como propiedad única de cada tipo de suelo.
- Determinar el esfuerzo de corte para las diferentes condiciones de carga aplicadas en las muestras de suelo obtenidas.

#### 5.3.2 Aplicaciones

- Estudios para estabilidad de taludes.
- Capacidad de carga de un suelo.

### 5.3.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Muestra natural de Suelo



**Foto 5.3.3-1**

- Aparato de Corte Directo



**Foto 5.3.3-2**

- Pesas



**Foto 5.3.3-3**

- Caja de Corte (Incluye Piedras Porosas)



**Foto 5.3.3-4**

- Caucho para separación de muestras



**Foto 5.3.3-5**

- Segueta



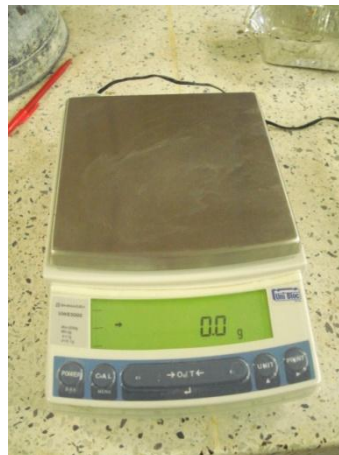
**Foto 5.3.3-6**

- Anillos de Acero para toma de muestras.



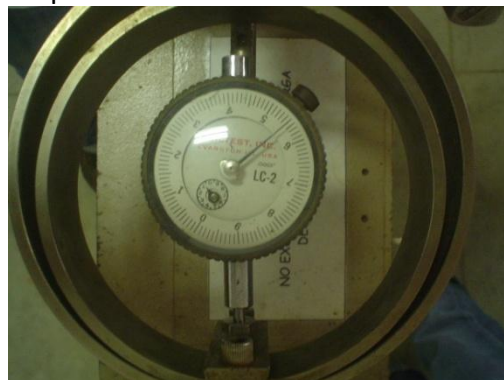
**Foto 5.3.3-7**

- Balanza



**Foto 5.3.3-8**

- Medidores de carga y desplazamiento



**Foto 5.3.3-9**



**Foto 5.3.3-10**

#### 5.3.4 Base Teórica

Los ensayos de corte directo en laboratorio se pueden clasificar en tres tipos según exista drenaje y/o consolidación de la muestra, por lo tanto los valores de  $C$  y  $\phi$  dependen esencialmente de la velocidad del ensayo y de la permeabilidad del suelo.

- **Ensayo no consolidado no drenado(UU):**  
Es un ensayo rápido, donde el corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo una carga normal ( $P_v$ ); si el suelo es cohesivo y saturado, se desarrollara exceso de presión de poros. Generalmente la recta intrínseca en el diagrama de  $\tau$  contra  $\sigma$  es horizontal, donde  $\tau=C_u$ . No se permite el drenaje de la muestra en todo el ensayo.
- **Ensayo consolidado no drenado (CU):**  
En este ensayo se permite que la muestra drene ó se consolide durante la aplicación de la carga vertical, de modo que en el momento de aplicar el esfuerzo de corte las presiones intersticiales sean nulas. La tensión de corte es rápida para que la presión de poros no pueda disiparse en el transcurso del ensayo. Estos ensayos no se usan en suelos permeables y es necesario medir el movimiento vertical durante la consolidación (drenaje) para saber cuándo se ha producido por completo.
- **Ensayo consolidado drenado(CD):**  
La velocidad de corte es lenta, se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo siendo las presiones intersticiales nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante ( $\mu=0$ ), esto implica que:  $\sigma=\sigma'$ ,  $c=c'$ ,  $\phi=\phi'$ .

Por otro lado, según la forma en que se aplica el esfuerzo horizontal, los ensayos de corte se pueden clasificar en dos tipos.

- Ensayos de esfuerzo controlado: Se aplica el esfuerzo horizontal, se miden las deformaciones hasta llegar hasta la estabilización, luego se aumenta la fuerza horizontal y así sucesivamente, hasta que llega el momento en que las deformaciones no se estabilizan, lo que nos indica que hemos sobrepasado la carga de rotura.
- Ensayos de deformación controlada: La mitad móvil de la caja se desplaza a una velocidad determinada; los esfuerzos horizontales se van midiendo con un anillo de carga conectado en serie con la fuerza horizontal<sup>29</sup>.

### 5.3.5 Recomendaciones

- En la toma de la muestra, se debe sellar bien el tubo con el suelo para evitar que pierda su humedad natural.
- Es importante que la muestra de suelo natural se ensaye en el menor tiempo posible, ya que de esta manera los parámetros evaluados tendrán resultados más confiables.
- Al introducir los anillos en la muestra de suelo, se debe hacer con máximo cuidado, evitando así que estas se alteren. La idea es simular las condiciones naturales del suelo y esa debe ser una premisa durante la elaboración de todo el ensayo.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

### 5.3.6 Procedimiento

- a) Se debe tomar un tubo de al menos 4" en PVC para enterrarlo en el suelo y obtener una muestra inalterada de suelo natural, después de desenterrarlo se debe sellar por ambos lados con parafina para evitar pérdidas de humedad.

---

<sup>29</sup> ESPINACE, R.; KRAMER, P. Curso de Ensayos Habituales de Mecánica de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile, 1988



**Foto 5.3.6-1**

- b) Después de tener esta muestra, se debe llevar a una prensa para mantenerla totalmente quieta y así poder realizar los cortes de 3 muestras de suelo con un espesor de al menos 5 cm.



**Foto 5.3.6-2**



**Foto 5.3.6-3**



**Foto 5.3.6-4**

- c) Una vez obtenidas estas tres muestras, se procede a insertar los anillos, evitando al máximo alterar o dañar las condiciones naturales del suelo.



**Foto 5.3.6-5**



**Foto 5.3.6-6**

- d) Luego de haber insertado los anillos en cada muestra cortada, se toma el suelo que esta alrededor y por fuera del anillo metálico, sacándolo poco a poco para extraer

solo la muestra de suelo contenida dentro del anillo, la cual será la muestra definitiva para la realización de la prueba.



**Foto 5.3.6-7**



**Foto 5.3.6-8**

- e) Ahora debemos tomar el peso de la muestra (incluido el anillo), de tal forma que al final del ensayo podamos tomar el peso seco de la misma y obtener su porcentaje de humedad.



**Foto 5.3.6-9**

- f) Ahora debemos introducir la muestra del anillo dentro de la caja de corte de la maquina, para esto empleamos el caucho por medio del cual podemos ejercer una presión uniforme sobre toda la muestra para no dañarla.



**Foto 5.3.6-10**

Nota: se pueden colocar unas guías en la caja de corte para evitar su desplazamiento antes de comenzar el ensayo.



**Foto 5.3.6-11**



**Foto 5.3.6-12**



**Foto 5.3.6-13**

- g) Lo siguiente que se debe hacer es instalar la caja de corte dentro de la maquina y ajustar la barra que se desplaza horizontalmente justo al lado de la caja de corte para poder empezar a medir el desplazamiento de la muestra, además antes de empezar se tienen que cuadrar en cero el medidor de desplazamiento y el anillo de carga.



**Foto 5.3.6-14**

Nota: No se debe olvidar poner las cargas verticales, mediante las pesas ni retirar las puntillas antes de comenzar a aplicar la carga horizontal.

- h) Para usar la maquina se empieza a dar vueltas a la manivela y se maneja con una velocidad preseleccionada controlando esto mediante el medidor de desplazamiento previamente instalado.



**Foto 5.3.6-15**

Nota: Se deben seleccionar los valores de deformación en los cuales se tomara la lectura de la carga aplicada.

- i) La prueba se termina en el momento que la aguja del medidor de carga empiece a marcar resultados muy parecidos, otra forma de notarlo también es cuando la aguja se empieza a devolver en forma significativa. Finalmente se saca la muestra del aparato.



**Foto 5.3.6-16**

- j) Para terminar, se toma la muestra de suelo, se lleva al horno por un tiempo de 24 horas y se saca nuevamente para determinar su peso.



**Foto 5.3.6-16**



**Foto 5.3.6-17**

**Nota:** Este procedimiento se debe realizar 3 veces, variando la masa de las pesas que ejercen la fuerza vertical, para este caso trabajamos con 8kg, 16Kg y 32 Kg.

### 5.3.7 Datos y Resultados

Para las tres muestras se realizaron cortes directos bajo diferentes condiciones de carga.

Muestra # 1

- Peso Anillo: 58.78 gr
- Peso Inicial Suelo: 111.59 gr
- Peso Suelo Seco: 94.88 gr
- Contenido de Humedad: 14.97%
- Fuerza de Corte: 117.31 N
- Área Inicial: 30.39  $mm^2$

- Esfuerzo Cortante: 117.31/30.39
- Esfuerzo Cortante: 3.86 Mpa

$$\text{Cont. Humedad: } \frac{\text{Peso Agua Evaporada}}{\text{Peso Muestra en Estado Natural}}$$

$$\text{Esfuerzo Cortante: } \frac{\text{Fuerza de Corte}}{\text{Area Transversal Muestra}}$$

### 5.3.8 Análisis de Resultados

- ¿Cómo determinamos la cohesión del suelo?
- ¿Cuál es la capacidad portante del suelo?
- ¿Cuál es ángulo de fricción del suelo?



**ANEXO #18 (Tabla 1 de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
 INV E-154-07

Elaborado por: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

<i>Datos Generales</i>										
Anillo	Diametro Superior (cm)	Diametro Central (cm)	Diametro Inferior (cm)	Diametro Promedio (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Altura Media (cm)	Peso Anillo (gr)	Peso Muestra y Anillo (gr)	Peso Muestra (gr)	Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )
1	6.321	6.221	6.120	6.221	30.392	2.4	58.78	170.37	111.59	72.942
2	6.388	6.400	6.412	6.400	32.170	2.0	60.52	192.78	132.26	64.340
3	6.242	6.281	6.320	6.281	30.985	2.2	75.64	201.88	126.24	68.166

<i>Propiedades de la Muestra</i>								
Muestra	Peso de Tara (gr)	Peso Tara y Suelo Humedo (gr)	Peso Tara y Suelo Seco (gr)	Peso Agua (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)	Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	12.25	123.84	107.13	16.71	94.88	14.97%	1.530	1.301
2	12.25	144.51	122.77	21.74	110.52	16.44%	2.056	1.718
3	12.25	138.49	116.97	21.52	104.72	17.05%	1.852	1.536



**ANEXO #19 (Tabla 2 de Resultados)**

**Carga Vertical (kg) 8**

<i>Prueba de Corte # 1</i>				
Tiempo (seg)	Deformacion Horizontal	Lineas de Carga	Carga (kg)	Carga (N)
15	10	31	4.368	43.683
30	20	41	5.841	58.407
45	30	44	6.282	62.825
60	40	49	7.019	70.187
75	50	55	7.902	79.022
90	60	60	8.638	86.384
105	70	64	9.227	92.274
120	80	67	9.669	96.691
135	90	70	10.111	101.108
150	100	72	10.405	104.053
165	110	74	10.700	106.998
180	120	77	11.142	111.415
195	130	79	11.436	114.360
210	140	81	11.731	117.305
Esfuerzo Normal			0.263 Kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo Cortante			0.386 Kg/cm <sup>2</sup>	

**Carga Vertical (kg) 16**

<i>Prueba de Corte # 2</i>				
Tiempo (seg)	Deformacion Horizontal	Lineas de Carga	Carga (kg)	Carga (N)
15	10	45	6.430	64.297
30	20	56	8.049	80.494
45	30	64	9.227	92.274
60	40	69	9.964	99.636
75	50	76	10.994	109.943
90	60	83	12.025	120.250
105	70	88	12.761	127.612
120	80	95	13.792	137.920
135	90	99	14.381	143.809
150	100	104	15.117	151.172
165	110	106	15.412	154.116
180	120	108	15.706	157.061
195	130	110	16.001	160.006
210	140	113	16.442	164.424
225	150	116	16.884	168.841
240	160	117	17.031	170.313
255	170	118	17.179	171.786
270	180	122	17.768	177.676
Esfuerzo Normal			0.497 Kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo Cortante			0.552 Kg/cm <sup>2</sup>	

Nota: Para Transformar las lineas de carga a Kg, se usa la siguiente formula.  

$$P = 0.1472450452 * (\# \text{ lineas}) - 0.1963267269$$



**ANEXO #20 (Tabla 3 de Resultados)**

**Carga Vertical (kg) 32**

<i>Prueba de Corte # 3</i>				
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Deformacion Horizontal</b>	<b>Lineas de Carga</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Carga (N)</b>
15	10	34	4.810	48.100
30	20	47	6.724	67.242
45	30	59	8.491	84.911
60	40	73	10.553	105.526
75	50	89	12.908	129.085
90	60	99	14.381	143.809
105	70	109	15.853	158.534
120	80	115	16.737	167.369
135	90	122	17.768	177.676
150	100	135	19.682	196.818
165	110	136	19.829	198.290
180	120	144	21.007	210.070
195	130	150	21.890	218.904
210	140	155	22.627	226.267
225	150	157	22.921	229.211
240	160	162	23.657	236.574
<b>Esfuerzo Normal</b>			<b>1.033 Kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>Esfuerzo Cortante</b>			<b>0.764 Kg/cm<sup>2</sup></b>	

## REFERENCIAS

AASHTO T 236-03 Standard Method of Test for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

ASTM D 3080-98 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions, Designation.

ESPINACE, R.; KRAMER, P. Curso de Ensayos Habituales de Mecánica de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile, 1988.

## **5.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ). (INV E-414-07)**

### **Introducción**

El siguiente ensayo se realiza aplicando una carga a los tercios del claro en una viga de concreto, la cual se elabora teniendo en cuenta la resistencia final. En este laboratorio se utiliza la norma INV-414 para el ensayo a flexión y la norma INV-402 para la elaboración de curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión.

#### **5.4.1 Objetivos**

Objetivo general

- Establecer el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.

Objetivos Específicos

- Establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo.
- Realizar los cálculos de las cantidades de material que se va a utilizar para la elaboración de la viga, teniendo en cuenta el tipo de concreto y la resistencia final de este.

#### **5.4.2 Aplicaciones**

- Formulación y diseño de mezclas optimas para pavimentos rígidos.

### 5.4.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Balanza



**Foto 5.4.3-1**

- Materiales para la mezcla



**Foto 5.4.3-2**

- Cemento, agregado fino, agregado grueso.
- Los agregados para concreto deben cumplir con las normas estandarizadas, y que estén constituidos por granos duros, limpios y libres de: polvo, arcilla, limo, material orgánica, sales solubles y películas de aceite o grasa.

- Maquina de ensayo



**Foto 5.4.3-3**

- Material aislante



**Foto 5.4.3-4**

- Molde para viga



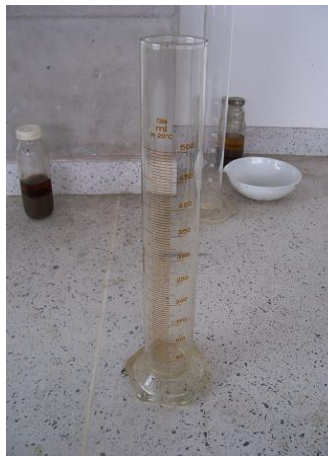
**Foto 5.4.3-5**

- Palustre



**Foto 5.4.3-6**

- Probeta



**Foto 5.4.3-7**

- Recipientes para muestreo y mezcla



**Foto 5.4.3-8**

- Varilla compactadora



**Foto 5.4.3-9**

Debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla 10 mm (3/8) (norma INV-404, pag.3).

#### 5.4.4 Base Teórica

La resistencia a la flexión de concreto es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de sección transversal de 6 X 6 pulgadas (150 X 150 mm) de sección transversal y con luz mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el modulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa).

El módulo de rotura se utiliza para el control de campo y de aceptación de los pavimentos. Se utiliza muy poco el ensayo a flexión para el concreto estructural.<sup>30</sup>

#### 5.4.5 Recomendaciones

- Para realizar el ensayo a flexión de la viga se tiene que revisar la norma INV-402 "Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión".
- La dimensión de la sección transversal rectangular de la viga debe ser, por lo menos, 3 veces mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla.

<sup>30</sup>Resistencia a flexión del concreto [en línea]. Silver Spring, Maryland. National Ready Mixed Concrete Association, 2008. [Consultado 24 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16ES.pdf>

- Es necesario el uso de protección como: guantes, bata y tapa bocas a la hora de realizar los ensayos.

#### 5.4.6 Procedimiento

- a) Primero tomamos los materiales que van a componer la viga (agua, cemento, agregado fino, agregado grueso) y sacamos la cantidad necesaria para su elaboración, teniendo en cuenta la resistencia última que se busca para el concreto.

Como es un concreto de 3000 PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>) se hacen los siguientes cálculos:

- Volumen de material para 1m<sup>3</sup> de concreto de 3000 PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>).

Para 1m<sup>3</sup> de concreto Dosificación según el laboratorio.

$$\begin{aligned}
 1m^3 &\rightarrow 200 \text{ kg agua} \\
 1m^3 &\rightarrow 377 \text{ kg cemento} \\
 1m^3 &\rightarrow 754 \text{ kg de agregado fino} \\
 1m^3 &\rightarrow 1056 \text{ kg agregado de grueso}
 \end{aligned}$$

- Volumen de la viga a ensamblar.  
Sección de: 150 X 150 mm.  
Longitud: 750 mm (50 mm mayor que 3 veces su profundidad “un lado de la sección transversal”).

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen viga: } &0.15 \times 0.15 \times 0.755 \\
 &\rightarrow : 0.0169 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Regla de tres simple comparando el material a utilizar en la viga con respecto al utilizado en el concreto de 3000 PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>).

$$\begin{aligned}
 1m^3 &\rightarrow 200 \text{ kg agua} \\
 0.0169 \text{ m}^3 &\rightarrow x \text{ de kg agua}
 \end{aligned}$$

$$x: 3.38 \text{ kg de agua}$$

$$\begin{aligned}
 1m^3 &\rightarrow 377 \text{ kg de cemento} \\
 0.0169 \text{ m}^3 &\rightarrow x \text{ de cemento}
 \end{aligned}$$

*x: 6.371 kg de cemento*

$1m^3 \rightarrow 754 \text{ kg de agregado fino}$   
 $0.0169 m^3 \rightarrow x \text{ de agregado fino}$

*x: 12.743 kg de agregado fino*

$1m^3 \rightarrow 1056 \text{ kg de agregado grueso}$   
 $0.0169 m^3 \rightarrow x \text{ de agregado grueso}$

*x: 17.846 kg agregado grueso*

b) Pesaje de los materiales que componen la viga.



**Foto 5.4.6-1**

c) Una vez pesado y puesto aparte cada material se continúa con la preparación del molde de la viga recubriendo con una capa de material aislante (aceite mineral o grasa) dentro de este con el fin facilitar su desmonte e impedir la adherencia.



**Foto 5.4.6-2**



**Foto 5.4.6-3**

- d) Ahora se vierte el agregado fino sobre el recipiente para muestreo y mezcla, haciendo un hoyo en su centro donde seguidamente se vierte el cemento y se mezcla de tal manera que quede lo más homogéneo posible.



**Foto 5.4.6-4**



**Foto 5.4.6-5**

- e) Al igual que el paso anterior se hace un hoyo en el centro con la mezcla de agregado fino y cemento, y se vierte el agregado grueso mezclando lo más homogéneo posible.



**Foto 5.4.6-6**

- f) Luego tomamos la cantidad de agua calculada para el diseño de la viga y la vamos vertiendo al igual que la vamos mezclando, este proceso se terminara hasta que la apariencia de la mezcla sea lo más homogéneo posible.



**Foto 5.4.6-7**



**Foto 5.4.6-8**

- g) Luego usaremos el método de compactación por medio de la varilla, según la tabla 1 y 2 (INV E-402) se difunde el concreto sobre la viga en **2** capas iguales precedida cada una de **32** golpes con la varilla compactadora (para la muestra de ejemplo).

**Tabla 5.4.6-1: Número de Capas de Llenado para Elementos Prismáticos de Hormigón**

Prismas y cilindros para creep horizontal espesor, mm (pul.)		
Tamaño	Método	# capas
Hasta 200 (8)	apisonado	2
Más de 200 (8)	apisonado	3 o más
Hasta 200 (8)	vibración	1
Más de 200 (8)	vibración	2 o más

**Fuente: INV E-414-07**

**Tabla 5.4.6-2: Apisonado de Vigas de hormigón**

VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior de la muestra en cm <sup>2</sup> (pulgadas <sup>2</sup> )	Diámetro de la varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
160 (25) o menos	10 (3/8)	25 golpes
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de área.
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm <sup>2</sup> (2 pulg <sup>2</sup> ) de área.

**Fuente: INV E-414-07**

En el ejemplo:

*Espesor: hasta 200 mm.*

*Apisonado: 2*

*Área : 15X15 cm → 225 cm<sup>2</sup>*

*No. de golpes:  $\frac{225 \text{ cm}^2}{7 \text{ cm}^2} : 32 \text{ golpes}$*



**Foto 5.4.6-9**



**Foto 5.4.6-10**

- h) Ahora enrazamos con la espátula y colocamos la viga en un lugar fresco y seco entre 24 y 48 horas con temperatura entre 16 y 27 °C, una vez terminado el fraguado se desmonta la probeta y la colocamos en agua durante 7, 14 o 28 según el día de su prueba a flexión.



**Foto 5.4.6-11**



**Foto 5.4.6-12**

- i) Una vez pasado el tiempo necesario se saca del agua según el día en que se vaya a probar (Ej.14 días).



**Foto 5.4.6-13**

- j) Tomando como referencia la posición como fue vaciada la probeta, gírela 90° sobre su eje longitudinal. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Monte la viga sobre los bloques de apoyo, ahora coloque los bloque superiores de aplicación de carga.



**Foto 5.4.6-14**

- k) Al colocar la viga sobre los bloques de apoyo y al colocar los bloques de aplicación de carga se determina que este toda su superficie en contacto con estos. Si hay más de 25 mm (1") sin contacto se elaboran molde de cuero o se pule la superficie de la viga para eliminar vacios entre estas y los apoyos.



**Foto 5.4.6-15**

- l) Ahora se aplica la carga continua y sin sobre saltos a un delta de incremento entre 0.9 (MPa/min) y 1.2 (MPa/min), hasta que ocurra la rotura.



**Foto 5.4.6-16**



**Foto 5.4.6-17**

### 5.4.7 Datos y Resultados

Para el cálculo del módulo de rotura debemos calcular las siguientes variables.

- Si la fractura esta en el tercio medio de la luz libre.

$$R = \frac{P \times l}{b \times d^2}$$

*R: Módulo de rotura ( $\frac{N}{mm^2}$  o Mpa.)*

*P: Carga máxima aplicada.  
según lo que indique la maquina (N).*

*l: Luz libre entre apoyos de la  
porbeta (mm).*

*b: Ancho promedio de la probeta (mm).*

*d: altura promedio de la probeta (mm).*

- Si la fractura esta fuera del tercio medio de la luz libre, pero en un máximo del 5%.

$$R = \frac{3Pa}{b \times d^2}$$

*R: Módulo de rotura ( $\frac{N}{mm^2}$  o Mpa.)*

*P: Carga máxima aplicada.  
según lo que indique la maquina (N).*

*a: distancia promedio entre la linea  
de rotura y el apoyo mas proximo medido  
sobre la superficie de tracción (mm).*

*l: Luz libre entre apoyos de la  
porbeta (mm).*

*b: Ancho promedio de la probeta (mm).*

*d: altura promedio de la probeta (mm).*

- Si la fractura esta fuera del tercio medio de la luz libre, pero en más del 5% se descarta el ensayo.

### PARA LA MUESTRA

VIGA  
Caso1

*P: 1250 kgf o 12250 N* <sup>31</sup>

*l: 715 mm*

*b: 152 mm*

*d: 150 mm*

$$R = \frac{P \times l}{b \times d^2}$$

$$R = \frac{12250 \times 715}{152 \times 150^2}$$

$$R = 2.5610 \frac{N}{mm^2} \text{ o } Mpa$$

( a los 14 días)

$$R = 2.5610 Mpa \text{ o } 26.13 \frac{K}{cm^2}$$

( a los 14 días)

Para nuestro concreto de 3000 psi, 21 Mpa o 210 kg/cm<sup>2</sup>.

$$R_{teorico} = 2.5 \times \sqrt{210} \frac{kg}{cm^2} = 36.22 \frac{kg}{cm^2}$$

El (R) o modulo de rotura de del concreto a los 28 días está entre 36 y 38  $\frac{kg}{cm^2}$ . A los 14 días nos da 25.61  $\frac{kg}{cm^2}$ . (Ósea 70% del teórico). En la prueba se estuvo por debajo del 80% del R teórico.

<sup>31</sup> BEER, Ferdinand. Mecánica vectorial para ingenieros. 6 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1997

#### 5.4.8 Análisis de Resultados

- ¿Según el lugar de la fisura sobre la probeta se puede determinar si el ensayo se realizó bajo las condiciones correctas de la norma?
- ¿El ensayo a flexión se puede relacionar con el ensayo a compresión con alguna fórmula?
- ¿Para qué tipo de obras se utilizan las pruebas a flexión?

**ANEXO #21 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE FLEXIÓN  
 INV E 414-07

Elaborado Por:  
 Fecha:

A B = A\*I/b\*d<sup>2</sup> C=B\*14,232

Identificación Probeta	Fecha de fundición			Fecha de ruptura			Edad muestra	Resistencia ultima	Esfuerzo	Ultimo
Numero	Año	Mes	Día	Año	Mes	Día	Días	Kg	Kg/ cm <sup>2</sup>	Psi
1	2008	9	1	2008	9	14	14	1250	26.13	371.695468
2	2008	9	2	2008	9	15	14	1350	28.22	401.431105

$$\sigma (Psi) = X \frac{kgf}{cm^2} \times \frac{2.2046 lbf}{1 kgf} \times \frac{1 cm^2}{0.1550 pulg.^2} = X \frac{lbf}{pulg.^2} (Psi)$$

constante  
 14.232

Longitud (l) 71.5 cm ancho (b) 15.2 cm

altura Prom. (d) 15 cm f'c 3000 Psi

$$R_{teorico 28 días} = 2.5 \times \sqrt{f'c} \frac{kg}{cm^2} = Valor \frac{kg}{cm^2}$$

Observaciones

## REFERENCIAS

AASHTO T 97-03 Standard Method of Test for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

ASTM C 78-02 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

BEER, Ferdinand. Mecánica vectorial para ingenieros. 6 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1997.

Resistencia a flexión del concreto [en línea]. Silver Spring, Maryland. National Ready Mixed Concrete Association, 2008. [Consultado 24 de Septiembre, 2008]. Disponible en Internet: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16ES.pdf>.

## **5.5 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN. (NTC-722)**

### **Introducción**

El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la zona de tracción. Por medio de este ensayo podemos caracterizar las propiedades de las mezclas y evaluar el fallo provocado por tensiones de tracción.

#### **5.5.1 Objetivos**

Objetivo general

- Establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta de cilindros normales de hormigón (diámetro  $150 \pm 3$  mm y longitud  $300 \pm 6$  mm).

Objetivos Específicos

- Determinar la carga de rotura del cilindro de concreto durante la prueba realizada siguiendo las instrucciones dadas en la norma existente.
- Analizar y comprender la importancia que tiene la tracción indirecta como parámetro para el diseño y la construcción de pavimentos rígidos.

#### **5.5.2 Aplicaciones**

- Análisis de comportamiento de losa de pavimento rígido.

### 5.5.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Balanza



**Foto 5.5.3-1**

- Maquina de ensayo



**Foto 5.5.3-2**

- Listones de Apoyo en Madera



**Foto 5.5.3-3**

- Material aislante



**Foto 5.5.3-4**

- Molde del cilindro



**Foto 5.5.3-5**

- Materiales para elaboración de cilindro (Cemento, agregado fino, agregado grueso y agua)



**Foto 5.5.3-6**

Los agregados para concreto deben cumplir con las normas estandarizadas, y que estén constituidos por granos duros, limpios y libres de: polvo, arcilla, limo, material orgánica, sales solubles y películas de aceite o grasa.

- Palustre



**Foto 5.5.3-7**

- Probeta



**Foto 5.5.3-8**

- Recipientes para mezclar



**Foto 5.5.3-9**

- Varilla compactadora



**Foto 5.5.3-10**

La varilla debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla 10 mm (3/8).<sup>32</sup>

#### 5.5.4 Base Teórica<sup>33</sup>

La tensión cortante, a diferencia de la tensión de tracción y compresión, está producida por fuerzas que actúan paralelamente al plano que las soporta, mientras que las de tracción y compresión lo son por fuerzas normales al plano sobre el que actúan. Por esta razón, las tensiones de tracción y compresión se llaman también tensiones normales, mientras que la tensión cortante puede denominarse tensión tangencial.

La tensión media sobre una superficie se obtiene dividiendo la fuerza por el área sobre la que actúa. Si la tensión media es constante sobre toda la superficie, se llama uniforme. Si no es uniforme, se obtiene la tensión en un punto considerando la fuerza que actúa sobre un elemento de área alrededor del punto, y haciendo que este elemento superficial sea cada vez menor tendiendo a cero. En otras palabras, la tensión en un punto define en realidad la tensión media uniformemente distribuida sobre un elemento diferencial de área.

#### 5.5.5 Recomendaciones

- Para la elaboración de la muestra cilíndrica que se va a ensayar debemos consultar la norma técnica colombiana NTC-1377 (Hormigón. Elaboración y Curado de muestras en el laboratorio).
- El cilindro debe ser ensayado tan pronto como se saca del agua después del curado (En estado húmedo).
- Los listones de madera deben ser un poco más largos que la longitud del cilindro para poder acomodarlos más fácilmente al momento de poner la probeta en la máquina.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.

---

<sup>32</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Asentamiento del Concreto (SLUMP). Santa Fe de Bogotá, 1996. INV E-404-07.

<sup>33</sup> SINGER, Ferdinand. Resistencia de Materiales. 3 ed. México: Harla S.A, 1980.

### 5.5.6 Procedimiento

- a) Se debe empezar elaborando la probeta cilíndrica de concreto (NTC-1377). Se toman los materiales que componen el cilindro: agua, cemento, agregado fino, agregado grueso. Esta cantidad depende de la resistencia última que se quiera obtener, en nuestro caso tomamos como resistencia última un concreto de 3000 psi (libras/pulgada<sup>2</sup>). Se realizaron los siguientes cálculos para determinar la cantidad de material para el cilindro.

*Volumen de material para 1m<sup>3</sup> de concreto de 3000 PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>).*

*Para 1m<sup>3</sup> de concreto (Dosificación según el laboratorio).*

- 200 kg agua
- 377 kg cemento
- 754 kg de agregado fino
- 1056 kg agregado de grueso

*Volumen del Cilindro:*

Diámetro sección de: 150 mm.  
 Altura: 300 mm.

$$\begin{aligned} \text{Volumen cilindro: } & \pi \times r^2 \times h \\ \text{Vol. cilindro: } & \pi \times 0.075^2 \times 0.3 \\ \text{Vol. cilindro } & \approx 0.006 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Por medio de una simple regla de tres podemos obtener las cantidades a usar para la preparación del cilindro de concreto.

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 & \rightarrow 200 \text{ kg agua} \\ 0.006 \text{ m}^3 & \rightarrow x \text{ de kg agua} \\ x: & 1.2 \text{ kg de agua} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 & \rightarrow 377 \text{ kg de cemento} \\ 0.006 \text{ m}^3 & \rightarrow x \text{ de cemento} \\ x: & 2.262 \text{ kg de cemento} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 & \rightarrow 754 \text{ kg de agregado fino} \\ 0.006 \text{ m}^3 & \rightarrow x \text{ de agregado fino} \\ x: & 4.524 \text{ kg de agregado fino} \end{aligned}$$

$1\text{m}^3 \rightarrow 1056\text{ kg de agregado grueso}$

$0.006\text{ m}^3 \rightarrow x\text{ de agregado grueso}$

$x: 6.336\text{ kg de agregado grueso}$

b) Se pesan los materiales que componen el cilindro.



**Foto 5.5.6-1**

c) Una vez pesado y separado cada material se continúa con la preparación del molde del cilindro recubriendo con una capa de material aislante (aceite mineral o grasa) dentro de este con el fin facilitar su desmonte e impedir la adherencia.

d) Ahora se vierte el agregado fino sobre el recipiente para muestreo y mezcla, haciendo un hoyo en su centro donde seguidamente se verterá el cemento y se mezclará de tal manera que quede lo más homogéneo posible.



**Foto 5.5.6-2**



**Foto 5.5.6-3**

- e) Al igual que el paso anterior se hace un hoyo en el centro con la mezcla de agregado fino y cemento, y se vierte el agregado grueso mezclando lo más homogéneo posible.



**Foto 5.5.6-4**

- f) Luego tomamos la cantidad de agua calculada para el diseño del cilindro y la vamos vertiendo y mezclando de manera simultánea, este proceso se terminara hasta que la apariencia de la mezcla sea lo más homogéneo posible.



**Foto 5.5.6-5**



**Foto 5.5.6-6**

- g) Luego usaremos el método de compactación por medio de la varilla, según la tabla 1 y 2 (INV E-402) se vierte el concreto sobre el cilindro en **3** capas iguales, precedida cada una de **25** golpes con la varilla compactadora.

**Tabla 5.5.6-1: Número de Capas de Llenado para Cilindros de Concreto**

Cilindros, Diámetro mm (pul.)		
Tamaño	Método	# capas
75 a 100 (3 a 4)	Apisonado	2
150 (6)	Apisonado	3
225 (9)	Apisonado	4

**Fuente: Norma Icontec 550**

**Tabla 5.5.6-2: Apisonado de Cilindros de hormigón**

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas <sup>2</sup> )	Diámetro de la varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
50 (2) a < 150 (6)	10 (3/8)	25 golpes
150 (6)	16 (5/8)	25 golpes
200 (8)	16 (5/8)	50 golpes
250 (10)	16 (5/8)	75 golpes

**Fuente: Norma Icontec 550**



**Foto 5.5.6-7**

- h) Luego de llenar el cilindro, enrazamos con la espátula y colocamos el cilindro en un lugar fresco y seco durante  $20 \pm 4$  horas con temperatura entre  $16$  y  $27$  °C, una vez terminado el fraguado se desmonta la probeta y la sumergimos en agua durante 7, 14 o 28 días, según el día que deseemos realizar la prueba.



**Foto 5.5.6-8**



**Foto 5.5.6-9**

- i) Una vez pasado el tiempo al cual decidimos probarla (14 días) se saca del agua, y se limpia superficialmente para que esté lista para la prueba.
- j) Se acomoda uno de los listones de madera a lo largo del centro de la placa inferior y se pone el cilindro sobre el listón, luego se pone el otro listón sobre el cilindro, procurando que queden bien alineados.



**Foto 5.5.6-10**



**Foto 5.5.6-11**

- k) Ahora se debe ajustar la máquina manualmente para que haga contacto con la parte superior del cilindro, para luego encenderla e iniciar a aplicar la fuerza.



**Foto 5.5.6-12**



**Foto 5.5.6-13**

- l) Finalmente encendemos la maquina que aplicará la carga de manera lenta y constante hasta que se presente la falla en el cilindro. Debemos obtener el dato de la carga final con la cual el cilindro falló y además observar el tipo de falla que se produjo para efectos de cálculo e interpretación de resultados.



**Foto 5.5.6-14**



**Foto 5.5.6-15**



**Foto 5.5.6-16**



**Foto 5.5.6-17**

### 5.5.7 Datos y Resultados

El esfuerzo de tracción indirecta del cilindro de hormigón se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2P}{Ld}$$

Donde:

T: Esfuerzo de tracción indirecta.

P: Carga Máxima Indicada por la máquina de ensayo [decanewtons].

L: Longitud del Cilindro [cm].

d: Diámetro del Cilindro [cm].

Área Efectiva =  $\pi \times r^2$ : 176.71  $cm^2$

Edad del Cilindro = 14 días.

Carga Ultima= 16300 Kg.

$$T = \frac{2 * 16300}{30 * 15} = 72.44 \frac{Kg}{cm^2}$$

La resistencia a la tracción indirecta que se observó en el concreto a los 14 días fue de 72.44 kg/cm<sup>2</sup>, para una resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, esto quiere decir que se alcanzó solo un 34.5% de la resistencia total.

### 5.5.8 Análisis de Resultados

- De acuerdo al resultado obtenido, ¿qué podemos concluir de la resistencia a tracción del concreto?
- ¿Por qué se deben colocar listones de madera en la parte superior e inferior, no es mejor dejarlo simplemente apoyada sobre las caras de la máquina?
- ¿Cuál es el rango normal de resistencia a la tracción que debe tener un concreto de 3000 psi?

**ANEXO #22 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE  
 CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN.  
 NTC-722

Elaborado Por:  
 Fecha:

A B= A/área C=B\*14,2232

Identificación Probeta	Fecha de fundición			Fecha de ruptura			Edad muestra	Resistencia ultima	Esfuerzo	Ultimo
	Numero	Año	Mes	Día	Año	Mes				
1	2008	9	15	2008	9	29	14	16300	72.44	1030.39
2	2008	9	15	2008	10	12	28	36500	162.22	2307.32

$$\sigma (Psi) = X \frac{kgf}{cm^2} \times \frac{2.2046 lbf}{1 kgf} \times \frac{1 cm^2}{0.1550 pulg.^2} = X \frac{lbf}{pulg.^2} (Psi)$$

constante  
 14.2232

Forma de la Probeta Cilindrica      Diametro (cm) 15      Longitud (cm) 30

Observaciones

## REFERENCIAS

ASTM C 496-69 Splitting Tensile Strength of Cylindrical concrete Specimens.

ICONTEC 454: Hormigón Fresco. Toma de Muestra.

SINGER, Ferdinand. Resistencia de Materiales. 3 ed. México: Harla S.A, 1980.

## 5.6 ENSAYO VISCOSIDAD DEL ASFALTO MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO. (INV E-716-07)

### Introducción

El siguiente ensayo se realiza midiendo el tiempo necesario, para inducir por medio del vacío, un volumen fijo de líquido a través de un tubo capilar, bajo condiciones estrechamente controladas de vacío y temperatura. La viscosidad en Poises, se calcula, multiplicando el tiempo de flujo, en segundos, por el factor de calibración del viscosímetro.

#### 5.6.1 Objetivos

Objetivo general

- Describir el procedimiento para determinar la viscosidad del asfalto (bitumen), con viscosímetros capilares de vacío a 60° C (140° F). Se aplica a materiales que tengan viscosidades en el rango de 0.0036 a 20000 Pa·s (0.036 a 200000 Poises).

Objetivos Específicos

- Establecer qué tipo de viscosímetro se utilizo y bajo qué condiciones.
- Realizar el cálculo de la viscosidad y analizar si cumple con la normatividad establecida.

#### 5.6.2 Aplicaciones

- Medición de esta propiedad en asfaltos y crudos.

### 5.6.3 Materiales y Equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Baño para el viscosímetro a 60°C y sistema de vacío.



**Foto 5.6.3-1**

- Horno



**Foto 5.6.3-2**

- Muestra de asfalto



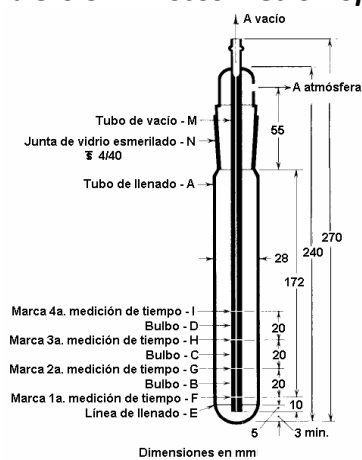
**Foto 5.6.3-3**

- Viscosímetro de vacío Koppers Modificado



**Foto 5.6.3-4**

**Figura 5.6.3-1: Viscosímetro Koppers**



**Fuente: INV E-716-07**

#### 5.6.4 Base Teórica

La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es entonces una medida de la resistencia del líquido a fluir, y es llamado comúnmente viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema SI es  $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  ( $1 \text{ N s/m}^2$ ) y se denomina Pascal segundo.

La unidad de viscosidad en el sistema CGS, la unidad es  $1 \text{ g/cm}\cdot\text{s}$  ( $1 \text{ dina}\cdot\text{s/cm}^2$ ) y se denomina poise (P).  $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  es equivalente a  $10 \text{ P}$ .<sup>34</sup>

#### 5.6.5 Recomendaciones

- Según la norma INV E 716 – 07 existen tres tipos de viscosímetros capilares para realizar este ensayo Viscosímetro de vacío Cannon – Manning, Viscosímetro de vacío del Instituto del asfalto, Viscosímetro de vacío Koppers Modificado.
- Hay que tener en cuenta la correcta calibración de los equipos para obtener resultados de alta precisión.
- Se deben usar elementos de seguridad para prevenir cualquier accidente.
- El factor K, depende del tamaño y tipo y calibración del viscosímetro utilizado.

#### 5.6.6 Procedimiento

- a) Primero se toma el material bituminoso dado al laboratorio para realizar este ensayo, se coloca la muestra en el horno y se calienta a  $135 \text{ }^\circ\text{C}$  para evitar calentamientos locales (la muestra debe ser de un mínimo de 20 ml).
- b) Se coloca la muestra de material bituminoso dentro del viscosímetro, el cual debe estar limpio y seco; el asfalto debe ir hasta su línea de marca inicial (2 ml hasta la línea de llenado E).

---

<sup>34</sup>INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras. Viscosidad del asfalto mediante viscosímetros capilares de vacío. Santa Fe de Bogotá, 1996. INV E-716-07.



**Foto 5.6.6-1**



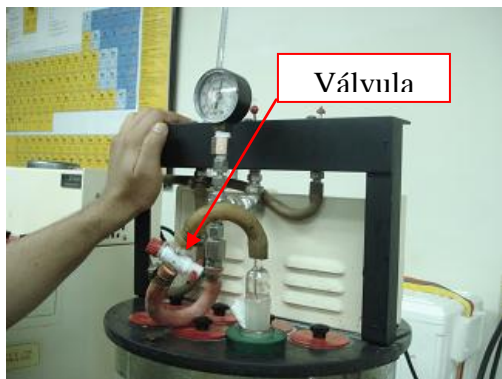
**Foto 5.6.6-2**

- c) Luego se tapa el viscosímetro y se coloca sobre el baño a una temperatura de  $60 \pm 0.03$  °C durante 30 minutos.



**Foto 5.6.6-3**

- d) Se establece un vacío de  $40.0 \pm 0.07$  kPa ( $300 \pm 0.5$  mm de Hg) con el sistema de vacío, y se conecta al viscosímetro.



**Foto 5.6.6-4**

- e) Después que el viscosímetro ha estado  $30 \pm 5$  min dentro del baño, se inicia el flujo del asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea que conecta el sistema de vacío.

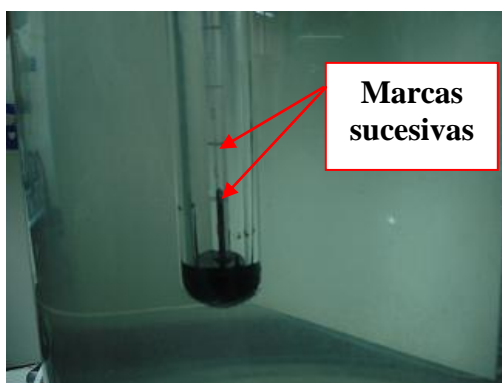


**Foto 5.6.6-5**

- f) Se abre la válvula de vacío y se toma el tiempo requerido para que el borde del menisco de asfalto pase entre los pares sucesivos de marcas. Se reporta el primer tiempo de flujo que sobrepase de 60s entre un par de marcas.



**Foto 5.6.6-6**



**Foto 5.6.6-7**

### 5.6.7 Datos y Resultados

Se selecciona el factor de calibración que corresponde a un par de marcas con determinación de tiempo, usadas en el ensayo. Se calcula y se reporta la viscosidad usando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad, poises, } P = K \times t$$

$K$  = factor de calibración según  
marcas sucesivas en poises/segundo.

$t$  = tiempo de flujo en segundos

- MUESTRA

$$\text{Viscosidad, poises, } P = K \times t$$

$$K_{c-d} = 64.4 \text{ poises/segundo}$$

$$t = 1 \text{ min } 40 \text{ seg } 68 \frac{1}{10} \text{ seg}$$

$$t = 100.68 \text{ seg}$$

$$\text{Viscosidad, poises, } P = 6483.8$$

#### 5.6.8 Análisis de Resultados

- ¿Qué otro ensayo de viscosidad existe para los asfaltos?
- ¿Cuál es la especificación requerida por el Invías para la viscosidad de un asfalto?
- ¿De qué variables depende el factor K de corrección para los viscosímetros?



**ANEXO #23 (Tabla de Resultados)**



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CARACTERIZACION DE MATERIALES I  
 ENSAYO VISCOSIDAD DEL ASFALTO MEDIANTE VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACÍO  
 Norma INV E – 716 – 07

Resultados de ensayos

Presento: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 D: \_\_\_\_\_ M: \_\_\_\_\_ A: \_\_\_\_\_

Marcas sucesivas	Factor K (Poises/seg)	Tiempo Min	Tiempo Seg	Tiempo Cent	Tiempo Total (seg)	Viscosidad P (poises)
B-C	127.8					
C-D	64.4	1	40	68	100.68	6483.792
D-E	42.79					
E-F	31.82					
F-G	24.92					

Observaciones

## REFERENCIAS

AASHTO T 202-03 Standard Method of Test for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer.

ASTM D 2171-01 Standard Method of Test for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer-ASTM Designation D 2171-01.



**ANEXO #24 (Especificaciones del cemento asfáltico.)**

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN			
			60-70		80-100	
			Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	60	70	80	100
Índice de penetración	-	E-724	-1	+1	-1	+1
Viscosidad absoluta (60° C)	P	E-716 o E-717	1500	-	1000	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E-702	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 75 minutos).	%	E-720	-	1.0	-	1.0
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original.	%	E-706	52	-	48	-
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (E-720).	°C	E-712	-	5	-	5

Fuente: Especificaciones Generales de Vías. Artículo 400-07. Instituto Nacional de Vías

**ANEXO #25 (Condiciones Generales de Equipos para Laboratorio)**

Tipo de ensayo	Herramienta de ensayo	Estado	Observaciones
Densidad real, nominal y aparente	Balón aforado	Excelente	
	Pisón	Excelente	
	cono metálico	Excelente	
Permeabilidad de suelos granulares	permeámetro	Malo	Faltan piedras porosas
	Embudo con manguera	Bueno	
Densidad o masa unitaria del suelo en el terreno	Tarro y cono metálico	Bueno	Cantidad de arena es limitada
	Arena de Ottawa	Bueno	
Análisis granulométrico de agregado gruesos y finos	Tamices para gruesos	Bueno	
	Tamices para finos	Bueno	
	Tamizadora mecánica	Bueno	
Penetración de los materiales asfálticos	Penetrómetro	Bueno	Es necesario adquirir otro termómetro debido a su constante uso
	Termómetro	Bueno	
Método para determinar los tiempos de fraguado del cemento hidráulico	Aparato Vicat	Bueno	
	Moldes	Bueno	
	Agujas Gillmore	Bueno	
Ensayo dureza Brinell	Maquina Brinell	Bueno	Mejorar la calibración del aparato
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos	Anillos	Excelente	
	Bolas de acero	Excelente	
	Montaje y soporte anillos	Excelente	
Ductilidad de los materiales asfálticos	Ductilómetro	Bueno	
	Moldes	Bueno	
Límites de Atterberg	Mortero con mango	Bueno	La manija de la maquina Casagrande esta desajustada
	Maquina de Casagrande	Regular	
Ensayo de resistencia y compresión de cilindros normales de hormigón	Maquina de ensayo	Bueno	
	Moldes cilíndricos	Bueno	
	Varilla compactadora	Bueno	
Ensayo de tracción para productos de acero	Extensómetro	Regular	Falta calibración de equipos
	Deformímetro	Regular	
	Maquina de ensayo	Bueno	
Determinación de la resistencia al corte de un suelo	Aparato de corte directo	Bueno	Anillos de acero en mal estado, bordes defectuosos
	Anillos de acero	Malo	
	Caja de corte	Bueno	
	Medidores desplazamiento	Bueno	

Tipo de ensayo	Herramienta de ensayo	Estado	Observaciones
Resistencia a la flexión del concreto	Maquina de ensayo	Bueno	
	Molde para viga	Bueno	
Ensayo de tracción indirecta de cilindros normales de hormigón	Maquina de ensayo	Bueno	
	Molde cilíndrico	Bueno	
	Varilla compactadora	Bueno	
Ensayo viscosidad del asfalto	Maquina de Saybolt	Regular	
	Baño de agua	No Hay	

## ANEXO #26 (Metodología Propuesta)

Como recomendación general se presenta a continuación una metodología aplicable, dirigida hacia el docente, la cual tiene como finalidad un darle mayor interés al estudiante en la elaboración de ensayos de laboratorio y una mayor interacción con los fines propios de éste.

La metodología está compuesta por seis pasos en los cuales se va a pasar de lo teórico a lo práctico dejando como objetivo aprendizaje y conceptualización del los laboratorios.

- Organización y Distribución de Practicas
- Consulta Previa de Normas y Manual
- Exposición de dudas previas al ensayo
- Elaboración y Supervisión
- Sustentación
- Presentación de Informe

Organización y Distribución de Practicas: tiene como propósito que el docente planifique la realización de la materia organizando grupos de trabajo y estableciendo las fechas previamente para la realización de cada ensayo.

Consulta Previa de Normas y Manual: el estudiante como requisito e interés hacia la materia deberá leer las Normas técnicas que acobijan cada ensayo y complementarse con el manual técnico, esto con el propósito de saber el proceso y finalidad de cada ensayo.

Exposición de dudas previas al ensayo: minutos antes de la elaboración de cada ensayo el docente cuestionará al estudiante acerca de la práctica, con el fin de que el alumno haya cumplido con lo estipulado en el proceso de aprendizaje, además el alumno podrá indagar sobre los conceptos más importantes que tengan relación con la elaboración de la práctica.

Elaboración y Supervisión: el estudiante realizará el ensayo bajo las condiciones establecidas según la normatividad, además el docente realizará un acompañamiento y supervisión durante la elaboración de esta.

Sustentación: una vez el estudiante finalice el ensayo deberá sustentar al docente un paso a paso de cómo realizó éste y bajo qué condiciones, el docente deberá cuestionar al estudiante sobre la práctica para determinar si se realizó de forma correcta.

Presentación de Informe: finalmente el estudiante deberá presentar un informe con los datos obtenidos de forma clara y organizada.

## RECOMENDACIONES GENERALES

Es necesario, para el normal y adecuado desarrollo de las prácticas de laboratorio, que se cuente con equipos en buen estado, calibrados y con todos sus accesorios completos.

Se recomienda adquirir las tres piedras porosas que hacen parte del permeámetro, debido a que su ausencia no permite establecer claramente resultados confiables acerca de la permeabilidad de un suelo.

Es de gran importancia adquirir una balanza calibrada, que cumpla con los estándares de calidad existentes, para permitir la correcta medición y exactitud de datos.

Para el ensayo de densidad de campo en suelos (Cono de Arena), se debe prever la compra oportuna de arena de Ottawa, ya que es una herramienta de gran uso por el estudiante y debido al significativo desperdicio de esta durante el desarrollo de las prácticas, su duración es muy corta.

De acuerdo a la normatividad del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), para la medición de la viscosidad de un asfalto es necesario adquirir un viscosímetro capilar de vacío, debido a que es un equipo de uso muy común para este tipo de prácticas y la universidad actualmente no cuenta con este.

Es de gran importancia contar con personal calificado, técnico y capacitado en el conocimiento de la diferentes normas de ensayo y del manejo adecuado de los equipos, de esta manera se van cumpliendo los requisitos necesarios para la acreditación de los laboratorios.

Es de vital importancia que se realice permanentemente calibración a los diferentes equipos con los que cuenta el laboratorio, con el fin de asegurar la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

## CONCLUSIONES

Se recopiló información necesaria para enfocar al estudiante sobre los diferentes tipos y características de los materiales usados como objeto de estudio de la materia Caracterización de Materiales.

Se generó un documento escrito el cual consta de 20 prácticas elaboradas bajo los parámetros establecidos por las normas INV y NTC, las cuales instauran la técnica adecuada para la realización de cada ensayo según la especificación requerida.

Se elaboraron formatos base en hojas de cálculo (Microsoft Excel) para la presentación de informes de cada ensayo.

Se realizaron recomendaciones sobre los equipos utilizados en los ensayos con el fin de mejorar la calidad de las prácticas realizadas.

Se hizo una recopilación de información básica sobre la acreditación del laboratorio con el fin de dar un paso hacia la calidad en los procesos realizados y en la entrega de los resultados.

Se presentaron recomendaciones generales de mejoramiento en la metodología de enseñanza-aprendizaje para las prácticas de esta materia.

Se realizó una introducción y una base teórica a cada ensayo elaborado, con el fin de orientar al estudiante con los conceptos básicos y necesarios para un buen entendimiento y desarrollo durante la práctica.