



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN.**

**“Manual de pruebas elaboradas en  
campo y laboratorio, aplicadas en el  
ámbito laboral de la ingeniería civil”**

**TESIS PROFESIONAL.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**TANIA ANGÉLICA MORALES SOTELO.**

**CESAR LOZA PLUMA.**

**ASESOR:**

**ING. JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ TORRES.**



**MÉXICO 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatoria Tania:

He de agradecer primero a Dios por permitirme llegar al día de hoy, por concederme una buena familia, amigos y las experiencias que vivo día a día.

A mis padres Alfonso y Florencia quienes son mi soporte, gracias por los sacrificios, las enseñanzas, la paciencia, y sobre todo por su amor incondicional.

A mi hermano Rubén y mis hermanas Gabriela, Yolanda, Claudia, Trinidad y Mariana, a mis por todo el cariño y apoyo inmenso que he recibido, gracias por estar ahí siempre.

A ti Cesar por tu amistad incondicional por tu apoyo pero sobre todo por no dejarme desistir.

Y es que existe tanta gente a la que quiero agradecer y que forma parte de mi vida, pero el hecho de que no los nombre no implica que no sean importantes. Estoy muy agradecida con todos ustedes por brindarme su cariño y apoyo.

## Dedicatoria Cesar:

Brindo esta tesis con todo mi amor y cariño

A ti Padre dios que me has dado la oportunidad de vivir, de soñar, de tener una familia y de ayudarme día con día ser una mejor persona.

Con todo mi cariño y respeto a mi madre que me dio la vida y que ha estado conmigo apoyándome y brindándome todo su amor en momentos difíciles como en momentos de éxito.

Gracias por estar a mi lado, gracias por darme tu confianza y tu amor, gracias por darme el impulso en tus consejos y sobre todo por ayudarme a cumplir con mis objetivos.

Agradezco a todos mis amigos por el apoyo que he recibido, la confianza que me han dado y los momentos que jamás olvidare y que me han cultivado para ser una mejor persona.

A ti Silvia por tus consejos, tu apoyo y sobre todo por tu amistad tan sincera.

A Tania por compartir momentos inolvidables, por ser mi confidente y ser una amiga leal.

A mis profesores quienes me han forjado como un profesional en esta etapa universitaria tanto dentro como fuera del salón de clases.

Agradezco especialmente a mi asesor Ing. José Luis Rodríguez y al Prof. Miguel Ángel Saavedra por apoyarme y hacer posible la realización de esta tesis a mis sinodales Ing. Karla Ivonne Gutiérrez, Ing. Valente Torres, Ing. Jorge Arturo Pantoja y Ing. Mario Sosa por su apoyo

Para aquellos que indirectamente o a propósito, trataron de impedir esta tesis y me hicieron redoblar esfuerzos.

**Un libro abierto es un cerebro que habla; cerrado un amigo que espera; olvidado, un alma que perdona; destruido, un corazón que llora.**

**Proverbio hindú.**



<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPITULO I PRUEBA DE MECÁNICA DE SUELOS</b> .....	<b>11</b>
<b>I.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>I.2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO DEL SUBSUELO</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.1 OBJETIVO</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.2. EXPLORACIÓN PRELIMINAR DEL SITIO EN ESTUDIO</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.3.LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL SITIO EN ESTUDIO</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2.4 INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS Y/O IMÁGENES SATELITALES DE LA ZONA</b> .....	<b>14</b>
<b>I.2.5 RECORRIDO PRELIMINAR AL SITIO EN ESTUDIO</b> .....	<b>14</b>
<b>I.2.6 NUMERO Y ESPACIAMIENTO DE SONDEOS</b> .....	<b>15</b>
<b>I.3. POZO A CIELO ABIERTO</b> .....	<b>16</b>
<b>I.3.1.OBJETIVO</b> .....	<b>16</b>
<b>I.3.1.EQUIPO Y MATERIAL</b> .....	<b>16</b>
<b>I.3.3.DESARROLLO DE LA PRUEBA:</b> .....	<b>16</b>
<b>I.3.4.PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS</b> .....	<b>17</b>
<b>I.3.5.FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>19</b>
<b>I.4. SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR</b> .....	<b>21</b>
<b>I.4.1.GENERALIDADES:</b> .....	<b>21</b>
<b>I.4.2.OBJETIVO:</b> .....	<b>21</b>
<b>I.4.3. EQUIPO:</b> .....	<b>21</b>
<b>I.4.4. DESARROLLO DE LA PRUEBA:</b> .....	<b>22</b>
<b>I.4.5. EQUIPO DE PERFORACIÓN:</b> .....	<b>24</b>
<b>I.4.6. MATERIAL PARA ETIQUETAR Y MUESTREAR:</b> .....	<b>34</b>
<b>I.4.7. POSIBLES ERRORES EN EL SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR:</b> .....	<b>34</b>
<b>I.4.8. FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>35</b>
<b>I.4.9. PERFIL ESTRATIGRÁFICO</b> .....	<b>37</b>
<b>I.5. PRUEBA DE CONTENIDOS DE AGUA</b> .....	<b>38</b>
<b>I.5.1. OBJETIVO</b> .....	<b>38</b>
<b>I.5.2. ALCANCES</b> .....	<b>38</b>
<b>I.5.3. OBSERVACIONES</b> .....	<b>38</b>
<b>I.5.4. EQUIPO Y MATERIAL</b> .....	<b>39</b>
<b>I.5.5. DESARROLLO DE LA PRUEBA</b> .....	<b>39</b>
<b>I.5.6. CALCULO</b> .....	<b>40</b>
<b>I.5.6. POSIBLES ERRORES EN LA PRUEBA</b> .....	<b>40</b>
<b>I.5.7. FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>41</b>
<b>I.6. PRUEBA LÍMITES DE PLASTICIDAD</b> .....	<b>42</b>
<b>I.6.1.1. OBJETIVO</b> .....	<b>42</b>
<b>I.6.1.2. ALCANCE</b> .....	<b>42</b>
<b>I.6.1.3. OBSERVACIONES</b> .....	<b>42</b>
<b>I.6.1.4. MATERIAL Y EQUIPO</b> .....	<b>44</b>
<b>I.6.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA COPA DE CASAGRANDE</b> .....	<b>44</b>
<b>I.6.1.6. DESARROLLO DE LA PRUEBA</b> .....	<b>44</b>
<b>I.6.1.7. CALCULO DE LA PRUEBA</b> .....	<b>45</b>
<b>I.6.1.8. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA</b> .....	<b>47</b>
<b>I.6.1.8. FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>48</b>



<b>I.6.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO.....</b>	<b>50</b>
I.6.2.1.OBSERVACIONES.....	50
I.6.2.2.EQUIPO Y MATERIALES: .....	50
I.6.2.3.DESARROLLO DE LA PRUEBA: .....	50
I.6.2.4.CALCULOS DE LA PRUEBA.....	51
I.6.2.5.FOTOGRAFÍAS.....	51
I.6.2.6.OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA: .....	52
I.6.2.7.DETERMINACION DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP): .....	52
I.6.2.8.CARTA DE PLASTICIDAD.....	52
<b>I.6.3 CONTRACCIÓN LINEAL.....</b>	<b>53</b>
I.6.3.1.OBJETIVO: .....	53
I.6.3.2. EQUIPO Y MATERIAL: .....	53
I.6.3.3.DESARROLLO DE LA PRUEBA: .....	53
I.6.3.4. OBSERVACIONES EN LA PRUEBA: .....	54
I.6.3.5. FOTOGRAFÍAS: .....	55
<b>I.7. PRUEBA DE GRANULOMETRÍA.....</b>	<b>55</b>
I.7.1.OBJETIVO: .....	55
I.7.2. OBSERVACIONES.....	55
I.7.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	58
I.7.4. DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	58
I.7.5. POSIBLES ERRORES.....	60
<b>I.8. PRUEBA DEL HIDRÓMETRO.....</b>	<b>60</b>
I.8.1. OBJETIVO.....	60
I.8.2. OBSERVACIONES.....	60
I.8.3. MATERIAL Y EQUIPO.....	61
I.8.4. DESARROLLO DE CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO.....	61
I.8.5. DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	65
I.8.6. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.....	66
I.8.7. FOTOGRAFÍAS.....	67
<b>I.9 PERMEABILIDAD DE UN SUELO.....</b>	<b>69</b>
I.9.1 OBJETIVO:.....	69
I.9.2 DEFINICIÓN: .....	70
I.9.3 PRUEBA DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE:.....	70
I.9.4 OBJETIVO DE LA PRUEBA: .....	70
I.9.5 EQUIPO Y MATERIALES: .....	71
I.9.6 DESARROLLO DE LA PRUEBA: .....	71
I.9.7 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD: .....	72
I.9.8 OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.....	72
I.9.9 FOTOGRAFÍAS.....	73
<b>I.10. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO.....</b>	<b>74</b>
I.10.1 OBJETIVO:.....	74
I.10.2. DEFINICIÓN.....	74
I.10.3. OBSERVACIONES.....	75
I.10.4. OBTENCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN MATERIALES EN ESTADO SECO Y SUELTO.....	75
I.10.5. MATERIAL Y EQUIPO.....	75
I.10.6. DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	76



I.10.7. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA .....	76
I.10.8. OBTENCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN MATERIA INALTERADO. ....	77
I.10.9. MATERIAL Y EQUIPO. ....	77
I.10.10. DESARROLLO DE LA PRUEBA. ....	77
I.10.11. CALCULO.....	78
I.10.12. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA. ....	79
I.10.13. FOTOGRAFÍAS. ....	79
<b>I.11. PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS (DENSIDAD DE SÓLIDOS).....</b>	<b>80</b>
I.11.1 OBJETIVO:.....	80
I.11.2. DEFINICIÓN. ....	80
I.11.3. OBSERVACIONES. ....	81
I.11.4. MATERIAL Y EQUIPO. ....	81
I.11.5. DESARROLLO DE CALIBRACIÓN DEL MATRAZ. ....	81
I.11.6. DESARROLLO DE LA PRUEBA EN SUELOS FINOS.....	82
I.11.7. CALCULO DE LA PRUEBA EN SUELOS FINOS. ....	83
I.11.8. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA. ....	84
I.11.9. DESARROLLO DE LA PRUEBA EN SUELO GRANULARES. ....	84
I.11.10. CALCULO DE LA PRUEBA EN SUELO GRANULARES. ....	85
I.11.11. FOTOGRAFÍAS. ....	86
<b>I.12. COMPRESIÓN SIMPLE.....</b>	<b>88</b>
I.12.1. DESCRIPCIÓN. ....	88
I.12.2. OBJETIVO. ....	88
I.12.3. MATERIAL Y EQUIPO. ....	89
I.12.4. PROCEDIMIENTO. ....	89
I.12.5. CALCULO. ....	90
I.12.6. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA. ....	93
I.12.7. FOTOGRAFÍAS. ....	94
<b>I.13 PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN .....</b>	<b>97</b>
I.13.1 DEFINICIÓN: .....	97
I.13.2 OBJETIVO:.....	97
I.13.3 EQUIPO Y MATERIAL: .....	98
I.13.4 CÁLCULO DE INCREMENTOS: .....	99
I.13.5 PROCEDIMIENTO:.....	100
I.13.6 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO:.....	102
I.13.9 FOTOGRAFÍAS:.....	105
<b>I.14. PRUEBA TRIAXIAL UU.....</b>	<b>107</b>
I.14.1. DESCRIPCIÓN. ....	107
I.14.2. OBJETIVO.....	108
I.14.3. MATERIAL Y EQUIPO. ....	108
I.14.4. PROCEDIMIENTO ANTES DE INICIAR LA PRUEBA. ....	109
I.14.5. PROCEDIMIENTO. ....	111
I.14.5. CALCULO DE LA PRUEBA. ....	112
I.14.6. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA. ....	115
I.14.7. FOTOGRAFÍAS. ....	116
<b>CAPITULO II PRUEBAS EN TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS. ....</b>	<b>118</b>
<b>II.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>119</b>
<b>II.2 CUERPO DE TERRAPLÉN.....</b>	<b>120</b>



II.2.1	ASPECTOS GENERALES.....	120
II.2.2	CLASIFICACIÓN DE MATERIALES.....	122
II.3.	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	125
II.3.1	ASPECTOS GENERALES.....	125
II.3.2	CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA TERRAPLÉN. ....	126
II.3.2.1	DESCRIPCIÓN.....	126
II.3.2.2	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.....	127
II.3.2.3	CRITERIOS DE CALIDAD.....	127
II.3.3	CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA CAPA SUBYACENTE.....	128
II.3.3.1	DESCRIPCIÓN.....	128
II.3.3.2	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.....	129
II.3.3.3	CRITERIOS DE CALIDAD.....	129
II.3.4	CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA SUB-RASANTE.....	130
II.3.4.1	DESCRIPCIÓN.....	130
II.3.4.2	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.....	131
II.3.4.3	CRITERIOS DE CALIDAD.....	132
II.3.5	CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA SUB-BASE.....	132
II.3.5.1	DESCRIPCIÓN.....	133
II.3.5.2	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.....	134
II.3.5.3	CRITERIOS DE CALIDAD.....	134
II.3.6	CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA BASE.....	135
II.3.6.1	DESCRIPCIÓN.....	135
II.3.6.2	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.....	136
II.3.6.3	CRITERIOS DE CALIDAD.....	138
II.4	MUESTREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS.....	139
II.4.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL MUESTREO. ....	140
II.4.2	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	140
II.4.3	FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA. ....	142
II.5	PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO SECADO, DISGREGADO, CUARTEO.....	143
II.5.1	OBJETIVO DE LA PRUEBA. ....	143
II.5.2	EQUIPO Y MATERIAL.....	143
II.5.2	PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.....	143
II.5.3	OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA. ....	146
II.5.4	FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.....	147
II.6	PRUEBA DE COMPACTACIÓN.....	149
II.6.1	DESCRIPCIÓN.....	149
II.6.2	OBJETIVO DE LA PRUEBA. ....	150
II.6.3	EQUIPO Y MATERIALES. ....	150
II.6.4	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	151
II.6.5	CÁLCULO DE LA PRUEBA.....	153
II.6.6	OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA. ....	155
II.6.7	FOTOGRAFÍAS.....	156
II.7	PRUEBA DE TROMPA DE ARENA (COMPACTACIÓN EN CAMPO).....	158
II.7.1	OBJETIVO.....	158
II.7.1	MATERIAL Y EQUIPO.....	158
II.7.2.	PROCEDIMIENTO.....	159



II.7.3.	CALCULO DE LA PRUEBA.....	161
II.7.4.	OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	161
II.7.5.	FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.....	162
II.8.	PRUEBA DEL CONO DE ARENA.....	163
II.8.1.	OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	163
II.8.2	EQUIPO Y MATERIALES.....	164
II.8.3.	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	164
II.8.3.1.	CALIBRACIÓN DEL CONO Y LA PLACA BASE.....	164
II.8.3.2.	CALIBRACIÓN DE LA ARENA.....	165
II.8.3.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN CAMPO.....	165
II.8.3.3.	CALCULO DE LA PRUEBA.....	166
II.8.4.	OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	167
II.8.5.	FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.....	168
II.9.	VALOR RELATIVO DE SOPORTE.....	169
II.9.1.	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA.....	169
II.9.2.	OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	169
II.9.3.	EQUIPO Y MATERIALES.....	169
II.9.4.	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	170
II.9.4.	CALCULO DE LA PRUEBA.....	173
II.9.6.	OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	176
II.9.7.	FOTOGRAFÍAS.....	178
II.10.	DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DE LOS ÁNGELES.....	181
II.10.1.	DESCRIPCION.....	181
II.10.2.	OBJETIVO.....	181
II.10.3.	MATERIAL Y EQUIPO.....	181
II.10.4.	MATERIAL Y CARGAS ABRASIVAS.....	183
II.10.5.	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	184
II.10.6.	CALCULO DE LA PRUEBA.....	185
II.10.7.	OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.....	185
II.10.8.	FOTOGRAFÍAS.....	186
II.11	PENETRACIÓN DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFALTICOS.....	188
II.11.1	OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	188
II.11.2	EQUIPO Y MATERIAL.....	188
II.11.3	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	189
II.11.4	CÁLCULO DE LA PRUEBA.....	190
II.11.4	OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.....	190
II.11.5	FOTOGRAFÍAS.....	191
II.12	PUNTO DE INFLAMACIÓN EN CEMENTOS ASFALTICOS.....	192
II.12.1	OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	192
II.12.2	EQUIPO Y MATERIALES.....	192
II.12.3	DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	192
II.12.4	CÁLCULOS DE LA PRUEBA.....	193
II.12.5	OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.....	194
II.12.6	FOTOGRAFÍAS.....	194
II.13	VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL EN MATERIALES ASFALTICOS.....	195
II.13.1	OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	195



II.13.2 MATERIAL Y EQUIPO.....	196
II.13.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	196
II.13.5 OBSERVACIONES DURANTE DE LA PRUEBA.....	197
III.1 INTRODUCCIÓN.....	199
III.1.1 CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO.....	199
III.1.2 ALGUNAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	199
III.1.3 COMPONENTES BÁSICOS DEL CONCRETO.....	201
III.1.3.1 CEMENTO PORTLAND.....	201
III.1.3.2 AGREGADOS PETREOS.....	202
III.1.3.3 AGUA.....	204
III.1.3.4 ADITIVOS.....	204
III.2 DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO.....	205
III.2.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	205
III.2.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	205
III.2.3 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	208
III.3 PRUEBA DE REVENIMIENTO.....	208
III.3.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	208
III.3.2 EQUIPO Y MATERIALES.....	209
III.3.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	209
III.3.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	210
III.3.5 FOTOGRAFÍAS.....	211
III.4 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	212
III.4.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	212
III.4.2 EQUIPO Y MATERIALES.....	212
III.4.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	212
III.4.3.1 DESARROLLO PARA CILINDROS DE CONCRETO.....	212
III.4.3.2 DESARROLLO PARA VIGAS DE CONCRETO.....	213
III.4.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	214
III.4.5 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.....	215
III.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN.....	216
III.5.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	216
III.5.2 EQUIPO Y MATERIALES.....	216
III.5.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	217
III.5.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.....	218
III.5.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	218
III.5.6 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.....	218
III.6 DETERMINACIÓN DEL SANGRADO EN EL CONCRETO.....	220
III.6.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	220
III.6.2 EQUIPO Y MATERIALES.....	220
III.6.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	220
III.6.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.....	221
III.6.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.....	221
III.7 CURADO DE ESPECÍMENES.....	222
III.7.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.....	222



III.7.2 EQUIPO Y MATERIALES .....	222
III.7.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	222
III.7.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA. ....	223
<b>III.8 CABECEO DE ESPÉCIMEN.....</b>	<b>224</b>
III.8.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA. ....	224
III.8.2 EQUIPO Y MATERIALES. ....	225
III.8.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	225
III.8.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA. ....	226
III.8.5 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.....	227
<b>III.9 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.....</b>	<b>228</b>
III.9.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA. ....	228
III.9.2 EQUIPO Y MATERIALES. ....	230
III.9.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	230
III.9.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.....	230
III.9.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA. ....	231
III.9.5 FOTOGRAFÍAS DE PRUEBA. ....	232
<b>III.10 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON. ....</b>	<b>233</b>
III.10.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA. ....	233
III.10.1.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD. ....	233
III.10.1.2 RELACIÓN DE POISSON.....	234
III.10.2 EQUIPO Y MATERIALES .....	234
III.10.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	234
III.10.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.....	235
III.10.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA. ....	236
<b>III.11 RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.....</b>	<b>236</b>
III.11.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA. ....	236
III.11.2 EQUIPO Y MATERIALES.....	238
III.11.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	238
III.11.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.....	238
III.11.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA. ....	239
<b>III.12 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN EL CONCRETO .....</b>	<b>239</b>
III.12.1 DESCRIPCIÓN. ....	239
III.12.2 TIPO DE PRUEBAS .....	239
III.12.3 PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO. ....	240
III.12.4 PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO. ....	241
III.12.4.1 DESARROLLO DE LA PRUEBA.....	242
III.12.4.2 CÁLCULO DE LOS DATOS. ....	242
<b>CAPITULO IV PRUEBAS EN ACERO.....</b>	<b>244</b>
<b>IV.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>245</b>
<b>IV.2 VARILLAS DE ACERO DE REFUERZO EMPLEADAS EN EL CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>246</b>
<b>IV.3 INSPECCIÓN METALÚRGICA MACROSCÓPICA.....</b>	<b>250</b>
IV.3.1 DESCRIPCION Y OBJETIVO DE LA PRUEBA .....	250
IV.3.2 EQUIPO Y MATERIALES.....	250



<b>IV.3.3 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.</b>	<b>250</b>
<b>IV.3.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.</b>	<b>251</b>
<b>IV.3.4 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.</b>	<b>252</b>
<b>IV.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN.</b>	<b>253</b>
<b>IV.4.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.</b>	<b>253</b>
<b>IV.4.2 EQUIPO</b>	<b>253</b>
<b>IV.4.3 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.</b>	<b>253</b>
<b>IV.4.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA</b>	<b>254</b>
<b>IV.4.5 OBSERVACIONES.</b>	<b>255</b>
IV.4.6. FOTOGRAFÍAS.	257
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>258</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES.</b>	<b>258</b>
CONCLUSIÓN DE LOS CAPÍTULOS.	258
CAPITULO I. PRUEBAS DE MECANICA DE SUELOS.	258
CAPITULO II. PRUEBAS EN TERRACERIAS Y PAVIMENTOS.	258
CAPITULO III. PRUEBAS EN CONCRETO.	258
CAPITULO IV. PRUEBAS EN ACERO.	258
<b>ANEXOS</b>	<b>259</b>
<b>FORMATOS PARA PRUEBAS EN MECÁNICA DE SUELOS</b>	<b>260</b>
POZO A CIELO ABIERTO.	261
SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.	262
CONTENIDO DE AGUA	263
LIMITES DE PLASTICIDAD.	264
GRANULOMÉTRICA.	265
PRUEBA DEL HIDRÓMETRO.	266
PRUEBA DEL HIDRÓMETRO.	267
PRUEBA DEL HIDRÓMETRO.	268
CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO	269
PRUEBA DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE.	270
PRUEBA DE PERMEABILIDAD.	271
PRUEBA PESO VOLUMÉTRICO.	272
PRUEBA DE CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO DENSIDAD SÓLIDOS.	273
PRUEBA DE DENSIDAD DE SÓLIDOS.	274
PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE.	275
PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE GRAFICA.	276
PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.	277
PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL GRAFICA.	278
PRUEBA TRIAXIAL (UU).	279
PRUEBA TRIAXIAL (UU) GRAFICA.	280
<b>FORMATOS PARA PRUEBAS EN TERRACERÍAS Y ASFALTOS.</b>	<b>281</b>
LEVANTAMIENTO DE BANCO DE MATERIALES.	282
LEVANTAMIENTO DE BANCO DE MATERIALES PARA MEZCLA ASFÁLTICA.	283
FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE SUBBASE.	284
FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE BASE HIDRÁULICA.	285
FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE BASE MEZCLA ASFÁLTICA.	286
FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE BASE DE CONCRETO HID.	287
PRUEBA DE COMPACTACIÓN EN CAMPO.	288



---

<i>PRUEBA COMPACTACIÓN CONO DE ARENA.....</i>	<i>289</i>
<i>VALOR RELATIVO DE SOPORTE.....</i>	<i>290</i>
<i>PRUEBA COMPACTACIÓN.....</i>	<i>291</i>
<i>PRUEBA DESGASTE DE LOS ÁNGELES.....</i>	<i>292</i>
<i>PRUEBA EN ASFALTOS.....</i>	<i>293</i>
<i>PRUEBA EN ASFALTOS.....</i>	<i>294</i>
<i>PRUEBA PUNTO DE INFLAMACIÓN.....</i>	<i>295</i>
<b>FORMATOS PARA PRUEBAS EN CONCRETO .....</b>	<b>296</b>
<i>INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS DE CONCRETO SIMPLE.....</i>	<i>297</i>
<i>REGISTRO DE COLADO EN SITIO.....</i>	<i>298</i>
<b>FORMATOS PARA PRUEBAS EN ACERO.....</b>	<b>299</b>
<i>FORMATO TENSIÓN EN ACERO.....</i>	<i>300</i>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>302</b>



## I. INTRODUCCIÓN.

Para llevar a cabo un proyecto, intervienen diversas áreas de la ingeniería, debiendo contar con una serie de datos: como los estudios del sitio donde se realizará el trabajo, las necesidades que se tienen de personal y equipo, la cantidad y calidad de los materiales a emplear, entre muchos otros. Siendo necesarios su correcta ejecución y su interpretación de cada una investigación, estudios y pruebas. Con estos datos se realizará un proyecto, seguro, económico funcional, y que sea acorde con la naturaleza.

En la construcción de todo proyecto es necesario tener amplio cuidado en cumplir con los requerimientos de las normas y verificar la calidad de los materiales y la ejecución de los trabajos. Por tal motivo es necesario realizar una serie de pruebas cuyos datos nos den esta certeza y seguridad.

Por lo anterior el objetivo de este manual es brindar apoyo en los procesos de control de calidad que se realizan en campo y en laboratorio, ya que en nuestra experiencia laboral hemos podido detectar que a veces el personal no cuenta con el conocimiento de los materiales, equipos, procesos y cálculos que se deben emplear para evitar alteración en los resultados.

En este manual se explican de una manera práctica la obtención de muestras y la ejecución de las pruebas, ya que se busca hacerlo de una manera practica siguiendo los actuales lineamientos y normas que rigen los trabajos y calidad en una obra civil.

Sirviendo de apoyo durante la formación académica y el área laboral, ya que es de suma importancia el conocer las características y comportamiento de los materiales, y debido a la importancia de la calidad en los proceso de construcción de la obra, nos conduce a realizar diversos métodos y/o pruebas confiables para obtener una buena ejecución.

En este manual se enfoca específicamente en los materiales como: suelo, concreto y acero; cabe mencionar que existen una gran variedad de pruebas para la determinación de características físicas y mecánicas, por lo que seleccionamos las pruebas más relevantes, utilizadas en campo y en el laboratorio.



# CAPITULO I

## PRUEBAS DE MECÁNICA DE SUELOS



## **I.1 INTRODUCCIÓN.**

La práctica de la mecánica de suelos en la carrera de la ingeniería civil es elemental para el desarrollo y la investigación del profesionalista con respecto a los problemas que se presenta en el medio en el que se va a desarrollar una obra civil.

En los suelos se tienen una mayor complejidad por su variabilidad en los materiales que se encuentran así como por su proceso natural de su formación. El ingeniero los tenga que estudiar para determinar su comportamiento.

En el avance del conocimiento en la mecánica de suelos se ha desarrollado en métodos para prevenir o remediar el mal comportamiento de los suelos como materiales de construcción.

En este capítulo mostraremos algunos de los métodos que se realizan en campo y en el laboratorio para el estudio del suelo. Los procedimientos descritos en este capítulo fueron estriados de algunas normas internacionales y mexicanas, así como de la experiencia que se va llevando en el ámbito laboral.



## **I.2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO DEL SUBSUELO.**

### **I.2.1 OBJETIVO.**

Se realiza la compilación de toda la información necesaria del sitio de estudio tales como: localización, características generales que serán determinantes en la toma de decisiones para la exploración geotécnica y la mejor forma para la obtención de muestras.

### **I.2.2. EXPLORACIÓN PRELIMINAR DEL SITIO EN ESTUDIO.**

Para comenzar un estudio de mecánica de suelos para una obra civil es muy importante conocer antes de la realización de los trabajos, observar las características y propiedades, así como, el comportamiento mecánico e hidráulico del subsuelo.

La base de este conocimiento nos llevara a la realización de un mejor análisis y diseño geotécnico para el desplante de la cimentación, de una estructura o la selección del método constructivo más adecuado para su ejecución.

Como se menciona el análisis nos lleva a conocer y aplicar métodos manuales o mecánicos para la exploración y muestreo del subsuelo.

El procedimiento para el muestreo es la técnica que se aplica para obtener un espécimen de forma alterada y/o inalterada para su estudio. (*Manual de diseño de obras civiles CFE*)

Pero antes de los trabajos de muestreo, deben tomarse en cuenta algunos aspectos de la exploración que nos ayudarían a realizar una interpretación preliminar sobre los problemas geotécnicos.

Para realizar los trabajos exploratorios se deberán realizar los trabajos de antecedentes del sitio y se deberán tomar en cuenta lo siguiente:

- ✓ Recopilación de información general del sitio en estudio.
- ✓ Interpretación de fotografías aéreas o satelitales de la zona.
- ✓ Reconocimiento del área en campo.
- ✓ Información fotográfica.
- ✓ Cartografía.

### **I.2.3.LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL SITIO EN ESTUDIO.**

Para una mejor calidad en el estudio geotécnico es necesaria la mayor cantidad de información ya se geográfica, topográfica, geológica, fisiográfica, hidrológica, estratigráfica y/o zonificación geotécnica que se tenga sobre el sitio en



estudio. Estos datos se pueden obtener por medio de instituciones, dependencias u organismos así como estudios desarrollados cerca de la zona o área.

Algunas de estas instituciones pueden ser:

- ✓ EI INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).
- ✓ SMG. (Sociedad Mexicana de Geotecnia.)
- ✓ INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM
- ✓ INSTITUTO DE GEOLOGÍA. DE LA UNAM.
- ✓ INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNAM.
- ✓ CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).
- ✓ CFE. (Comisión Federal de Electricidad).

#### **I.2.4 INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS Y/O IMÁGENES SATELITALES DE LA ZONA**

La interpretación de fotografías aéreas del sitio proporcionadas por un ingeniero geólogo nos permite identificar de manera preliminar las características geológicas del mismo, o fenómenos como la inestabilidad de taludes, fallas, zonas propensas a erosión, en suelos el cual nos ayuda a identificar las características probables de los suelos superficiales así como identificar posibles bancos de materiales.

Además con la ayuda del internet se pueden localizar programas o páginas que cuentan con imágenes o mapas satelitales en el que el ingeniero proyectista o supervisor puede realizar recorridos virtuales para el reconocimiento del sitio, observando las características como posibles vías de acceso, posibles recorridos que se pueden realizar a pueblos, ciudades cercanas al sitio.

Después de haber realizado la recopilación de información preliminar así como la observación de las fotografías o vistas de los recorridos virtuales en el caso de programas o páginas en internet, ya se tendrá una idea de las condiciones del sitio pasaremos al siguiente punto de la investigación.

#### **I.2.5 RECORRIDO PRELIMINAR AL SITIO EN ESTUDIO.**

Ya con la información obtenida previamente sobre el lugar o área de donde se encuentra el sitio en estudio podremos realizar un recorrido, en el cual, se basa específicamente para observar las condiciones del sitio, esto es conocer la base en donde se realizaran y elegirán que tipo y cantidad de sondeos exploratorios que se van a realizar.

La observación es muy importante ya que hay que investigar diferentes aspectos como:

- ✓ Condiciones de las vías de acceso del sitio en estudio.



- ✓ Observación de colindancias (si se encuentra a lado de una construcción observando el tipo de estructuras o sobre si la nueva construcción se encuentra cercas o dentro de aéreas naturales).
- ✓ Características físicas del predio (si se encuentra en planicie, cerca de un río, sobre un talud o un sitio demasiado accidentado, etc.).
- ✓ Servicios con el que cuenta el sitio (agua potable, electricidad, drenaje, etc.).
- ✓ Antecedentes del predio.
- ✓ Características edmatológicas del sitio.
- ✓ Características geológicas.
- ✓ Planos del sitio.

### **I.2.6 NUMERO Y ESPACIAMIENTO DE SONDEOS.**

La decisión del numero de sondeos puedes variar y el cual no existe una regla que permita definirlo.

Usualmente el número de sondeos está en función del área o del perímetro o tamaño de la construcción por estudiar, sin embargo, esta recomendación es aplicable únicamente para el caso de áreas pequeñas.

En el caso de grandes obras el número de sondeos se va a regir en la topografía y geología del sitio.

Otro factor importante y que se debe tomar en cuenta es la magnitud del proyecto, así como el costo y la necesidad de la misma.

La distancia entre sondeos puede ser variable en el cual el ingeniero especialista debe tomar en cuenta las condiciones más desfavorables del sitio por ejemplo zonas de espacios reducidos o en donde se conozcan posibles inestabilidades como derrumbes, deslizamientos, etc.

CFE. (1970). *Geotecnia*. Estado de Mexico: Unidad de servicios Editoriales.



## **I.3. POZO A CIELO ABIERTO.**

### **I.3.1.OBJETIVO.**

La realización de un sondeo tipo pozo a cielo abierto (PCA) tiene como objetivo:

- ✓ Observar las características estratigráficas en la parte superficial del sitio así como la compacidad o consistencia que tenga el material encontrado.
- ✓ Observación del tipo de cimentación en colindancias dentro del perímetro del predio.
- ✓ Obtención de muestras alteradas representativas de las paredes del pozo ya sea a cada 20cm o cambio de estratos bien definidos.
- ✓ Obtención de una muestra cubica de material inalterado de los estratos principales.
- ✓ Detección del nivel de aguas freáticas (NAF).

### **I.3.1.EQUIPO Y MATERIAL.**

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| ✓ Pico                        | ✓ Manta de cielo                        |
| ✓ Pala                        | ✓ Brea y parafina                       |
| ✓ Machete y cuchillo.         | ✓ Cuerda de guitarra                    |
| ✓ Espátula de abanico.        | ✓ Charola                               |
| ✓ Barreta.                    | ✓ Cajones de madera                     |
| ✓ Flexometro                  | ✓ Arco de segueta con alambre de acero. |
| ✓ Parrilla eléctrica o fogata | ✓ Bote de 1 Lt.                         |

### **I.3.3.DESARROLLO DE LA PRUEBA:**

La construcción de un pozo a cielo abierto (PCA) puede realizarse en forma cuadrada o circular, esto es de acuerdo a la técnica de estabilidad de las paredes de la excavación (SMMS. (2001). *Manual de Cimentaciones Profundas*. Ciudad de Mexico: SMMS.)

Cabe mencionar que esta técnica de exploración puede realizarse en forma manual (pico y pala) o por medio de maquinaria tratando de dejar la ultima parte sin excavar para terminar el último tramo en forma manual (pico y pala) esto es para evitar alguna alteración del suelo, y realizar la extracción de material inalterado (obtención de la muestra cubica).

La profundidad también podrán ser de forma variable con forme a:

- ✓ La obra a realizar
- ✓ Dureza del material si es de la forma manual.



- ✓ Al encontrar el nivel de aguas freáticas si es que no se cuenta con equipo de bombeo.

Conforme a la profundidad en el cual se excavara el pozo a cielo abierto como se menciona anteriormente, así como también el tipo de material que se localice es conveniente que el ingeniero supervisor tome en cuenta realizar un pequeño cálculo de estabilidad de las paredes del pozo a cielo abierto.

En los pozos excavados si se encuentra material cohesivo (arcillas, arcillas limosas, etc) se podrá tener una profundidad  $Z_{max}$  sin llegar a la necesidad de ademar sus paredes cabe mencionar que en su aplicación deberá tomarse en cuenta aplicar un factor de seguridad de 3, donde:

$$Z_{max} = 4C / (\gamma \sqrt{K_a}).$$

$Z_{max}$  = Profundidad máxima de excavación.

C = Cohesión del material

$\gamma$  = Peso volumétrico de la arcilla

$K_a$  = Coeficiente de empuje activo

#### I.3.4. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS.

- a) La muestra será obtenida en la parte del piso de la excavación o de una de las paredes de la parte terminal de la excavación como se muestra en la figura siguiente.

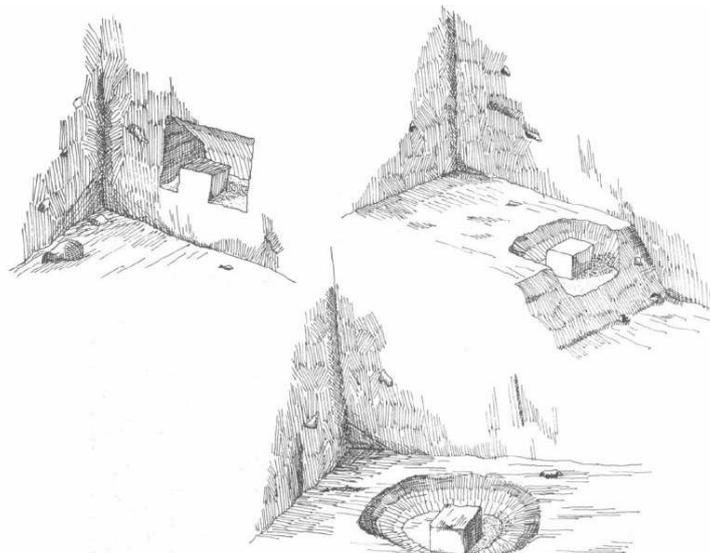


FIGURA I. 1 Extracción de muestras cúbicas



- b) Se marcará un cuadro de dimensiones por lado, esto es para tener un marcado para el labrado de la muestra (cabe mencionar que el tamaño de la muestra cubica no debe ser menor a 20cm).
- c) Deberá tenerse cuidado de no dañar la muestra si el proceso de labrado es a presión o por impacto tratando de que se lleve el corte lo mas horizontal posible.
- d) Una vez que se tenga el labrado de la muestra deberá envolverse con manta de cielo y recubrirlo con brea y parafina previamente preparada y diluida.
- Cabe mencionar que la preparación de estos dos materiales deben ser los siguientes:
    - ✓ Se pondrá a calentar un bote, agregando 4 partes de parafina y 1 de brea en porción hasta que estos materiales se deshagan y combinen.
    - ✓ Ya preparados estos materiales se pasara a cubrir con la manta de cielo en los lados de la muestra cubica.
    - ✓ El resultado será la adhesión de la manta de cielo con la muestra inalterada tiene como objetivo la protección contra la perdida de agua y su posible alteración al ser transportada o manipulada.
- e) Una vez realizado el proceso de protección del las 5 caras se procede a la separación del cubo del suelo tratando de no fracturar y dañar la muestra.
- f) Terminando el proceso de separación de la muestra se realizara el proceso de recubrimiento de la cara faltante.
- g) Una vez extraída la muestra cubica es conveniente que su transporte sea de una forma cuidadosa ya sea dentro de una caja de madera forrada interiormente con un material que amortigüe de alguna posible vibraciones o golpeteo a la hora de su traslado al laboratorio.
- h) Además de la obtención de la muestra cubica no olvidemos la recolección de material representativo (muestras alteradas) deberán ser extraídas a diferentes profundidades o cambios de estrato, con una cantidad de material suficiente para su posible estudio en laboratorio. Una vez obtenido las muestras serán embolsadas y bien etiquetadas como se muestra a continuación:

Obra: _____	Fecha: _____
Tipo de sondeo: _____	No de sondeo: _____
Profundidad: _____	NAF: _____
Clasificación: _____	
Operador: _____	

**TABLA I. 1 Etiqueta de muestreo.**



### I.3.5.FOTOGRAFIAS.



**IMAGEN I.3. 1** Inicio de los trabajos del pozo a cielo abierto



**IMAGEN I.3. 2** Excavación del pozo a cielo abierto



**IMAGEN I.3. 3** Vista de las paredes del pozo a cielo abierto



**IMAGEN I.3. 4** Medidas de los estratos encontrados en el pozo a cielo abierto



**IMAGEN I.3. 5** Observación del material encontrado



**IMAGEN I.3. 6** Muestra del material encontrado en la zona de trabajo.



**IMAGEN I.3. 7** Obtención de muestra cubica en el sitio



**IMAGEN I.3. 8** Empaquetado de la muestra cubica



**IMAGEN I.3. 9** Vista de la cara faltante de la muestra



**IMAGEN I.3. 10** Recubrimiento de la muestra en la cara faltante.



**IMAGEN I.3. 11** Obtención de material alterado del pozo a cielo abierto



**IMAGEN I.3. 12** Toma de medidas del nivel freático



## **I.4. SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.**

### **I.4.1.GENERALIDADES:**

El sondeo tipo penetración estándar (SPT) entre todos los sondeos exploratorios es el más utilizado, además de que proporciona información sobre las características estratigráficas del suelo es sin duda la más extendida en la disciplina de la ingeniería geotecnia, para la determinación “in situ”, y probablemente es uno de los métodos más utilizados en México.

La prueba de penetración estándar (SPT) consiste en el hincado de un penetrometro de percusión, el cual es un tubo muestreador de dimensiones normalizadas con el que tiene como finalidad la obtención de muestras alteradas a una cierta profundidad explorada.

### **I.4.2.OBJETIVO:**

La realización del sondeo de penetración estándar tiene como objetivo:

- ✓ Observar las características estratigráficas del suelo a una mayor profundidad.
- ✓ Determinar por correlación la compacidad relativa de suelos granulares.
- ✓ La consistencia en suelos cohesivos.
- ✓ Obtención de muestras alteradas representativas para determinar en el laboratorio propiedades índice.
- ✓ Detección del nivel de agua freáticas (NAF)

### **I.4.3. EQUIPO:**

El equipo que se incluye para este ensayo es necesario para su aplicación

- ✓ Malacate ligero
- ✓ Sistema de percusión.
- ✓ Tubería de perforación
- ✓ Martinete con un peso de 64 Kg (0.63kN)(conforme a la norma ASTM-D1586)
- ✓ Penetrometro estándar.
- ✓ Bomba de perforación

En las figuras siguientes se muestra el tipo de equipo que se utiliza para el sondeo de penetración estándar (SPT). (“a” y “b”).

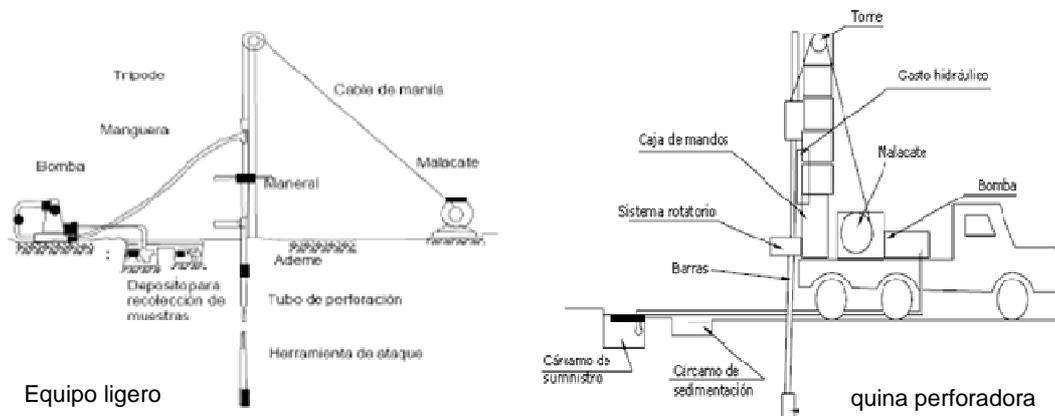


FIGURA I. 2 Equipos utilizados en sondeo SPT

#### I.4.4. DESARROLLO DE LA PRUEBA:

La prueba de Penetración Estándar es una técnica de exploración más utilizada por la geotecnia ya que rinde mejores resultados en la práctica el cual proporciona útil información en torno al subsuelo, consiste en la introducción de un penetrometro de dimensiones estándar e hincarlo con un martillo a una altura normalizada de 0.76m.

El martillo golpea el extremo de la sarta de perforación el cual tiene un peso de 64 Kg (0.63kN) (conforme a la norma ASTM D1586).

El penetrometro estándar o tubo muestreador con el que se obtienen muestras alteradas se hinca a 0.45m (1.5ft) en el fondo de la perforación, se va contando el número de golpes en tramos de 0.15m, 0.30m y 0.15m tomando en cuenta los últimos 0.45 m ya que en los primeros 0.15cm se considera como material de azolve o zona de alteración que se produce por la perforación.

Las lecturas del golpeo obtenidas “in situ” en los tramos de 0.15m 0.30m y 0.15m del penetrometro conducen a parámetro  $N_{30spt}$  o  $N_{spt}$  denominándolo como Resistencia a la Penetracion Estandar.

Existen numerosas correlaciones entre el valor del  $N_{spt}$  que permiten deducir empíricamente o semiempíricas a partir de las cuales se puede estimar los módulos de deformabilidad.

A continuación se incluye una serie de tablas y figuras en la que se muestra una serie de parámetros correlacionados con el valor  $N_{spt}$

Para suelos granulares se tiene lo siguiente:

N(SPT)	Descripción	Valor Cr
0-5	Muy floja	0-5
5-10	Floja	5-30
10-30	Media	30-60
30-50	Densa	60-95
CR= COMPACIDAD RELATIVA		

TABLA I. 2 Correlación SPT y valores de resistencia en suelos arenosos.

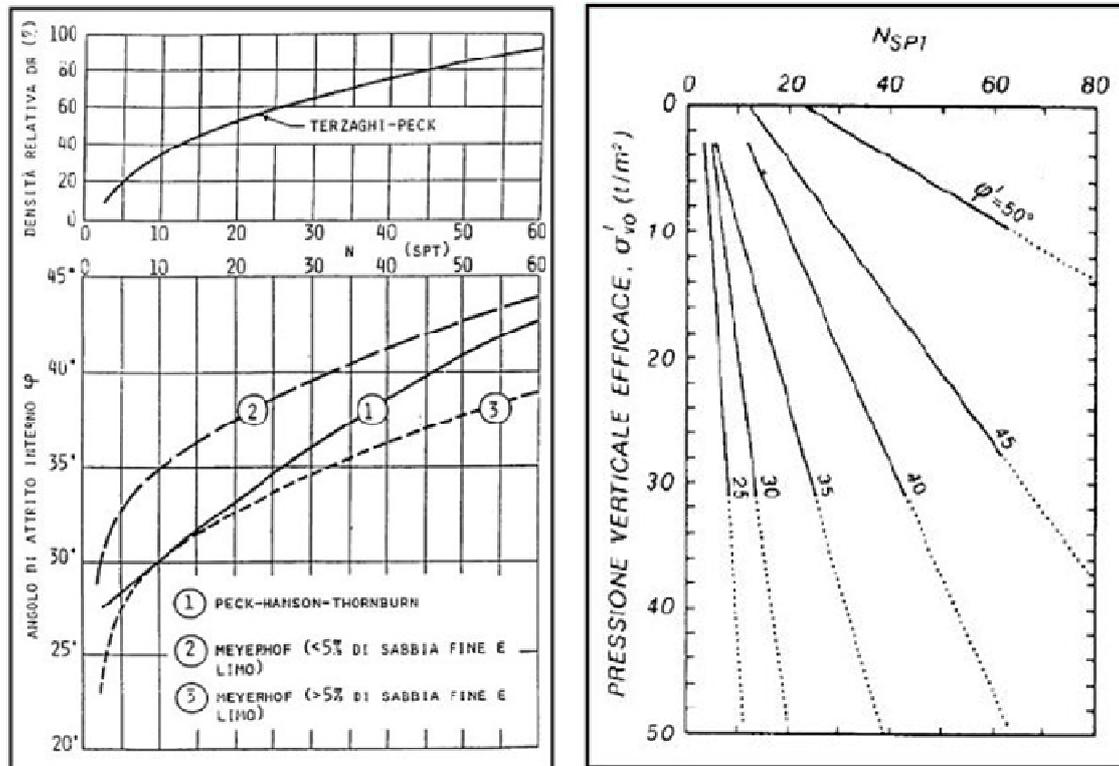


FIGURA I. 3 Correlaciones Meyerhof y Peck (1974) y correlación de Mello (1871)

Numero de golpes	Consistencia	Resistencia a la compresión no confinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angulo de fricción	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
0-2	Muy blanda	0-0.25	0	3
2-5	Blanda	0.25-0.50	0-2	30
5-10	Medio firme	0.50-1.0	2-4	45-90
10-20	Firme	1.0-2.0	4-6	90
20-30	Muy firme	2.0-4.0	6-12	200
>30	Dura	>4.0	>14	>200

E= MODULO DE RIGIDEZ DEL SUELO.  
 $\gamma_{SAT}$ =PESO VOLUMÉTRICO SATURADO DEL MATERIAL

TABLA I. 3 Resumen con correlaciones del ensayo SPT para suelos arcillosos

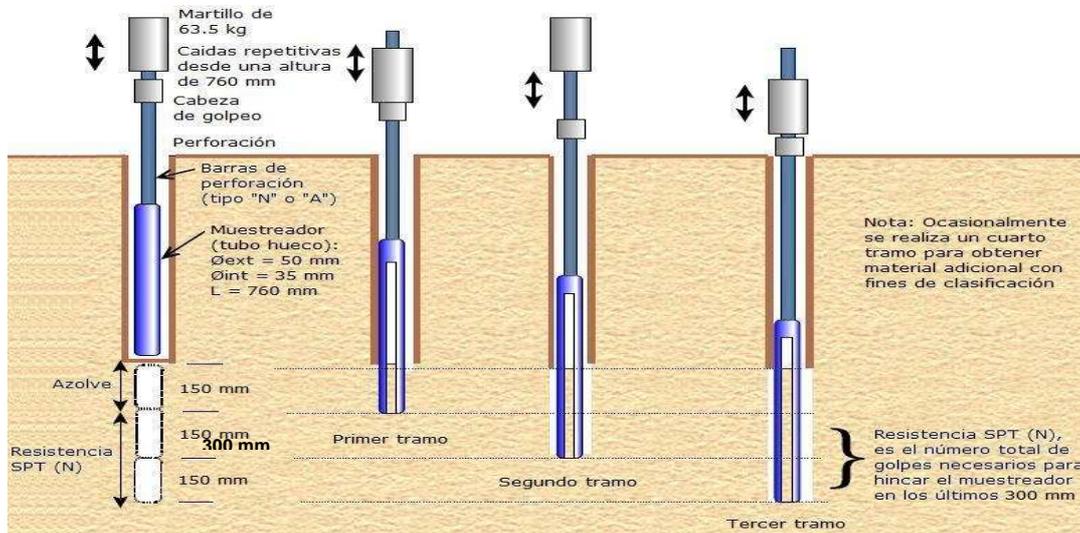


FIGURA I. 4 Desarrollo de la prueba SPT

Los resultados que se obtienen por medio de esta prueba son:

- ✓ Definir la estratigrafía del sitio
- ✓ Determinar por correlación la compacidad relativa de suelos granulares.
- ✓ La consistencia en suelos cohesivos.
- ✓ Determinar por correlación el posible peso volumétrico saturado.
- ✓ Determinar por correlación el posible ángulo de fricción del suelo
- ✓ Conocer por correlación el modulo de rigidez del suelo.
- ✓ Obtención de muestras alteradas para determinar en el laboratorio propiedades índice.

Cabe mencionar que el ensayo que aunque se tenga por nombre de "estándar" tiene muchas variables y fuentes de diferencia, en especial la energía que llega al tubo muestreador del cual depende del equipo empleado por lo que es necesario aplicar factores de correlación para expresar los resultados en función de la energía entregada.

#### I.4.5. EQUIPO DE PERFORACIÓN:

Para la realización de un sondeo se tienen varios aspectos que se deben tomar en cuenta desde el muestreo, el avance y rimado de la perforación en cual nos dará una buena calidad en el sondeo.

El primer punto que debe tomarse en cuenta es conocer las características el equipo con que se cuenta en la tabla algunas características de tipo de maquinas los cuales es importante conocer.



Tipo.	Profundidad con barras (m).			Capacidad de perforación (tamaño de barras) (m).				Peso (T)	Carrera del gasto (m)	Empuje vertical		Capacidad de malacate (T)	Velocidad de malacate (T)	Potencia del motor (HP)
	Ax	NX	Espiral 6"	EW	AW	BW	NW							
MOVIL DRILL B61	600	450	90					3.7	1.72	4.8	6.3	3.45	65 – 350	97
MOVIL DRILL B40L	152	100	46					3	3.7	4.2	3.0	2.6	0 -518	97
MOVIL DRILL B305	50		23					1.3	1.73	2.9	3.8	3.2	58 – 455	54
MOVIL DRILL B53		300						1.8	1.2	8.6	8.6		27 – 716	97
ACKER MP 100	390	300	45					2.2	3.3	8.5	5.2	4.6	43 - 287	48
ACKER MP 50	390	300	45					2.0	1.8	3.2	4.2	4.4	50 – 335	48
ACKER HILLBILLY				380	305	230	200	9.5	0.6			5.2	156 – 1000	22.5
PENDRIL PD	137	100	40					2.1	1.8	3.1	3.1	3.3	60 – 1100	38
LONG YEAR 34	426	266			480	389	305	1.13	0.6	3.2	3.2	3.3	22 – 1510	30
LONG YEAR 44				1220	976	762	488	2.05	0.6			5.55	205 – 2200	59

Manual de cimentaciones profundas de la Smms

**TABLA I. 4 Maquinas de perforadoras para geotecnia de mas uso en México (SMMS –CFE).**

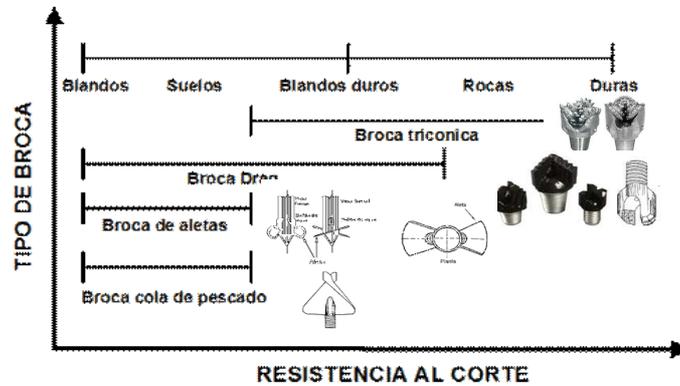
Otro equipo importante es la broca para la perforación el cual será utilizado conforme a al tipo y dureza del suelo.

En este punto se mostrara una breve descripción sobre los tipos de brocas que se utilizan así como su aplicabilidad en el tipo de suelo. (Manual de cimentaciones profundas SMMS y manual de geotecnia de la CFE).

Tipo	Tipo de material	Fluido de perforación	Características
Broca ticónica	Basalto y tobas muy duras	Aire Agua Lodo	3 conos giratorios con dientes de abrasión de forma esférica y prisma, La perforación con este tipo de broca se efectúa generalmente por medio de bomba de lodos, agua, esto es para enfriarla, y arrastrar el material cortado a la superficie.
Broca Drag	Tobas y suelos blandos	Aire Agua Lodo	Pieza solida que tiene tres planos radiales de corte protegidos con pastillas de carbonato de tungsteno, es necesario utiliza con fluido de perforación (lodo, agua) para el calentamiento extremo de la broca.
Broca de aletas	Suelos blandos	Agua Lodo	Consta de dos placas triangulares ligeramente alabeadas con su vértice en la parte inferior, aunque también pueden ser rectangulares
broca de cola de pescado	Suelos blandos	No requiere	Consta de dos placas triangulares ligeramente alabeadas con su vértice en la parte inferior, aunque también pueden ser rectangulares y entonces la parte inferior es recta

**TABLA I. 5 Características de brocas.**

En la figura que se presenta a continuación muestra un criterio para la elección del tipo de broca para el tipo de suelo (manual de cimentaciones profundas SMMS -CFE).



**FIGURA I. 5** Criterio de selección de brocas de perforación con respecto al tipo de material encontrado in situ.

El tercer punto que es importante conocer es sobre el equipo de bombeo ya que se utiliza para el enfriamiento de las brocas y la inyección de fluido en la perforación durante el sondeo.

Se tienen dos tipos las cuales son:

1. De pistón. Las cuales son capaces de manejar agua y lodos de muy baja densidad.
2. Cavity Progresiva: las cuales manejan agua y lodos de alta densidad con sólidos en suspensión.

Cabe mencionar que las más utilizadas son las de cavidad progresiva ya que este tipo de bombas se trabaja con presiones bajas y gastos altos y con ello reducen el efecto erosivo del chiflón de descarga y tiene la ventaja de que con el lodo bentonítico o polímero y agua ayuda no utilizar ademe metálico ya que provoca un recubrimiento y estabilidad en las paredes para evitar derrumbes además de que reducen el efecto erosivo del chiflón de descarga de la bomba.

En la siguiente figura se muestra el tipo de bombas utilizadas en sondeos geotécnicos, así como, sus características:

Modelo	Tipo	Gasto máximo (lt/min)	Presión Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	Potencia (HP)	Peso (kg)	Opera
Moyno 3L6	Cavidad progresiva	162	16	7.5	250	H <sub>2</sub> O y lodo denso
Royal Bean 420	Pistón triple	132	35	7.5	350	H <sub>2</sub> O
Barnes Mod. caracol	Centrifuga de alta presión.	150	8	10		Lodos medios

Figura extraída del manual de diseño de obras civiles CFE

**TABLA I. 6** Bombas para exploración geotécnica.

Las barras de perforación son una herramienta indispensable que se utiliza durante el sondeo exploratorio ya que nos ayudan a llegar a la profundidad



deseada al ser conectadas entre ellas la longitud de las barras que llegamos a encontrar son de 1.50m y 3.00 m las más utilizadas, el tipo de barras a utilizar dependerá del tipo de suelo encontrado o equipo que se utilizara para la exploración. En la tabla siguiente se muestra el tipo de barras que se utilizan con frecuencia durante la exploración.

Tipo de barras	Características
EW	Se utilizan para sondeos superficiales, pruebas de veleta y cono eléctrico.
AW y BW	Se utilizan para sondeos de muestreo penetración estándar.
BW y NW	Se utilizan para operación de muestreadores rotatorios.

**TABLA I. 7 Características de las Barras de perforación más usuales.**

Barra	$\Phi_e$		$\Phi_i$		$\Phi_c$		Peso Kg/ml	Cuerdas por pulg.
	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm		
EW	1 3/8	34.9	7/8	22.2	7 /16	12.7	4.6	3
AW	1 23/32	44.4	1 7/32	30.9	5/8	15.9	6.5	3
BW	2 1/8	54	1 3/4	44.5	3/4	19	6.2	3
NW	2 5/8	66.7	2 1/4	57.2	1 3/8	34.9	8.0	3

Longitud estándar 3.05 m (10 pies) y 1.50 m (5 pies)  
 $\Phi_e$  Diámetro exterior  $\Phi_i$  Diámetro interior  $\Phi_c$  Diámetro interior del cople

**TABLA I. 8 Medidas de las Barras de perforación más usuales.**

Los ademes son otra de las herramientas que no pueden faltar en los sondeos exploratorios ya que tienen como función la de recubridor de paredes inestables y en los cuales se hacen pasar muestreadores véase en la siguiente tabla.

Ademes	Utilización
NW	Ademe metálico el cual permite el paso del penetrometro estándar.
HW	Permite el paso de los muestreadores Shelby y Deninson

**TABLA I. 9 Características del ademe metálico**

Barra	$\Phi_e$		$\Phi_i$		Peso Kg/ml	Cuerda pulg.
	Pulg	mm	Pulg	mm		
NW	3 1/2	88.9	3	76.2	39.1	4
HW	4 1/2	114.3	4	101.6	51.3	4

$\Phi_e$  Diámetro exterior  $\Phi_i$  Diámetro interior

**TABLA I. 10 Medidas del tipo de ademe**

El muestreador de doble caña o tubo partido es un muestreador que permite trabajar una amplia variedad de suelos.



**FIGURA I. 6 Barra metálica**



**FIGURA I. 7 Ademe metálico**

El muestreador utilizado consiste, de acuerdo a la norma ASTM D 1586-99, en un tubo de diámetro interno el cual esta partido en dos de forma longitudinal, con una cabeza de corte o zapata fabricada de acero templado el cual puede ser reemplazada o reparada cuando se distorsiona o se abolla la punta.

Este muestreador está constituido, esencialmente en sus extremos por una cabeza y una zapata.

La cabeza se utiliza para unir el muestreador a las barras de perforación además tiene un dispositivo obturador para evitar que la muestra se deslice cuando se recupera el muestreador esto es, que durante el muestreo la muestra comprime el aire encerrado en el tubo la presión levanta el obturador, generalmente una pelota de hule, y permite la salida de aire.

Una vez terminado el muestreo, el obturador vuelve a sellar la salida, y el vacío que genera en la parte superior del tubo se opone a todo movimiento de la muestra.

La zapata tiene un borde con filo lo que hace que corte la muestra del subsuelo además de facilitar el hincado.

El diámetro interno del muestreador es constante y de 35mm aproximadamente. Se pueden fabricar de longitud efectiva variable entre 0.457 a 0.762 m, como se puede observar en la figura siguiente. Este equipo es ideal para la extracción de muestras inalteradas en casi todo tipo de suelo, excepto en los suelos con una gran cantidad de grava o boleos.

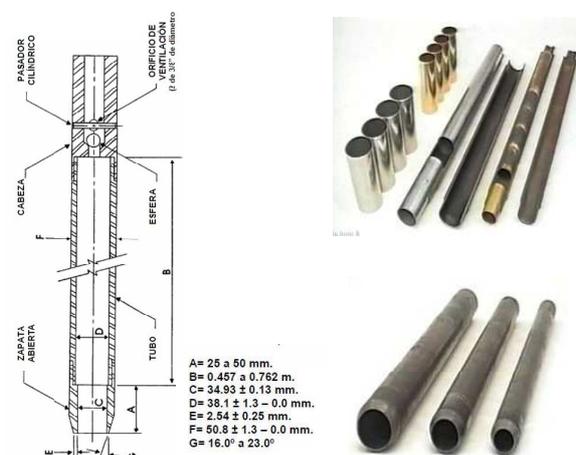


FIGURA I. 8 Características de tubo muestreador o doble caña.

Dentro del sondeo de exploración existen otro tipo de muestreadores los cuales como se menciona anteriormente dependerán su uso del tipo de suelo que se lleguen a encontrar.

Durante un sondeo exploratorio se llega utilizar una combinación de muestreadores, a este tipo de sondeos se les conoce como sondeos de

penetración mixtos en los cuales nos ayuda en la recuperación de muestras inalteradas como muestras alteradas.

A continuación se dará una breve descripción del muestreador tipo shelby.

El muestreador tipo shelby en un tubo abierto y liso de pared delgada está constituido por un tubo de acero o latón con el extremo afilado y el otro extremo cuenta con cuerda interior para ser acoplado o cuenta con tres perforaciones distribuidos en el extremo para ser acoplado, cuenta con un accesorio que es conectado en la parte superior del tubo el cual tiene como nombre de cabeza o cabezal.

Cabe mencionar que se cuentan con dos tipos de cabezales el primero es de tres tornillos allen y el segundo es de cuerda exterior que acopla al tubo.

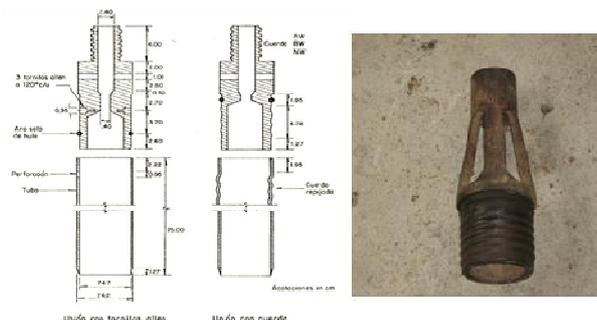
Este tipo de muestreador es el más utilizado para suelos blandos y suelos con poca dureza.

La cabeza tiene perforaciones laterales y una válvula esférica de pie que abre durante la etapa de muestreo.

Su función del cabezal en las perforaciones permiten el alivio de la presión al interior del tubo y la válvula, una vez que se cierra, esto protege a la muestra de las presiones hidrodinámicas que se generan durante la extracción del muestreador.

El muestrador que se muestra a continuación contiene una válvula deslizante en la que se sustituye la válvula esférica de los muestradores por un mecanismo.

El cople de unión a la columna de barras de perforación, tiene un tramo cuadrado al que se enrosca la barra de perforación que termina en una ampliación con un aro-sello; en esta barra desliza la pieza a la que se fija el tubo muestreador y que tiene agujeros para el drenaje del fluido de perforación del interior del tubo



**FIGURA I. 9 Características de tubo muestreador Shelby**

Se tiene que tomar algunas precauciones antes de colocar el tubo Shelby para la extracción del material como se describe a continuación:

- ✓ Se deberá colocarse aceite en la unión del cabezal con el tubo de pared delgada y atornillarse.



- ✓ Es recomendable barnizar el interior del tubo ya que esto nos asegurara que el material extraído no sufra alguna alteración ya que el tubo llega a sufrir oxidación y esto nos alteraría la muestra.
- ✓ Deberá cerciorar que el tubo de pared delgada en la parte inferior cuente con un filo apropiado y no presente aboyadoras ya que esto podría dañar la muestra.
- ✓ Antes de iniciar el muestreo deberá cerciorarse que la perforación del sondeo deberá estar limpio de material residual de la perforación esto es que las paredes deberán estar perfectamente estabilizadas con lodos bentoníticos o polímero o en su caso la utilización de ademe.
- ✓ El muestrador deberá hincarse a presión en forma continua con una velocidad aproximada entre 15 y 30 cm/seg.
- ✓ Una vez hincado el tubo se deberá dejar por algunos minutos para la estabilización del material confinado.
- ✓ Ya estabilizado el material antes de sacar el tubo deberá realizar pequeños giros de las barras de perforación esto es para hacer un corte del material extraído con la parte inferior.
- ✓ Se sacara el muestrador y se mide la recuperación obtenida esto es, la relación entre la longitud de la muestra y la profundidad de penetración del muestrador.
- ✓ En la siguiente formula se expresa cualitativamente la calidad que se alcanza en cada operación del muestrador.

Donde:

Rec= % de recuperación

L= Longitud de recuperación.

L= Longitud de recuperación.

$$Rec = \frac{L}{H} \times 100$$

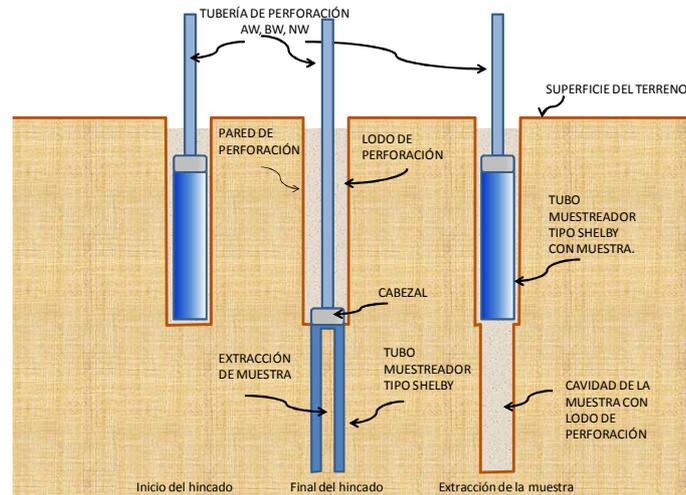
- ✓ En la tabla que se muestra se tiene el porcentaje de recuperación que deberá de tomarse en cuenta a la hora de haberse obtenido la muestra

% de Recuperación	Calidad
100%	Excelente
80%	Bueno
50% - 80%	Malo
Menor 50%	Inaceptable

**TABLA I. 11 Recuperación de la muestra**

- ✓ Una vez extraído el tubo se les colocaran en la parte inferior y superior del tubo tapones de manta de cielo con brea y parafina para sellar perfectamente y evitar su alteración.
- ✓ Se le colocara con una etiqueta o en su caso en el tubo con un marcador la dirección inferior del tubo con una flecha, así como, los datos

correspondientes A su localización, profundidad, núm. # del tubo tipo de sondeo, etc.



**FIGURA I. 10 Desarrollo de extracción de muestras con tubo Shelby.**

Otro tipo de muestreador que se utiliza en un sondeo y que a continuación se describe es el tipo Denison.

Dentro de la categoría de los muestreadores existen muestreadores que operan a rotación y presión estos son conocidos como barriles que consta de dos tubos concéntricos los cuales están sujetos a una cabeza.

El principio de operación consiste en que por medio de la rotación el tubo exterior corta la muestra, mientras el tubo interior permanece sin rotar, tomando la muestra por presión a medida que avanza el muestreador.

Para la utilización de este tipo de muestreadores es necesario utilizar fluidos de perforación el cual hace circular por la columna de perforación y entre los tubos concéntricos.

Existen tres tipos de muestreadores de este tipo como es el Pitcher, tubo hueco con broca helicoidal y Denison el cual trata este apartado.

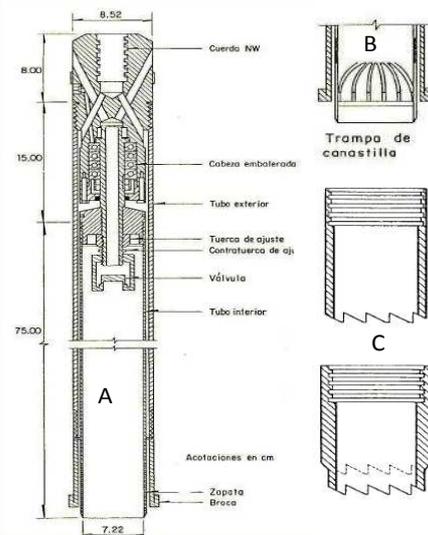
Este muestreador es utilizado en suelos duros como son arcillas dura, limos cementados con pocas gravas que se llegan a encontrar después del nivel freático.

Como se menciona anteriormente el Muestreador Denison consta de de dos tubos concéntricos.

El Tubo exterior consta de una zapata dentada que corta el material por rotación mientras que el tubo inferior consta de una zapata cortante que sobresale del tubo exterior y está montado sobre un mecanismo de baleros de tal manera evite la rotación y se mantenga fijo, al contrario del tubo exterior fig(A).

Además en el tubo interior se tiene una camisa donde la muestra queda retenida y una pieza con hojas metálicas con el nombre de trampa o canastilla el cual ayuda a retener el material del muestreo (fig. B).

La broca de corte que se utiliza es una pieza de acero con pastillas de carburo de tungsteno que protegen las zonas de mayor desgaste como se muestra en la figura (c).



**FIGURA I. 11 Características muestreador Denison.**

En la siguiente tabla se mostrara los diámetros utilizados y el tamaño de obtención de muestras.

Diámetro nominal	Tubo interior				Tubo exterior				Barras de operación
	De	Di	Dm	L	De	Di	Dm	L	
7.5	7.62	7.22	7.11 7.17	75	8.52	7.92	90	60	BW
10	10.15	9.76	9.61 9.69	90	11.16	10.46	105	75	NW

De= Diámetro exterior, Di= Diámetro interior, Dm= Diámetro de la muestra  
L=Longitud del tubo, Lm=Longitud de la muestra.

**TABLA I. 12 Diámetros del muestreador Denison**

A continuación se describe una rápida descripción del desarrollo de hincado del muestreador Denison:

- ✓ Se bajara el muestreador al fondo de la perforación y se hincara a presión la zapata interior ya que de esta forma se podrá proteger la muestra contar la erosión, así como, se evitara el giro en el tubo interior.
- ✓ El tubo exterior se le dará una velocidad de rotación con forme a los primeros especímenes o tipo de suelo encontrado, esto es para suelos blandos es recomendable una velocidad de 50 rpm y para suelos con material duro una velocidad de 200 rpm.



- ✓ Durante la operación se aplicara una presión vertical que puede ser de hasta 3 tn por medio de un sistema hidráulico.
- ✓ Se hará circular fluidos de perforación durante la extracción de la muestra y para el enfriamiento de la broca. El fluido de perforación circulara por el espacio anular que dejan los dos tubos; en muestreo arriba del nivel freático se debe utilizar aire; podría ser admisible utilizar lodo, solo si se demuestra que la contaminación que induce a la muestra es tolerable.
- ✓ En muestreos abajo del nivel freático puede utilizarse agua o lodo. La presión de operación del fluido de perforación debe ser mínima con que se mantenga limpia la perforación.
- ✓ Cabe mencionar que la distancia que hay entre si los extremos de las zapatas interior como exterior tiene gran influencia sobre el grado de alteración de las muestras.

Es conveniente la modificación de estos para ello es necesario disponer de un juego de zapatas o de un muestreador que cuente con un dispositivo de ajuste. En la tabla siguiente se muestra el ajuste que deberá tener en el muestreador con forme al tipo de suelo encontrado.

Tipo de suelo	d(cm)
Suelo Blando	2
Suelo Duro	0.5
Suelo muy duro	0 o el menor

**TABLA I. 13 Ajustes del muestreador Denison**

Para el registro de datos se podrá tomar como el del tubo Shelby agregando además la velocidad de rotación con el que opero el muestreador.

Ventajas en este tipo de muestreador

- ✓ Permite manejar grandes áreas.
- ✓ Los esfuerzos en la cabeza de corte van disminuyendo durante la operación de perforación.

Desventajas que se tiene son:

- ✓ Manejar relaciones de compensación interna lo que llega a dar una obtención de la muestra sea inadecuada.
- ✓ Daños en el material muestreado por las vibraciones que se presentan durante los trabajos de perforación como de rotación.
- ✓ En suelos donde el nivel freático se encuentra abajo el material muestreado llega a contaminarse con el fluido de la perforación.

El ajuste del tubo interior con respecto a la cabeza de corte tomando en cuenta el material encontrado y el tiempo que lleva para esto hace que sea de muy poco uso y poco recomendable.



#### **I.4.6. MATERIAL PARA ETIQUETAR Y MUESTREAR:**

El material que se presenta a continuación para la realización del método de muestreo de penetración estándar (SPT) se va más abocado a la recolección del muestreo de material alterado ya que es importante tenerlo presente:

Material es el siguiente:

- ✓ Bolsas en forma de tubo de polietileno.
- ✓ Marcador.
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ Bolsas de polietileno
- ✓ Fichas para anotación de datos (tamaño, No. Muestra, sondeo).

#### **I.4.7. POSIBLES ERRORES EN EL SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR:**

Las posibles causas que se llegan a dar en el sondeo de penetración estándar y con llevan a un mal diseño son:

1. Limpieza de zapata el cual al terminar de una prueba de penetración queda con residuos del material y si su limpieza no es la correcta puede afectar en el próximo muestreo.
2. Dentro del sondeo de penetración se utiliza una broca para el lavado de las paredes del sondeo el cual se realizan con polímero o bentonita sódica o en su caso para quitar los residuos de material o caídos de las paredes del sondeo eso puede afectar considerablemente ya que al realizar otro muestreo el penetrometro puede hacer llenado con este material y por lo consecuente tener pequeñas recuperaciones de suelo natural.
3. Otro error que se llega a presentar es que el perforista no llega a hacer el lavado y no limpia el fondo correctamente, y al realizar el hincado del penetrometro puede que este penetrando dentro del material contaminado y por consecuencia se tenga una muy pequeña recuperación de material bueno.
4. Se deberá tener cuidado que el perforista realice el numero de golpes y que al estar manipulando el martinete sea la distancia de caída correcta ya que esto puede afectar en la hora de correlacionar con el numero de golpes.



### I.4.8. FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN I.4 1 Colocación de la máquina perforadora en el sitio**



**IMAGEN I.4 2 Montaje de la máquina**



**IMAGEN I.4 3 Excavación de cala para fluidos de perforación**



**IMAGEN I.4 4 Vista de la colocación del equipo de perforación**



**IMAGEN I.4 5 Colocación de la broca para perforación**



**IMAGEN I.4 6 Inicio del trabajo de perforación (SPT)**



**IMAGEN I.4 7 Vista del muestreo con tubo partido**



**IMAGEN I.4 8 Extracción de la muestra inalterada SPT.**



**IMAGEN I.4 9 Vista del tubo partido con material inalterado**



**IMAGEN I.4 10 Vista del material inalterado**



**IMAGEN I.4 11 Vista del material inalterado**



**IMAGEN I.4 12 vista del material inalterado empaquetado**



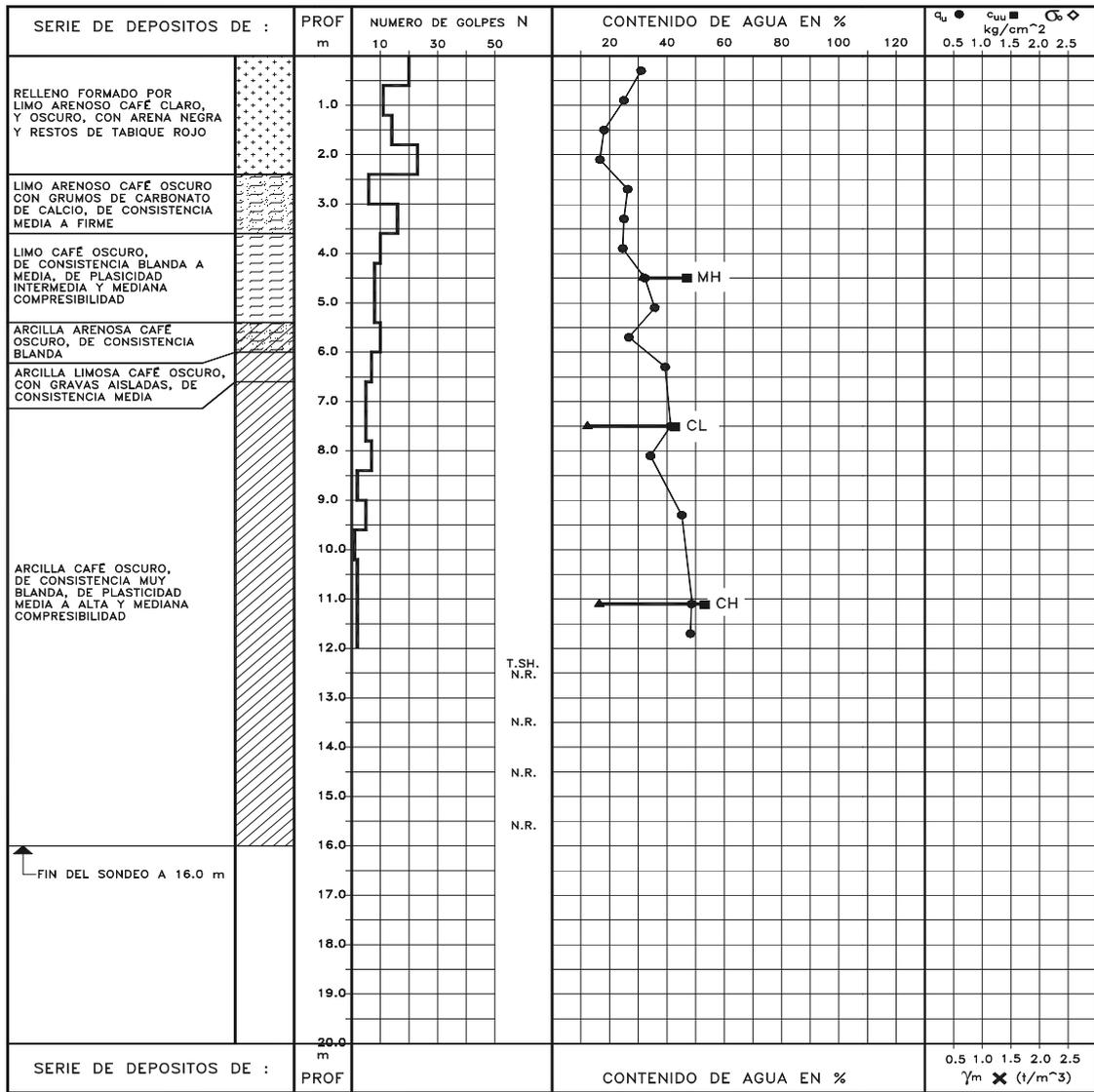
### I.4.9. PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

## PERFIL ESTRATIGRAFICO

OBRA: PARA TESIS

LOC: REPRESENTATIVO

SONDEO: SPT-1 N.A.F.: SIN m



SIMBOLOGIA:

- LIMITE LIQUIDO
- ▲ LIMITE PLASTICO
- A. AVANCE
- P.H. PESO DE HERRAMIENTA
- N.R. NO RECUPERIO

$\gamma_s$  PESO ESPECIFICO SECO (t/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_m$  PESO VOLUMETRICO DEL SUELO (t/m<sup>3</sup>)  
 C.L. CONTRACCION LINEAL (%)

- GRAVA
- LIMO
- MATERIA ORGANICA
- ROCA
- ARENA
- ARCILLA
- RELLENO

Fig.



## **I.5. PRUEBA DE CONTENIDOS DE AGUA.**

### **I.5.1. OBJETIVO.**

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de agua de la masa de suelo, roca y materiales similares obtenida del muestreo.

Esta prueba es posiblemente la más relevante y sencilla en la mecánica de suelos, así como, la primera propiedad índice que se obtiene en cualquier estudio geotécnico.

La determinación de esta propiedad nos ayuda a definir la cantidad de agua que contiene el espécimen y permite determinar las tres condiciones principales que son: sólido, agua y aire.

Relacionándolo con los límites líquido y plástico el cual nos proporciona información sobre el probable comportamiento de resistencia y deformación.

### **I.5.2. ALCANCES.**

El alcance que se tiene con esta prueba nos ayuda a conocer la interacción del agua y el suelo, esto se ve en la pérdida de peso que tiene el material al ser extraído el líquido de las partículas.

Para los fines de esta prueba el contenido de agua es el peso que pierde la muestra al someterse a un proceso de secado en horno y el peso de las partículas sólidas es el que tiene la muestra después de someterla a dicho proceso.

El resultado nos ayuda a obtener información complementaria y sobre todo puede dar ideal cualitativa de su consistencia o su probable comportamiento.

Como ejemplo en los suelos que constan, principalmente de partículas finas, la cantidad de agua presente en los poros tiene una influencia decisiva en las propiedades de los mismos, por lo cual, nos ayuda al reconociendo los tres estados principales de consistencia del suelo.

1. Estado Líquido.
2. Estado plástico.
3. Estado sólido.

### **I.5.3. OBSERVACIONES.**

La norma ASTM D2216-98 fija en el intervalo de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  la temperatura óptima para la evaporización del agua y remoción del agua libre para la realización de la prueba.

Así como algunas consideraciones sobre materiales especiales ya sea como suelos orgánicos para reducir el grado de descomposición y el cual recomienda secarlos a  $60^{\circ}\text{C}$  o en un desecador a temperatura ambiente.



Además señala que debe mantenerse el suelo dentro del horno a esta temperatura el tiempo necesario para alcanzar peso constante. El proceso anterior toma usualmente por lo menos 16 hr. y de manera práctica dejar la muestra de un día a otro.

Según la norma ASTM D2216-98 se recomienda que el espécimen del material húmedo sea representativo de la muestra total y con un peso de acuerdo a lo presentado en la siguiente tabla:

Tamaño máximo de las partículas (mm)	Malla Numero	Peso mínimo recomendado para un reporte de $\pm 0.1\%w$	Peso mínimo recomendado para un reporte $\pm 1.0\%$ de w
2 o menos	10	20g	20g
4.75	4	100g	20g
9.5	3/8	500g	50g
19.0	3/4	2.5kg	250g
7.5	1 1/2	10 kg	1kg
75	3	50 kg	5kg

TABLA I. 14 Características de la muestra

#### I.5.4. EQUIPO Y MATERIAL.

- ✓ Muestra de suelo
- ✓ Horno de convección o termostato
- ✓ Balanza de precisión de 0.1 g
- ✓ Desecado
- ✓ Taras o vidrios de reloj
- ✓ Espátula de lápiz.
- ✓ Guantes
- ✓ Franela

#### I.5.5. DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Determinar el peso del recipiente o tara (g), el cual deberá estar en óptimas condiciones, limpio y seco.
- ✓ Seleccionar la muestra representativa para la prueba (tomando en cuenta lo indicado en la tabla de la ASTM).
- ✓ Colocar la muestra húmeda en el recipiente y determinar el peso del recipiente mas la muestra húmeda usando una balanza apropiada, anotar el valor obtenido ( $W_h+t$ ) en el registro.
- ✓ Colocar los recipientes que contiene la muestra en el horno de convección para su secado, durante 24 hr. Aproximadamente a una temperatura de  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ .
- ✓ En caso de que el material orgánico o mineral como es el yeso se deberá tomar en cuenta el párrafo anterior en el que es conveniente bajar la temperatura a  $60^\circ$  o temperatura ambiente.
- ✓ Transcurrido el tiempo de desecación se retira del horno y se coloca en el desecador, dejándola enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.



- ✓ Logrado esto se pesa la muestra y se anota el en el registro ( $W_{ss+t}$ ).

### I.5.6. CALCULO.

Final mente se pasa a la realización del cálculo para determinar el contenido de agua del material con la siguiente expresión.

Donde:

$w\%$ = Contenido del agua del material.

$W_h$ = Peso de muestra húmeda.

$W_s$ = Peso de muestra seca.

$W_t$ = Peso de tara.

$$w\% = \left( \frac{W_{csh} - W_{css}}{W_{css} - W_c} \right) 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

### I.5.6. POSIBLES ERRORES EN LA PRUEBA.

- ✓ Las muestras deberá estar bien empaquetado y en un lugar fresco ya que puede modificar el contenido de agua antes de realizado la prueba.
- ✓ El quipo de pesaje deberá estar en perfectas condiciones y calibrado.
- ✓ Las taras deberán estar limpias y en buen estado.
- ✓ El horno deberá estar en perfectas condiciones ya que si no la temperatura podrá variar y podría carbonizar el material o en su caso no dar la temperatura requerida para extraer el agua del espécimen.
- ✓ No realizar la toma de pesos en el material inmediatamente después de ser extraído del horno ya que los valores podrían variar.

### I.5.7. FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN I.5 1** Peso de las muestras húmedas mas tara



**IMAGEN I.5 2** Registros de los pesos obtenidos



**IMAGEN I.5 3** Colocación de los recipientes con las muestras dentro del horno.



**IMAGEN I.5 4** Peso de las muestras secas y registro de los datos para el cálculo.



## **I.6. PRUEBA LÍMITES DE PLASTICIDAD.**

### **I.6.1.1. OBJETIVO.**

Conocer las características de plasticidad de un suelo cuyos resultados se utilizan para la identificación y clasificación de los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y clasificación AASHTO, además de que la prueba se puede utilizar directamente en las especificaciones de control de suelos a utilizar en terraplenes, en métodos semi-empíricos de proyecto y caracterización de suelos para definir con propiedades índice el perfil estratigráfico del subsuelo para la construcción de una obra civil .

### **I.6.1.2. ALCANCE.**

Como se menciona en el punto anterior el método de esta prueba se usa como parte integral de muchos sistemas de clasificación en la ingeniería para caracterizar la finura de los suelos y especificar la consistencia y compresibilidad del material.

En este capítulo conoceremos los dos métodos aplicables, para la obtención del límite líquido.

1. Método A. Prueba multipunto
2. Método B. Prueba de un punto (prueba rápida).

Conforme a las normas de la ASTM, normas para el muestreo y pruebas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT).

### **I.6.1.3. OBSERVACIONES.**

Conforme a la prueba indicada cabe mencionar cada una de las propiedades del suelo

Plasticidad: Es la propiedad de algunos materiales que les permiten, bajo ciertas condiciones de humedad, mantener la deformación producida por un esfuerzo que les ha sido aplicado en forma rápida sin agrietarse, desmoronarse o sufrir cambios volumétricos apreciables. Esta propiedad es originada por fenómenos electrolíticos, que propician la deformación de una capa de agua absorbida de consistencia viscosa, alrededor de las partículas, cuyo efecto en la interacción de dichas partículas determinan el comportamiento plástico del suelo.

Consistencia: Es el grado de cohesión que tienen las partículas de los suelos arcillosos, estos pueden tener diferentes grados de cohesión dependiendo de la cantidad de agua que tengan, dando como lugar los estados de consistencia.

El contenido de agua que se encuentra en los materiales, es de gran importancia en la mecánica de suelos ya que la diferencia de humedad que se tiene de un

suelo a otro, nos permite definir la propiedad que tienen algunos suelos al deformarse sin producir grietas ni rebotes elásticos.

De acuerdo con el párrafo anterior el contenido de agua de los suelos presentan los siguientes estados de consistencia.

## LÍMITES DE CONSISTENCIA

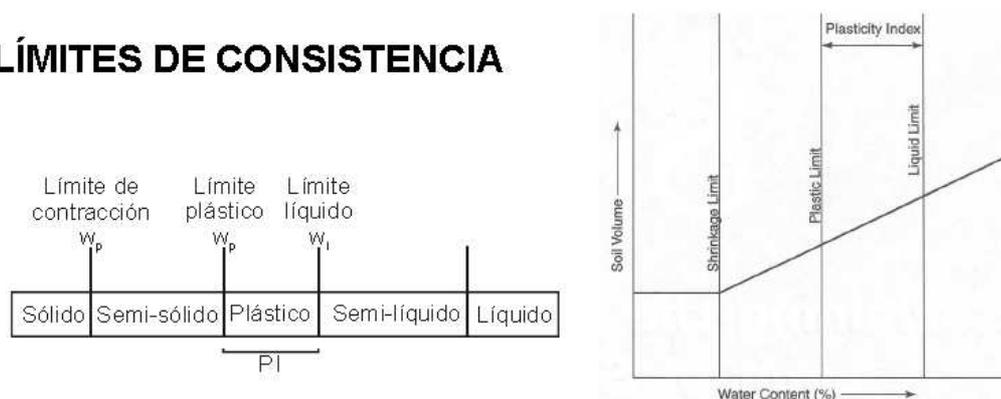


FIGURA I. 12 Estados de consistencia

- ✓ **Estado líquido:** Cuando el material tiene un contenido de agua elevado, las partículas del material se muestran en suspensión.
- ✓ **Estado semi-líquido:** Cuando el suelo tiene un comportamiento de un fluido semi-viscoso.
- ✓ **Estado plástico:** Es el estado en el que el suelo presenta propiedades de maleabilidad.
- ✓ **Estado semi-sólido:** En la que la apariencia del material es la de un sólido, sin embargo al ser sometido a un proceso de secado disminuye su volumen.
- ✓ **Estado sólido:** El volumen del material no presenta cambio alguno aun cuando se le haya sometido a un proceso de secado.

Las fronteras entre los estados de consistencia fueron establecidas por A. Atterberg llamándolos en forma general como "Límites de consistencia":

- ✓ **Límite líquido:** Es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semi-líquido y plástico.
- ✓ **Límite plástico:** Es el contenido de agua que marca la frontera entre el estado plástico y semi-sólido.
- ✓ **Límite de contracción:** Es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semi-sólido y sólido.
- ✓ **Índice de Plasticidad:** Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.





el material dentro de la capsula de bronce, la capa formada por el suelo deberá tener un grueso de aproximadamente 1 cm.

- ✓ Con la punta del ranurador se realizará una rasuración al material, lo más recto posible.
- ✓ Hecha la ranura se comenzara con el movimiento de la manivela del dispositivo a razón de 2 golpes por segundo, contando cuantos golpes son necesarios para que se cierre la ranura a lo largo  $\frac{1}{2}$ " (1.27cm).
- ✓ El material se retira de la copa y se repiten los pasos varias veces hasta que el numero de golpes entre un ensayo y otro sea igual o la diferencia sea solo de un golpe.
- ✓ En la parte cercana a la falla se toma una muestra aproximadamente de 10gr.
- ✓ Se colocara en un recipiente o tara y se tomara su peso y se registrara (Wh+tara).
- ✓ Se colocara al horno durante 24 hr a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  .
- ✓ Terminado el tiempo se extraerá del horno y se dejará que se enfríe a temperatura ambiente y se tomara su peso y se registrara (Wss + tara)
- ✓ Para los siguientes puntos se repetirán los pasos anteriores con la diferencia de que se agregara agua o seicara la muestra según sea el caso,
- ✓ Se deberán obtener por lo menos 4 determinaciones diferentes en el cual deberá haber una diferencia en el numero de golpes, por lo general hay una diferencia de 2 golpes mayores de 25 y 2 golpes menores de 25.
- ✓ El contenido de agua que se agregara a la muestra dependerá del proceso de preparación de la muestra ya sea en estado húmedo o en estado seco.
- ✓ De las muestras tomadas en las cuatro determinaciones de ensaye se deberán obtener los contenidos de agua (w%).
- ✓ Con los valores de contenidos de agua y número de golpes correspondientes se pasara a la realización del cálculo para la obtención de la grafica de curva de fluidez como se muestra a continuación.

#### I.6.1.7. CALCULO DE LA PRUEBA.

- ✓ En la tabla de registro se tiene los siguientes valores de la prueba:

No. Tara	Wsh+t	Wss+t	No. golpes	Peso tara
37	50	36.90	39	11.3
27	50	36.50	24	11.6
32	50	36.00	12	11.3

Tabla I.14 Ejemplo de valores obtenidos durante la prueba de LL

- ✓ Se calculara el peso del agua con la siguiente expresión:



Donde:

$W_w$ = Peso del agua (g).

$$W_w = W_{h+t} - W_{ss+t}$$

$W_{h+t}$ = Peso de material húmedo mas tara.

$W_{ss+t}$ =Peso de material seco mas tara.

- ✓ Obtenemos el peso de material seco con la siguiente expresión.

Donde:

$W_m$ = Peso de la muestra seca (g).

$$W_m = W_{ss+t} - W_t$$

$W_{ss+t}$ =Peso de material seco mas tara.

$W_t$ = Peso de tara.

- ✓ Obtenemos el contenido de agua del material con la siguiente expresión:

Donde:

$W\%$ = Contenido de agua (%).

$$W\% = \frac{W_w}{W_m} \times 100$$

$W_w$ =Peso de agua.

$W_m$ = Peso del material seco.

- ✓ Con la obtención del contenido de agua y el número de golpes se realizara la grafica de fluidez

Se colocara en el eje de las ordenadas el contenido de agua y en el eje de las abscisas el número de golpes en escala logarítmica.

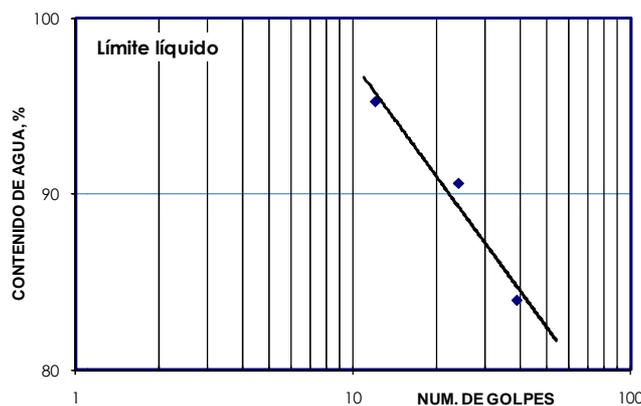


FIGURA I. 14 Curva de Fluidez.

- ✓ Para obtener el valor del límite líquido se realizara lo siguiente.

Como se ve en la grafica o curva de plasticidad los puntos M1, M2 y M3 que corresponden al porcentaje de contenidos de agua con respecto al número de

golpes (N), se interpolara para el valor de 25 golpes, el valor obtenido en él %w corresponderá, al límite líquido.

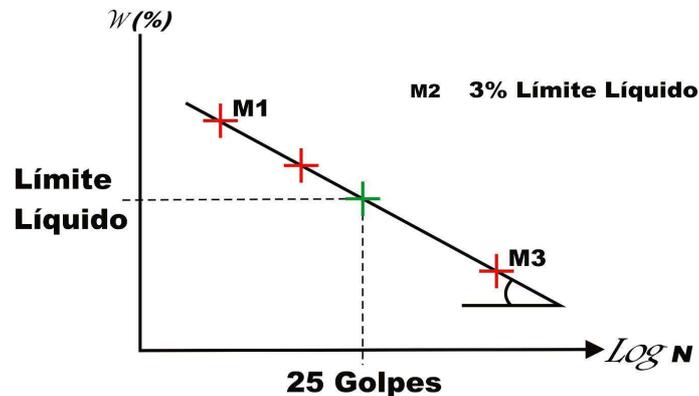


FIGURA I. 15 Ejemplo de curva de fluidez

#### I.6.1.8. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- ✓ No realizar la preparación adecuada en las muestras.
- ✓ No tener calibrado la copa a las especificaciones. Deberá de verificar, antes de realizar cada prueba, que la altura de la caída sea de 1 cm, para lo cual se utiliza el mango calibrador del ranurador.
- ✓ Ranurar mal el material en la copa.
- ✓ No dar el número de golpes por segundo conforme a lo especificado.
- ✓ Permitir que la prueba para obtener los distintos puntos lo realicen personas diferentes.
- ✓ Pesar incorrectamente el material al calcular el contenido de agua (w%).

#### Determinación del límite líquido, método B o de un punto.

El método simplificado conociendo un solo punto de la curva de fluidez. Cabe mencionar que este método resulta ser sencillo en pruebas rápidas pero se tiene el inconveniente que resulta ser muy poco preciso y es recomendado realizar una verificación para validar su resultado.

El procedimiento es similar al procedimiento anterior, excepto que se efectúa una sola determinación de límite, verificando con dos cierres de ranura y aplicando un número de golpes que este comprendido entre 20 y 30.

Tomando la muestra correspondiente al contenido de agua y aplicando el método de lambe se tiene la siguiente expresión:



Donde:

LL= Limite liquido (%).

W%= contenido de agua (%).

N<sub>golpes</sub>= Numero de golpes.

$$LL = W\% \cdot \left( \frac{N_{golpes}}{25} \right)^{0.121}$$

Se tiene otra expresión donde podemos también obtener el límite líquido y es la siguiente:

Donde:

LL= Limite liquido (%).

W = contenido de agua (%).

K= Factor relación N° golpes y LL.

$$LL = K \times w$$

Tabla de relación entre N° golpes y limite liquido (LL).			
N (num. De golpes)	K (factor lara limite liquido)	N (num. De golpes)	K (factor lara limite liquido)
20	0.973	26	1.005
21	0.979	27	1.009
22	0.985	28	1.014
23	0.990	29	1.018
24	0.995	30	1.022
25	1.000		

TABLA I. 15 Relación N° golpes VS LL.

### I.6 .1.8. FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN I.6. 1 Equipo para realizar la prueba



IMAGEN I.6. 2 Preparación del contenido de agua



**IMAGEN I.6. 3** Material colocado en la copa de Casagrande



**IMAGEN I.6. 4** Rasurado de suelo



**IMAGEN I.6. 5** Material rasurado



**IMAGEN I.6. 6** Cierre de 1.27 cm



**IMAGEN I.6. 7** Toma de muestra



**IMAGEN I.6. 8** Peso de material



## **I.6.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO.**

### **I.6.2.1.OBSERVACIONES**

El límite plástico de un suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla No. 4 (0.425 mm), con la que se forman rollos de 3.2 mm de diámetro y 10 cm de largo.

Se determina según la norma ASTM D4318.

### **I.6.2.2.EQUIPO Y MATERIALES:**

El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

- ✓ Placa de vidrio despolido de 20 x 20 cm aproximadamente.
- ✓ Alambre de acero, de 3 mm de diámetro.
- ✓ Horno de secado
- ✓ Balanza de precisión de 200g de capacidad y 0.01 gramos de aproximación.
- ✓ Desecador de cristal con cloruro de calcio anhídrido.
- ✓ Hoja de registro para  $L_p$

### **I.6.2.3.DESARROLLO DE LA PRUEBA:**

- ✓ Se toman de 15 a 20g de la muestra y se rueda sobre una placa de vidrio sin pulir para extraer el agua en exceso dejando la muestra con una consistencia cercana al límite plástico que se va a determinar volviendo a formar una pequeña esfera.
- ✓ Se rueda la muestra sobre la placa de vidrio con la palma de la mano hasta formar un rollo de aproximadamente 3.2 mm de diámetro y 10 cm de largo, éste rollo se cotejara con el alambre de 3 mm el cual servirá como patrón.
- ✓ Se pliega el cilindro, se amasa y se vuelve a rodar hasta que se forma nuevamente un cilindro de 3.2 mm de diámetro con el objeto de que pierda agua por el rodamiento en la placa.
- ✓ Cuando el cilindro se agriete y se empiece a romper en pequeños fragmentos, se dice que el suelo ha llegado a su límite plástico.
- ✓ Se colocan los fragmentos del cilindro entre dos vidrios de reloj o taras previamente pesados y anotándolo en el registro.
- ✓ Se pesa en la balanza y se registra este valor como  $(W_h + t)$ .
- ✓ Se repite nuevamente los primeros pasos con otra porción de muestra para corroborar la determinación anterior los resultados obtenidos se anotan en el registro.
- ✓ Se ponen las muestras a secar en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 hr.
- ✓ Al retirarlas del horno se dejaran enfriar a temperatura ambiente.

- ✓ Terminado el tiempo de enfriamiento se pesaran y registraran como muestra seca +tara ( $W_{ss+t}$ )
- ✓ Los suelos con los que no es posible formar cilindros de diámetro no especificado con ningún contenido de agua se consideran como no plásticos

#### I.6.2.4.CALCULOS DE LA PRUEBA.

Para la obtención del límite plástico se realizara lo siguiente:

- ✓ En la siguiente tabla se muestra los valores obtenidos durante la prueba:

No. Tara	$W_{sh+t}$	$W_{ss+t}$	Peso tara
18	7.0	5.50	0.6
19	7.0	5.50	0.6

**TABLA I. 16 Pesos material**

- ✓ Se deberá calcular el contenido de agua

No. Tara	$W_{sh+t}$	$W_{ss+t}$	Peso tara	Peso de agua (g)	Peso seco (g)	W%
18	7.0	5.50	0.6	1.50	4.90	30.61
19	7.0	5.50	0.6	1.50	4.90	30.61

**TABLA I. 17 Contenido de agua del material**

- ✓ Para la obtención del límite plástico se deberá sacar el promedio de del contenido de agua de los dos puntos.

#### I.6.2.5.FOTOGRAFIAS.



**IMAGEN I.6. 9** Equipo para realizar la prueba



**IMAGEN I.6. 10** Determinación del límite plástico.

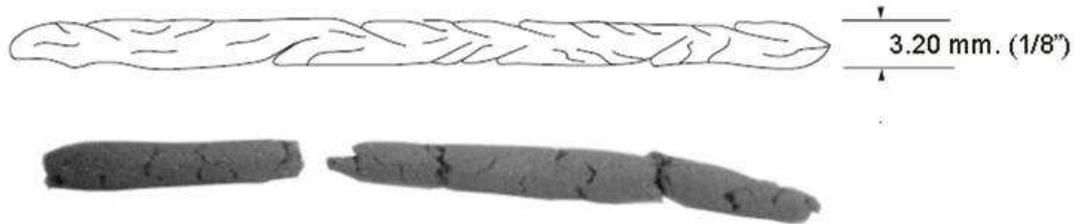


IMAGEN.3 Suelo en el límite plástico

### IMAGEN I.6. 11 Suelo en el límite plástico

#### I.6.2.6.OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA:

- ✓ Mala preparación de las muestras.
- ✓ Toma en el pesado antes y después de meterlo al horno para secado
- ✓ Usar papel adsorbente para acelerar el secado de la muestra

#### I.6.2.7.DETERMINACION DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP):

El índice de plasticidad que se define como la diferencia aritmética entre los límites líquido y plástico

Donde:

LL= Limite liquido del suelo (%).

LP= Limite plástico (%).

IP=Índice de plasticidad (%).

$$IP = LL - LP$$

#### I.6.2.8.CARTA DE PLASTICIDAD.

Con los valores obtenidos de límite líquido (LL), límite plástico (LP) y índice de plasticidad (IP) pasaremos a obtener la clasificación con respecto a la carta de plasticidad

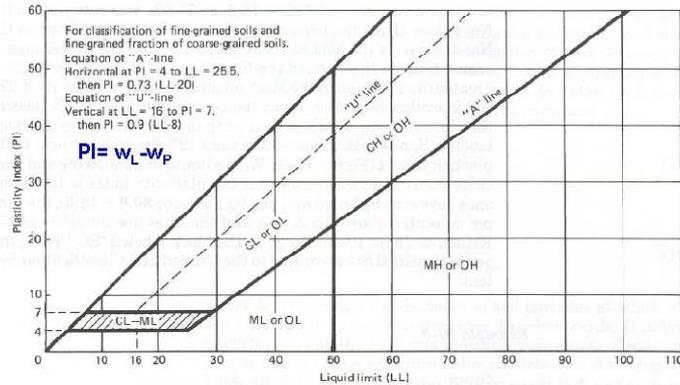


FIGURA I. 16 Carta de plasticidad.

## I.6.3 CONTRACCIÓN LINEAL.

### I.6.3.1.OBJETIVO:

El objetivo de esta prueba se basa en definir en porcentaje la contracción lineal de una muestra de suelo colocada sobre una base o molde de lámina galvanizada al ser sometido al proceso de secado desde una humedad equivalente a la humedad del límite líquido hasta la contracción lineal.

### I.6.3.2. EQUIPO Y MATERIAL:

- ✓ Capsula de porcelana.
- ✓ Espátula de acero de hoja flexible.
- ✓ Molde de lámina galvanizada de 2cm X 2cm x10cm.
- ✓ Calibrador con vernier tipo Máuser
- ✓ Horno de convección o termostato.
- ✓ Grasa grafitada

### I.6.3.3.DESARROLLO DE LA PRUEBA:

- ✓ Con el material usado en la determinación de la prueba de límite líquido.
- ✓ Se agrega a la muestra agua o material menos húmedo tomando de la porción preparada, hasta lograr que la humedad corresponda a la del límite líquido lo cual se puede verificar empleando la copa de Casagrande y cumpliendo con la condición de la prueba.
- ✓ Una vez teniendo el material con las condiciones mencionadas se procede a rellenar el molde de lámina galvanizada con la grasa grafitada para evitar que el material se adhiriera al molde.
- ✓ Se coloca la primera capa de suelo utilizando la espátula después de esto se toma el molde por los extremos y se dan golpes procurando siempre que



los impactos sean en toda la base lo cual lograra tenerse un paralelismo entre la base y superficie con que se golpea esto es para ir retirando las cavidades provocadas por el aire contenido en la muestra, Cabe mencionar que este proceso deberá repetirse para cada capa.

- ✓ Ya que se tiene esto se engrasa el material en el molde.
- ✓ Se dejara a temperatura ambiente evitando que la muestra se exponga directamente a los rayos de sol se dejara hasta que se note un ligero cambio en el color del material.
- ✓ Una vez obtenido esto se procederá a colocarlo en el horno por un periodo de 24 hr. A una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Transcurrido el tiempo se saca del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Se extrae la muestra de suelo del molde y se mide con el vernier la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde.
- ✓ Utilizando la formula se calcula la contracción lineal:

Donde:

CL= Contracción lineal aproximada (%).

L1= longitud inicial de la barra de suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde (cm).

L2= Longitud media de la barra de suelo seco (cm).

$$CL = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100$$

#### I.6.3.4. OBSERVACIONES EN LA PRUEBA:

- ✓ La colocación del engrasado el cual puede ser deficiente y puede provocar que la muestra se rompa al contraerse y en la extracción del molde.
- ✓ El numero de golpes sea escaso y puede provocar que el aire contenido en el material no haya salido de él.
- ✓ El espécimen sea expuesto directamente al sol por largo tiempo o introducirlo directamente al horno después de elaborarlo el cual el espécimen puede sufrir cuarteadura o deformaciones en caso de materiales muy plásticos.
- ✓ Falla en la medición del espécimen en especial cuando la muestra esta arqueada.

### I.6.3.5. FOTOGRAFÍAS:



IMAGEN I.6. 12 Vista de espécimen de contracción lineal



IMAGEN I.6. 13 Vista de suelos después de la prueba de contracción lineal



IMAGEN I.6. 14 Material listo para horno



IMAGEN I.6. 15 Vista de materiales después del horno

## I.7. PRUEBA DE GRANULOMETRÍA.

### I.7.1.OBJETIVO:

La prueba de granulometría tiene como propósito de determinar el tamaño de partícula del suelo que lo constituye y obtener el porcentaje del peso total que presenta cada porción de un mismo tamaño.

El tamaño se fija por una longitud representativa del grano se denomina diámetro. El porcentaje se obtiene relacionando el peso de todo el material menor que cierto diámetro con el peso total de la muestra que se analiza.

### I.7.2. OBSERVACIONES.



En los estudios de mecánica de suelos se ha encontrado que las características granulométricas de un suelo tiene una influencia de mayor o menor facilidad en la compactación el cual puede tener un comportamiento mecánico importante.

Un suelo llega a tener una buena estabilidad si la cantidad de vacios es mínima y para que esto suceda, el material debe tener una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupadas por partículas menores y que a su vez los huecos que dejan estas últimas sean ocupados por partículas finas.

La representación del análisis granulométrico es en grafica originando curvas que no llegan a tener una tendencia.

En el eje de las abscisas en escala logarítmica se presenta el tamaño del diámetro de las partículas y en el eje de las ordenadas el porcentaje del peso de los granos menores que el tamaño indicado por las abscisas.

Cabe mencionar que la representación de la grafica se realiza en forma semi-logarítmica ya que permite mayor amplitud en la representación de los diversos tamaños; gruesos, finos y muy finos.



**FIGURA I. 17 Curva granulométrica**

En los suelos gruesos se hace con el análisis mecánico por medio de cribado haciendo pasar a través de un juego de mallas de diferentes aberturas las cuales se presentan a continuación:



Malla No.	Abertura mm	Abertura In	Malla No.	Abertura mm	Abertura In
4	4.75	0.187	35	0.500	0.0197
5	4.00	0.157	40	0.425	0.0165
6	3.35	0.132	45	0.355	0.0139
7	2.80	0.111	50	0.300	0.0117
8	2.36	0.0937	60	0.250	0.0098
10	2.00	0.0787	70	0.212	0.0083
12	1.70	0.0661	80	0.180	0.0070
14	1.40	0.0555	100	0.150	0.0059



16	1.80	0.0469	120	0.125	0.0049
18	1.00	0.0394	140	0.106	0.0041
20	0.85	0.0331	200	0.075	0.0029
25	0.71	0.0278	270	0.063	0.0021
30	0.60	0.0234	400	0.038	0.0015

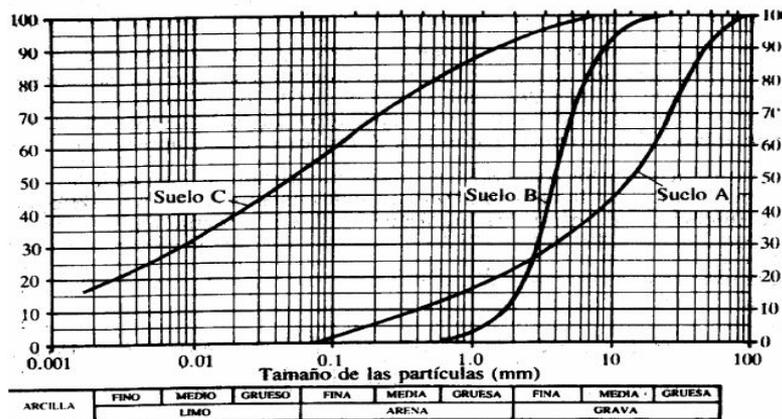
**TABLA I. 18 Tipo de mallas**

En suelos finos se realiza por medio de un análisis hidrométrico, usando un densímetro.

En los siguientes conceptos que a continuación se describen nos pueden ayudar a entender o interpretar la curva granulométrica así como la utilización de los conceptos de coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ).

Se dice suelo bien graduado cuando la curva granulométrica es continua, el cual se tiende de 0 a 40 grados y la variación de los tamaños es completa sin que falte ningún diámetro intermedio como se ve en la (fig 3 suelos A.)

Se dice suelo mal graduado cuando se observa en la curva que tiene fuertes pendientes o su inclinación es mayor a  $40^\circ$  (fig. 3 suelos B)



**FIGURA I. 18 Características de graduación.**

En la curva granulométrica se puede observar si en el suelo existe una buena o mala distribución de tamaños de partículas de la muestra representativa.

Para poder dar una buena descripción sobre un suelo bien o mal graduado se utilizan los coeficientes de uniformidad y de curvatura.

Donde:

$D_{10}$ = Diámetro tal que las partículas de menores tamaños o iguales que representa el 10% en peso del suelo, (El cual es llamado diámetro efectivo o de Hazen.)

$D_{30}$ = Diámetro de las partículas de tamaño menor o igual que representan el 30% en peso del suelo.

$D_{60}$ =Diámetro tal que el 60% en peso del suelo tiene tamaño menor que él.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

La combinación de los diferentes valores de los coeficientes de uniformidad y de curvatura se resume a continuación:

Expresión	Suelo bien graduado		Suelo mal graduado	
	Arenas	Gravas	Arenas	Gravas
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$\geq 6$	$\geq 4$	$< 6$	$< 4$
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	$1 \leq C_c \leq 3$		$1 > C_c > 3$	

TABLA I. 19 Resumen de los coeficientes de uniformidad

### I.7.3. MATERIALES Y EQUIPOS.

- ✓ Balanza con capacidad de 20kg. Sensible a un gramo
- ✓ Juego de mallas de abertura cuadrada.
- ✓ Charola de lámina.
- ✓ Cucharón de lámina.
- ✓ Cepillo de cerdas.
- ✓ Cepillo de alambre delgado.
- ✓ Tapa y fondo para el juego de mallas.
- ✓ Tapa y fondo para el juego de malla.
- ✓ Vasos de aluminio de un litro

### I.7.4. DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ De la muestra integral se pasara a un cuarteo y se tomara una porción como una muestra representativa, se determinara su peso como se muestra en la figura. Cabe mencionar que las muestras deberá estar limpia evitando que contenga materia orgánica.

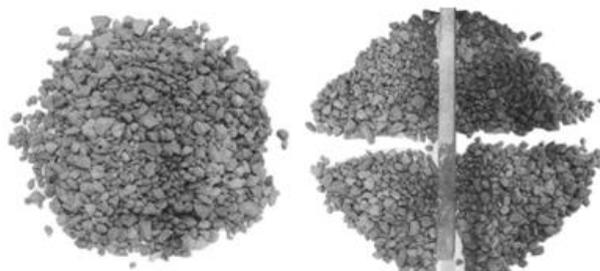


IMAGEN I.7 1 Material integral y cuarteo en muestra.

- ✓ Se ordenaran las mallas en forma descendente según la abertura, una vez realizado esto se colocara el material en el juego de mallas.
- ✓ Se agitara ya sea en forma manual o mecánica.
- ✓ Una vez terminado la vibración se pesa cada una de las mallas con el material retenido en ella a este peso se le resta el de la malla y se obtiene el peso del suelo retenido.
- ✓ El peso del suelo retenido se le resta el peso de la malla y se obtiene el peso retenido
- ✓ La suma de todos los pesos retenidos debe ser igual al peso total de la muestra.
- ✓ Si existe una diferencia del 3 a 5% se deberá de repetir la prueba.



**IMAGEN I.7 2 Cribado de material**    **IMAGEN I.7 3 Peso del retenido de una malla**



**IMAGEN I.7 4 Material retenido por malla.**

1. Se calcula el porcentaje retenido en cada malla.

$$\% \text{rtetenido} = \frac{\sum r}{W_s} * 100$$

2. Se calculara el porcentaje que pasa restando al 100% los valores de los porcentos retenidos en todas las mallas anteriores.
3. Se graficara el porcentaje que pasa contra la abertura de las mallas.
4. Calcular los coeficientes de uniformidad y los coeficientes de curvatura.
5. Realizar la clasificación del sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.



### **I.7.5. POSIBLES ERRORES.**

1. Tiempo insuficiente en el agitado de las mallas
2. Sobrecarga de las mallas.
3. Estado defectuoso de las mallas.
4. Existencia de residuos de material que obstruye el paso del material.
5. Realizar mal el pesaje de las mallas así como el del material retenido.

## **I.8. PRUEBA DEL HIDRÓMETRO.**

### **I.8.1. OBJETIVO.**

El análisis hidrométrico tiene como objetivo obtener aproximadamente la distribución granulométrica de suelos finos el cual no es posible determinar mediante el ensayo con tamices (suelos que pasan la malla No. 200), por este medio se establece el tamaño de partícula que va de los 0.074mm hasta alrededor de 0.001 mm del material en prueba, haciendo una clasificación en suelos finos y obtención del porcentaje el cual se divide en limos y arcillas.

Cabe mencionar que en la prueba granulométrica como en los resultados en la curva de distribución, cuando es más del 12% del material el que pasa a través del tamiz No. 200, no es utilizada como criterio y no existe ningún tipo de conducta específica del material que dependa exclusivamente de la forma de dicha curva. La conducta de la fracción de suelo cohesivo, depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla, de su historia geológica, contenido de humedad y límites de plasticidad, más que de la distribución misma de los tamaños de partícula.

### **I.8.2. OBSERVACIONES.**

El equipo que se utiliza en esta prueba se conoce como hidrómetro o densímetro el cual permite precisar y analizar la medición de las velocidades de sedimentación o el peso volumétrico de la suspensión del material en el líquido en el cual se sumerge con respecto al tiempo.

La prueba se genera sedimentando una suspensión de suelos finos en agua destilada y midiendo la variación del peso volumétrico, de la suspensión del material con respecto al tiempo, a medida que se asientan o sedimentan los granos del suelo.

Además de obtener los datos para la determinación del diámetro equivalente máximo y peso de las partículas en suspensión.

Con este análisis podemos determinar el diámetro de la esfera equivalente que se sumerge dentro del agua a una velocidad igual a la del grano.



Para la prueba del hidrómetro es necesario realizar una calibración ya que esto nos ayudara a obtener buenos datos para calcular el diámetro máximo de partículas en suspensión en el punto 1.9.4 se dará un breve descripción de calibración del hidrómetro

### I.8.3. MATERIAL Y EQUIPO.

- ✓ Hidrómetro en g/lit graduado de 0 a 60, con precisión de 1 lit,
- ✓ Probeta de 500 y 1000 cm<sup>3</sup>.
- ✓ Cloruro de sodio químicamente puro.
- ✓ Compás de punta.
- ✓ Matraces de 500 cm<sup>3</sup>
- ✓ Termómetro con precisión de 0.1 °C.
- ✓ Escala de acero, en mm.
- ✓ Probeta de 100 cm<sup>3</sup>.
- ✓ Balanza de 800 g de capacidad y precisión de 0.01g.
- ✓ Pipeta con agua destilada

### I.8.4. DESARROLLO DE CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO.

Como se menciona en el punto anterior es necesario realizar una calibración en la escala del hidrómetro:

- ✓ Se prepararán y pesarán las cantidades de 8, 16 y 24 gr de sal químicamente pura.
- ✓ Se colocaran 3 matraces con agua destilada hasta la marca de aforo y se registran las temperaturas del agua como también el peso de los matraces con las soluciones antes mencionadas:
- ✓ Con la siguiente expresión podremos obtener el peso volumétrico de los tres especímenes antes mencionados con la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \left( \frac{\text{peso de la solución}}{\text{volumen de la solución}} \right)$$

- ✓ Se pasa una de las soluciones a una probeta de 500 cc y se introduce el hidrómetro y se toma una lectura a la altura del nivel del agua en el registro de colocara esta lectura en peso de sólidos (Ws).
- ✓ Se repetirá la operación para cada una de las soluciones y para una con solamente agua destilada.
- ✓ La siguiente expresión se calculará las lecturas que el hidrómetro se debe tomar en cuenta que puede haber posibles errores en la escala.

Donde:

L= lectura en gr/lit que debería leerse.

$\gamma_a$ = Peso volumétrico aparente de la solución, tomando en cuenta los cambios de temperatura y los cambios volumétricos del bulbo

$$L = \frac{1000(\gamma_a - 1)S_s}{S_s - 1}$$



Ss=Peso específico, valor constante en todos los hidrómetros (2.65).

$\gamma_m$ = peso volumétrico aparente se obtiene a partir del peso volumétrico calculado y de la corrección por temperatura

Donde:

$\gamma_t$ = peso volumétrico del agua T°C.

$\gamma_c$ = Peso volumétrico del agua a 20°C.

$m_t$ = Corrección por temperatura.

$$\gamma_a = \frac{\gamma_m}{1 + \gamma_t - \gamma_c - \frac{m_t}{10^3}}$$

- En la siguiente tabla se muestra los valores de “ $m_t$ ” en el cual se supone que la calibración del hidrómetro es hecha a 20°C. Se deberá poner atención en la temperatura, ya que cualquier cambio en la misma, alterará el peso volumétrico según se muestra en la siguiente tabla.

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA					
T °C	$m_t$	T °C	$m_t$	T °C	$m_t$
14.0	-0.9	20.0	0.0	26.0	1.3
14.5	-0.8	20.5	0.1	26.5	1.4
15.0	-0.8	21.0	0.2	27.0	1.5
15.5	-0.7	21.5	0.3	27.5	1.6
16.0	-0.6	22.0	0.4	28.0	1.8
16.5	-0.6	22.5	0.5	28.5	1.9
17.0	-0.5	23.0	0.6	29.0	2.1
17.5	-0.4	23.5	0.7	29.5	2.2
18.0	-0.4	24.0	0.8	30.0	2.3
18.5	-0.30	24.5	0.9	30.5	2.5
19.0	-0.20	25.0	1.0	31.0	2.6
19.5	-0.1	25.5	1.1		

**TABLA I. 20 Valores  $m_t$  por temperatura.**

- El siguiente punto se realizara la calibración con respecto a la distancia de caída (L) desde la superficie de la suspensión al nivel del centro del bulbo del hidrómetro.
- El cual nos servirá para calcular la velocidad de caída de las partículas de mayor tamaño que todavía provoca un efecto al hidrómetro al dividir la distancia (L), entre el tiempo transcurrido desde que se dejo de agitar la suspensión hasta tomar la lectura.
  - Para obtener esta calibración de la distancia de caída se realizará el siguiente procedimiento:
    - ✓ Se determinará el volumen del bulbo del hidrómetro.
    - ✓ Se determinara el área de la probeta de 1000 cm<sup>3</sup>.
    - ✓ Se medirá la distancia entre dos graduaciones por medio de un compás de punta. El área será el cociente que resulta de dividir el

volumen incluido entre las graduaciones, entre la distancia media del compas.

- ✓ Aforar la probeta de 500 cm a 420 cm y se sumerge el hidrómetro hasta el momento en que el agua desalojada sea igual a la mitad del volumen del bulbo del hidrómetro ( $V_H$ ); en este momento la superficie del agua indicará la altura en la que se encuentra la parte media del volumen. Se realizará una lectura ( $R_k$ ) en la escala del hidrómetro en donde coincida con el borde superior de la probeta.
- ✓ Se mide la distancia ( $h_k$ ) desde la lectura ( $R_k$ ) al nuevo nivel del agua, el valor de ( $h_k$ ) da la distancia del centro del volumen del hidrómetro hasta la lectura  $R_k$ .
- ✓ La altura de caída corregida será:

Donde:

$l_i$ = Distancia media para cada lectura al centro del volumen.

$V_L$ =Volumen del hidrómetro.

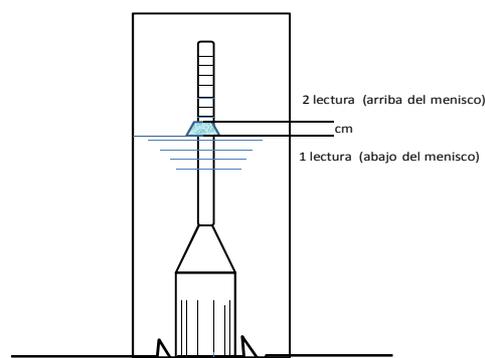
$A$ = Área de la probeta.

$$L_i = l_i - V_L/2A$$

#### ▪ Corrección por menisco.

El hidrómetro es un instrumento y están diseñados para que las lecturas que se tomen sean a nivel de la solución y al formarse el menisco en el vástago es difícil realizar una lectura por los materiales que se encuentran en suspensión por lo que es necesario hacer lecturas y corregir con respecto a su altura.

Se limpiará el cuello del hidrómetro y se sumergirá en agua destilada haciendo dos lecturas: una en la parte superior del menisco y la otra en la superficie horizontal del agua, la diferencia de las dos lecturas será la corrección por menisco ( $C_m$ ), la cual debe sumarse a la efectuada durante la prueba.

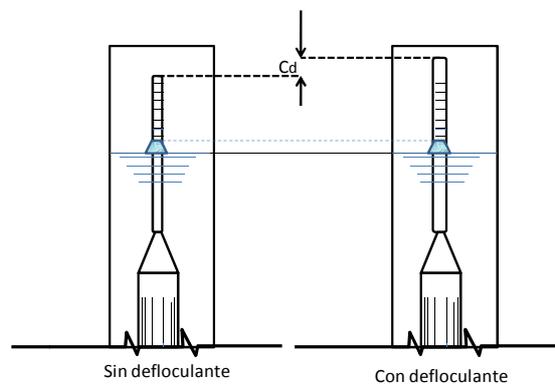


**FIGURA I. 19 Corrección por menisco**

- Corrección por defloculante.

Al agregar un defloculante a la suspensión se aumenta la densidad, por lo que debe realizarse una corrección.

Se sumerge el hidrómetro en agua limpia y se hace una lectura en la escala, después se añade una cantidad de floculante que se vaya a usar en la prueba, se sumerge el hidrómetro y se tomara lectura, la diferencia de lecturas dará la corrección por defloculante ( $C_d$ ) el cual va con signo negativo, se tomaran y anotaran los resultados.



**FIGURA I. 20 Corrección por defloculante**

Con los datos obtenidos se realizara graficas; que se emplearan para calcular la granulometría.

1. Con los datos del primer cálculo se realizara la grafica el cual al eje de las abscisas le corresponderá las lecturas tomadas directamente del hidrómetro y en las ordenadas las lecturas que deberán dar la escala del hidrómetro. Se fija a una ordenada que corresponda a la suma algebraica de  $C_m$  y  $C_d$  y se traza una paralela de la grafica a partir de este punto.
2. Con estos nuevos datos se construye un monograma que tenga en uno de los lados del hidrómetro sobre menisco con floculante y en el otro lado la lectura del hidrómetro bajo el menisco, sin defloculante.
3. Con los valores del segundo cálculo del registro se construye una grafica en la que el eje de las abscisas represente la lectura del hidrómetro  $R_i$  y en el de las ordenadas la altura de caída  $H_i$  corregidas, posteriormente se corrige por menisco  $C_m$  en la misma forma que la grafica anterior y se traza un monograma que tenga en un lado los valores correspondientes a  $H_i$  y en el otro lado los valores de  $R_i$  corregidos.

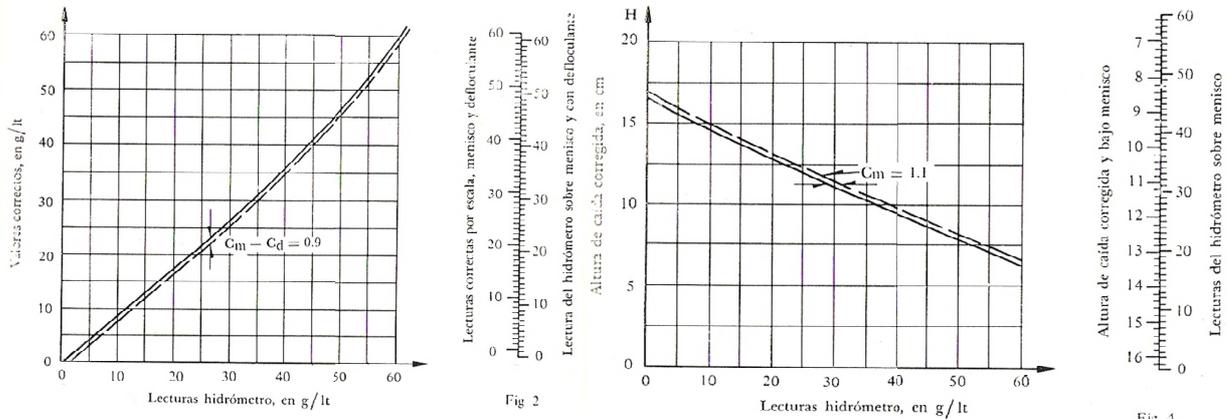


FIGURA I. 21 Graficas de corrección del hidrómetro.

### I.8.5. DESARROLLO DE LA PRUEBA.

Antes de iniciado la prueba se deberá tomar lo siguiente:

- ✓ Deberá haberse realizado la prueba de densidad de sólido ( $S_s$ ) así como la prueba y porcentaje de material fino (%F) (Material que pasa malla #200) y tenerlos como referencia.
- ✓ Se tomará una porción de 60g aproximadamente de suelo ya seca y se toma el peso.
- ✓ Se tomará defloculante  $15\text{cm}^3$  (40g por litro) que es una solución de hexametáfosfato de sodio que sirve para la dispersión de partículas y evitar los grumos que llegan a formarse, cabe mencionar, que la cantidad de hexametáfosfato depende del tipo de suelo y que la cantidad a utilizar puede ser variado.
- ✓ Se preparará una solución de  $900\text{cm}^3$  con agua destilada y flocculante ya integrado, esta mezcla se unirá con una parte de suelo formando una pasta suave.
- ✓ Se colocará la pasta a una batidora añadiendo la otra parte de la solución faltante hasta formar aproximadamente  $300\text{cm}^3$  una vez colocado el material se batirá durante 15 min.
- ✓ Una vez terminado el batido se pasará la mezcla a una probeta graduada ( $1000\text{cm}^3$ ) tratando de no dejar residuos en el vaso de la batidora para esto se utilizará agua destilada, se deberá tener en cuenta que no deberá de sobrepasar los  $1000\text{cm}^3$  en la probeta.
- ✓ Se tapará la probeta con la palma de la mano y se volteará repetidamente (giros de  $180^\circ$ ) por 1 minuto completando aproximadamente 60 veces el procedimiento.
- ✓ Una vez realizado esto se colocará la probeta en una mesa que no tenga movimiento se colocará el hidrómetro y se tomarán los tiempos con el cronómetro y realizar las lecturas en el a 20, 40, 80 y 120seg. Además se



tomará temperatura de la solución con el termómetro al cabo de 0.5min, 1min, 2min, 5 min, 15min, 30min, 60min, 120min, 360min y 1440min.

- ✓ Se sacará el hidrómetro y se colocara en agua limpia esto es para retirar las partículas que se hayan agregado y secarlo.
- ✓ El hidrómetro se deberá colocar en agua limpia cada vez que se realicen las lecturas durante la prueba.
- ✓ Los 3 pasos anteriores se realizarán para cada lectura que se llegue a hacer sea a los 5min, 10min, 15min, 30min, 1hr, 1:30hr, 2hr, 3hr, y 24 hr, de no olvidar retirar el hidrómetro después de cada lectura.
- ✓ Una vez terminado el proceso de lectura con el hidrómetro y el termómetro se pasará a determinar el peso seco se colocará el material en un recipiente y se mete al horno durante 24 hr a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Con los datos obtenidos durante todo el proceso de prueba que son los tiempos y las temperaturas se analizara y calculara los sólidos en suspensión esto se realizar con el monograma ver anexos. En el cual deberá tomarse en cuenta la temperatura y la densidad de sólidos los valores obtenidos se registraran como  $W_d$  (peso de todas las partículas menores al diámetro  $D$ ).
- ✓ Se realizará el cálculo el peso acumulado parcial. Como se ve en la siguiente fórmula:

Donde:

$W\%$ = peso acumulado parcialmente.

$W_d$ = peso de partículas menores del diámetro  $D$ .

$W_s$ = peso total de solidos.

$$W\% = \frac{W_d}{W_s} \times 100$$

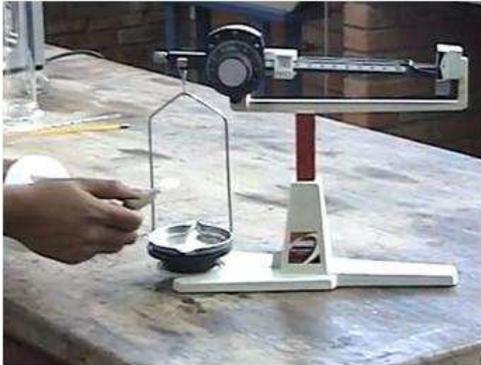
- ✓ El diámetro  $D$  corresponde a cada porcentaje y se obtiene con el monograma de Casagrande fig.5, el cual depende haber obtenido la densidad, temperatura, lecturas del hidrómetro y los tiempos.
- ✓ Con estos cálculos tenemos ya datos suficientes para realizar la curva granulométrica del análisis mecánico con porcentajes acumulativos totales.

#### **I.8.6. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.**

- ✓ En la dosificación el floculante.
- ✓ No realizar el agitado o falta de agitado.
- ✓ Falta de cuidado en la colocación y extracción del hidrómetro.
- ✓ Variación en la temperatura.
- ✓ Mala realización en la mezcla de materiales.
- ✓ Toma de materiales insuficientes.
- ✓ No utilizar bien los equipos de trabajo.



### I.8.7. FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN I.8 1** Vista de colocación de 10 gr. de hexametafosfato



**IMAGEN I.8 2** Agregar a 250 ml de agua destilada



**IMAGEN I.8 3** Peso de 50 gr de suelo que pasa malla 200



**IMAGEN I.8 4** mezclar solución + suelo



**IMAGEN I.8 5** Corrección por menisco.



**IMAGEN I.8 6** Probeta 2 colocar la solución.



**IMAGEN I.8 7** Probeta N°2 solución + agua destilada



**IMAGEN I.8 8** Colocar hidrómetro y tomar lectura



**IMAGEN I.8 9** Tomar 2 Lectura en probeta N°2 el cual será la corrección.



**IMAGEN I.8 10** Mezclar suelo agua destilada.



**IMAGEN I.8 11** Verter la solución a la licuadora



**IMAGEN I.8 12** Se vierte la mezcla en la probeta.



IMAGEN I.8 13 Llenar con agua destilada la mezcla hasta la línea de aforo



IMAGEN I.8 14 Colocar el hidrómetro una vez agitado la probeta y tomar lecturas



IMAGEN I.8 15 Colocar hidrómetro en la probeta No2



IMAGEN I.8 16 Colocar el termómetro en probeta No°1 así como el hidrómetro y hacer nuevas lecturas

## I.9 PERMEABILIDAD DE UN SUELO

### I.9.1 OBJETIVO:

Es conocer y determinar el coeficiente de permeabilidad (K) de una muestra de suelo granular o cohesiva

La permeabilidad de un suelo se puede determinar directamente en campo o en laboratorio utilizando muestras representativas ya sea alterada o inalterada.

Los procedimientos utilizados en laboratorio para determinar el coeficiente de permeabilidad pueden dividirse como se ve en la siguiente tabla:

Directos	Permeabilidad de carga constante	Se utiliza en suelos como gravas arenas y mezcla de estos dos materiales.
	Permeabilidad de carga variable	Es aplicable para suelos no plásticos.
Indirectos	Calculo por granulometría	Para diferentes tipos de suelos.



	Calculo a partir de consolidación.	Para suelos impermeables
	Calculo a partir de capilaridad	Es aplicable para muestras que tienen una permeabilidad de 10 <sup>-1</sup> y 10 <sup>-3</sup> cm/seg considerándose como una prueba rápida.

**TABLA I. 21 Métodos utilizados para pruebas de permeabilidad.**

Para fines de este manual solo se presentarán algunas pruebas que se realizan para conocer la permeabilidad en suelos granulares y suelos finos.

### I.9.2 DEFINICIÓN:

Se entienden por permeabilidad la propiedad de un suelo que permite el paso del agua a través de sus vacíos, bajo la acción de una carga hidráulica.

Cabe mencionar que no todos los suelos tienen la misma permeabilidad algunos en mayor, menor, se utilizan los términos de suelos impermeables y permeables.

Los suelos impermeables son generalmente suelos arcillosos, donde la cantidad de escurrimientos del agua es pequeña y lenta.

En la siguiente tabla se muestra los valores del coeficiente de permeabilidad y formas de determinarlo, relacionando con las condiciones de drenaje y el tipo de suelo.

	100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava				Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición				
						Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición							
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.												
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.												
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.									Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia			

**TABLA I. 22 Valores de K en cm/seg.**

### I.9.3 PRUEBA DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE:

Como se menciona en la tabla anterior esta prueba se utiliza en suelos relativamente permeables con un coeficiente de permeabilidad que varía de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-4</sup> cm / seg.

### I.9.4 OBJETIVO DE LA PRUEBA:

Se tiene como objetivo el someter la muestra de suelo a una carga hidráulica bajo una carga constante.



Se determinará el coeficiente de permeabilidad utilizando la ley de Darcy esto es con los valores en los niveles de agua superior e inferior que se mantiene constante, con lo cual la altura (h) permanece constante, esto es, solo dependerá de la diferencia de niveles, la cantidad de gasto de agua en el área de la sección transversal de la muestra se recoge en una bureta graduada.

Teniendo estos datos (Q, h, L y A) se calculará el coeficiente de permeabilidad.

### I.9.5 EQUIPO Y MATERIALES:

- |  |  |
|--|--|
| ✓ Permeámetro de carga constante (de lucita) | ✓ Permeámetro de carga variable (metálico) |
| ✓ Termómetro                                 | ✓ Bureta                                   |
| ✓ Vasos de aluminio                          | ✓ Flexómetro                               |
| ✓ Cronómetro                                 | ✓ Balanza.                                 |
| ✓ Termómetro                                 | ✓ Pistón metálico                          |

### I.9.6 DESARROLLO DE LA PRUEBA:

- ✓ Se tomará el diámetro y su área del permeámetro y se anotara en el formato.
- ✓ Se destapa el permeámetro, se coloca en el interior y en la parte de abajo una piedra filtro o piedra porosa y se tomará su peso.
- ✓ Se colocan en el permeámetro capas con el material de suelo seco en estudio, y se van compactando por medio de un pisón, de tal forma que el suelo se le da el acomodo requerido y una aproximación en la relación de vacíos o un peso volumétrico solicitado.
- ✓ Se sellará el permeámetro y tomará el peso con la muestra ya compactada no tomando en cuenta la tara, esta parte constituirá el peso de la muestra seca y se anota en el formato.
- ✓ Se tomara la longitud total de la muestra y se anotara en el formato (L).
- ✓ Se le ponen los tornillos, se aplica agua al embudo del permeámetro y se deja que se sature el material, hasta que no se vean burbujas de aire.
- ✓ Se instala el embudo a una altura aproximada de 2 veces la altura de la muestra para dar el gradiente hidráulico, (  $i$  ). El gradiente hidráulico esta dado por el cociente de la carga (h), entre la longitud de la muestra y se sigue vaciando agua para que no le vaya a entrar aire al sistema.
- ✓ Se procede a hacer las mediciones de volumen, al poner una probeta en la salida para un determinado tiempo, se tomara el tiempo con el cronometro, el cual se detiene al pasar el nivel de agua de bureta por otra marca conocida.
- ✓ El tiempo transcurrido, en segundos se anotara.



- ✓ Se anota el volumen de agua recogido, expresándolo en  $\text{cm}^3$  repitiendo esta acción tres veces, para obtener un promedio.
- ✓ Se mide la carga hidráulica (h), la longitud de la muestra (L) y la temperatura del agua en grados centígrados, con el fin de obtener la relación de viscosidad del agua.

### I.9.7 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD:

De la ecuación obtendremos el coeficiente de permeabilidad:

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad (cm/seg).

A = Área de la muestra =  $\text{cm}^2$

t = tiempo de prueba = seg.

$$K = \frac{VL}{AhL}$$

Para obtener el valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de  $20^\circ\text{C}$  se utiliza la siguiente expresión.

$$K_{20^\circ} = kt \frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ\text{C}}}$$

Donde:

Vv= Volumen de vacíos.

Vs= Volumen de sólidos.

Vt= Volumen total.

Ss= Densidad de sólidos.

Ws= Peso de los sólidos

$$K = \frac{VL}{AhL}$$

Se tiene otra opción para obtener los resultados y simplificarlos es por medio de la utilización de un monograma ver en anexos:

### I.9.8 OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- Defectos de calibración en el equipo.
- Mediciones erróneas.
- Compactación mala en la probeta.
- Aplicación de un gradiente excesivo.



### I.9.9 FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN I.9. 1 Vista del permeámetro



IMAGEN I.9. 2 Toma de diámetro permeámetro



IMAGEN I.9. 3 Material a usar en la prueba



IMAGEN I.9. 4 Colocación del material al recipiente



IMAGEN I.9. 5 Armado del permeámetro con la muestra compactada



IMAGEN I.9. 6 Toma de medidas del estrato compactado



IMAGEN I.9. 7 Armado del equipo para la prueba



IMAGEN I.9. 8 Saturación de los materiales



IMAGEN I.9. 9 Vista de la prueba de permeabilidad



IMAGEN I.9. 10 Vista de la prueba de permeabilidad

## I.10. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO.

### I.10.1 OBJETIVO:

Determinar el peso específico o peso volumétrico del material de acuerdo con la capacidad o grado de acomodo que presentan las partículas solidas.

### I.10.2. DEFINICIÓN.

Se define como peso específico o peso volumétrico de un material con el símbolo  $\gamma_m$  a la relación que existe del peso de material con respecto a su volumen.

Cabe mencionar que se pueden tener las siguientes condiciones:

1. Peso volumétrico del suelo en estado natural: es cuando el acomodo que tienen sus partículas es consecuencia de la naturaleza y en general es el



que se refiere al terreno natural sin haber sufrido alguna alteración o haya sido removido.

2. Peso volumétrico en estado suelto: aquí la estructura del suelo ha sido alterada ya sea por algún proceso artificial como es extracción, disgregación, cribado, etc.
3. Peso volumétrico del suelo en estado compacto; las partículas sólidas han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación. En este caso se presentan 2 tipos:
  - ✓ Cuando se toma la totalidad de material y se aplica para la obtención o cálculo de coeficiente de variación volumétrica.
  - ✓ Cuando se considera sólo una fracción del material y es cuando se lleva al proceso de cribado y se aplica para la obtención o cálculo del grado de compactación del suelo.

### **I.10.3. OBSERVACIONES.**

El peso específico o volumétrico de los sólidos es una propiedad índice que debe determinarse a todos los suelos, debido a que este valor interviene en la mayor parte de los cálculos relacionados con la Mecánica de suelos, en forma relativa, con los diversos valores determinados en el laboratorio pueden clasificarse algunos materiales.

En esta práctica se presentará el desarrollo para la obtención del peso volumétrico seco y suelto así como el desarrollo del peso volumétrico en estado natural.

### **I.10.4. OBTENCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN MATERIALES EN ESTADO SECO Y SUELTO.**

Para la determinación del peso volumétrico de un suelo seco y suelto en el laboratorio consistirá principalmente el conocer la relación entre el peso del material y su volumen. El material deberá ser preparado y deberá tenerse muy en cuenta el contenido de agua para su respectiva corrección.

### **I.10.5. MATERIAL Y EQUIPO.**

El equipo que se ocupara será el siguiente:

- |  |  |
|--|--|
| ✓ Cucharón de lámina   | ✓ Regla de 30cm  |
| ✓ Recipiente de lamina galvanizada #14 de forma cilíndrica para 10Lt | ✓ Balanza de 20 kg de capacidad y 5 gramos de aproximación |
| ✓ Escantillón de 20 cm de longitud.                                  | ✓  |



### I.10.6. DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ La muestra se prepara para ser disgregada teniendo en cuenta de no alterar demasiado la estructura y contenido de agua.
- ✓ El material será colocado en una charola y se llevara a cabo el cuarteo en proporción necesaria para la prueba, además se empezará a revolverla para homogeneizarla.
- ✓ Se tomara el cucharón de lamina y para el al llenado del recipiente tomando en cuenta que deberá ser a una altura de 20cm tomando como referencia el escantillón, hasta el llenado total del recipiente.
- ✓ Deberá tenerse cuidado de no producir movimientos bruscos a la hora del llenado del recipiente esto es para evitar el reacomodo innecesario del material.
- ✓ Una vez que el material se encuentra en el recipiente y este totalmente se tomara la regla y se procede a enrazara.
- ✓ Se tomara el recipiente con el material y se pesara con la bascula de 20 kg
- ✓ Se registrara el peso obtenido como  $W_{rm}$ .
- ✓ Se determinara el contenido de agua del material.
- ✓ Se calculara con forme a la siguiente fórmula:

Donde:

$\gamma_d$ = peso volumétrico del material seco y suelto en  $\text{kg/m}^3$ .

$W_{rm}$ = peso del recipiente + el material.

$W_r$ = peso del recipiente en kg.

$W_m$ = Peso del material contenido en el recipiente kg.

$V$ = volumen del recipiente o del material contenido en el mismo ( $\text{m}^3$ ).

$W$ = contenido de agua remanente en el material (%).

$$K = \frac{VL}{AhL}$$

### I.10.7. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA

- ✓ El material sufra un reacomodo innecesario a la hora de realizar el llenado del recipiente.
- ✓ Mal manejo de la báscula o mala calibración a la hora de pesar el recipiente + material.
- ✓ Realizar una mala toma en los contenidos de agua del material ensayado.



### **I.10.8. OBTENCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN MATERIA INALTERADO.**

Para la determinación del peso volumétrico de un material que se encuentra en condiciones “inalteradas” esto es de una porción que se toma en las muestras cúbicas o grumos obtenidos de los pozos a cielo abierto o bancos de materiales y de los cuales son protegidos para que sus condiciones no sufran cambios importantes.

Es importante tener un conocimiento teórico de la relación entre peso y volumen de un material además de tener mucho cuidado con la preparación de la muestra antes de la realización de la prueba ya que podría presentarse cambios en su estructura o en su contenido de agua.

### **I.10.9. MATERIAL Y EQUIPO.**

El equipo que se utilizara en esta prueba será el siguiente:

- |                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| ✓ Balanza de precisión.        | ✓ Cuchillo.      |
| ✓ Parrilla eléctrica o de gas. | ✓ Hilo de nylon. |
| ✓ Termómetro                   | ✓ Parafina.      |
| ✓ Vaso de aluminio.            | ✓ Horno          |
| ✓ Segueta.                     | ✓ Tara           |

### **I.10.10. DESARROLLO DE LA PRUEBA.**

- ✓ De la muestra obtenida en campo ya sea muestra cúbica o grumo se labrara un espécimen pequeño en forma sensiblemente regular.
- ✓ El material sobrante que se obtenga del labrado se recogerá y se colocará en una tara y se llevara al horno para conocer su contenido de agua
- ✓ Se colocara en el espécimen hilo de nylon que nos servirá de sujetador.
- ✓ Una vez realizado esto se tomaran las dimensiones del espécimen como su peso.
- ✓ En un recipiente o vaso de aluminio se colocaran porciones de parafina y se colocara en la parrilla hasta que la parafina se haya desecho.
- ✓ Una vez caliente y desecho la parafina se tomara la muestra del hilo de nylon y se sumergirá en esta; deberá tomarse en cuenta que la razón de sumergirlo en parafina es para formar una pared delgada que cubra totalmente la muestra y evite el acceso del agua.
- ✓ Se dejará que se enfríe el espécimen a temperatura ambiente, se tomará y registrara el peso del espécimen con parafina ( $W_m+p$ ).



- ✓ Continuando con la prueba tomaremos el vaso precipitado y lo llenaremos de agua, se colocará en la balanza, se realizará la nivelación y ajustara en ceros.
- ✓ Ahora colgamos el hilo con la muestra en la báscula con la característica de que va estar dentro del vaso de precipitado, tomamos su peso y lo anotamos en el formato correspondiente.
- ✓ Es preferible que en esta prueba se realiza para dos muestras y obtener así una determinación entre las dos pruebas.
- ✓ Una vez terminado el paso anterior se tomará la muestra y se le retirará la parafina y se colocara en el horno durante 24 hr. A  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Una vez transcurrido el tiempo se sacará la muestra y se dejará enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Se pesa la muestra y se registra como  $W_s$ . La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca se obtiene  $W_w$ .

$$W_w = W_h - W_s$$

### I.10.11. CALCULO.

Con los datos obtenidos se podrá realizar los cálculos correspondientes para obtener el peso volumétrico de la muestra de suelo como sigue:

- ✓ Calculo del volumen de la parafina.

Donde:

$V_p$ = Volumen de la parafina. ( $\text{cm}^3$ ).

$W_{m+p}$ =Peso muestra + parafina (g).

$W_m$ =Peso de la muestra (g).

$\gamma_p$ = Peso volumétrico de la parafina ( $0.97 \text{ g/cm}^3$ ).

$V_p$ = Volumen de la parafina. ( $\text{cm}^3$ ).

$$V_p = \frac{W_{m+p} - W_m}{\gamma_p}$$

- ✓ Calculo para el volumen de la muestra.

Donde:

$V_m$ =Volumen del espécimen ( $\text{cm}^3$ ).

$V_p$ = Volumen de parafina ( $\text{cm}^3$ ).

$V_{m+p}$ =Volumen de la muestra + parafina ( $\text{cm}^3$ ).

$$V_m = V_{m+p} - V_p$$

- ✓ Calculo para el volumen de la muestra + parafina.

Donde:

$W_{m+p}$ =Peso muestra + parafina (g).

$W'_{m+p}$ =Peso muestra + parafina sumergida (g).

$\gamma_o$ = Peso volumétrico del agua ( $1 \text{ g/cm}^3$ ).

$$V_{m+p} = \frac{W_{m+p} - W'_{m+p}}{\gamma_o}$$

- ✓ Se calcula el peso volumétrico del material.



Donde:

$\gamma_m$ =Peso volumétrico de la muestra.

$W_m$ =Peso de la muestra. (g)

$V_m$ = Volumen de la muestra. (cm<sup>3</sup>).

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1000$$

Donde:

$\gamma_d$ =Peso volumétrico seco del material. (kg/m<sup>3</sup>).

w%=Contenido de agua (%).

$\gamma_m$ =Peso volumétrico de la muestra (kg/m<sup>3</sup>).

$$\gamma_d = \left( \frac{\gamma_m}{100 + w} \right) \times 100$$

### I.10.12. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- ✓ En el tiempo de labrado de la muestra esto es importante ya que el contenido de agua podría variar.
- ✓ Realizar mal el bañado de la muestra en la parafina.
- ✓ Obtener mal los pesos.
- ✓ No tener una buena calibración en la báscula.
- ✓ Variación en la temperatura al ser colocado el espécimen el agua.
- ✓ Variación en la temperatura al ser colocado el espécimen en la parafina ya que esto es un factor en el cambio en el contenido de agua.

### I.10.13. FOTOGRAFÍAS.

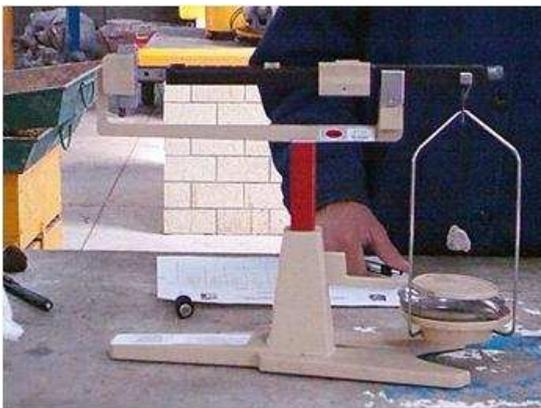


IMAGEN I.10 1 Vista del espécimen



IMAGEN I.10 2 Preparación de la parafina



IMAGEN I.10 3 Colocación de la muestra en la mezcla



IMAGEN I.10 4 Peso de la muestra.



IMAGEN I.10 5 Colocación de la muestra en el agua

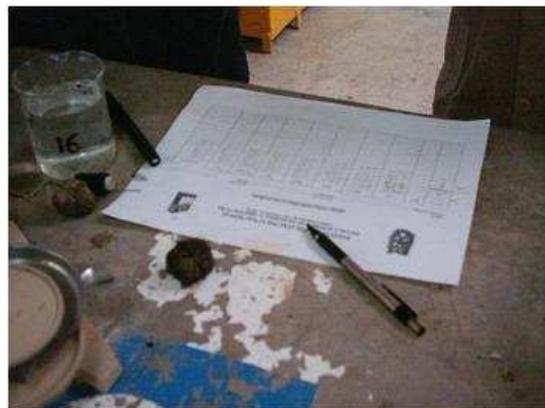


IMAGEN I.10 6 Registro de los datos.

## I.11. PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS (DENSIDAD DE SÓLIDOS)

### I.11.1 OBJETIVO:

La prueba permite determinar la relación masa-volumen de los materiales con respecto al del agua así como la adsorción de los materiales y es utilizado para el cálculo de la relación de vacíos y cálculo de pesos volumétricos y otras.

### I.11.2. DEFINICIÓN.

La densidad de sólidos se define con la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso volumétrico del agua destilada a 4°C ambas a la presión barométrica del lugar.



Esta prueba se obtiene en laboratorio como la relación entre el peso de los sólidos y el volumen del agua que desalojan a la temperatura ambiente haciendo correcciones por la diferencia de temperaturas.

### **I.11.3. OBSERVACIONES.**

El Peso específico relativo de los sólidos es una propiedad índice que debe determinarse a todos los suelos además de que en forma relativa, con los diversos valores determinados en el laboratorio pueden clasificarse algunos materiales y debido a que esta prueba interviene en la mayor parte de los cálculos para determinar propiedades mecánicas como es el caso de la compresibilidad de suelos.

### **I.11.4. MATERIAL Y EQUIPO.**

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| ✓ Matraz con capacidad de 250 ml.                          | ✓ Tamiz del #4.                   |
| ✓ Balanza con aproximación al 0.01 gr.                     | ✓ Maquina mezcladora              |
| ✓ Horno  | ✓ Probeta de 500 ml. de capacidad |
| ✓ Termómetro graduado de 0°C a 50°C con 0.1° de precisión. | ✓ Pizeta o gotero                 |
| Dispositivo para remover el aire                           |                                   |
| ✓ (bomba de vacío, dispositivo para hervir el picnómetro.  | ✓ Pipeta                          |
| ✓ Recipiente aislador.                                     | ✓ Franela o papel absorbente      |
| ✓ Embudo de vidrio de conducto largo.                      | ✓ Curva de calibración del matraz |
| ✓ Canastilla   | ✓ Cristal de reloj                |
| ✓ Charola de aluminio                                      | ✓                                 |

### **I.11.5. DESARROLLO DE CALIBRACIÓN DEL MATRAZ.**

- ✓ Se limpia el matraz empleando detergente agua, alcohol, etc.
- ✓ Se toma y se llena el matraz con agua destilada hasta por encima o por debajo de la marca de calibración con una aproximación de  $\pm 5$ mm.
- ✓ Se pone en baño maría hasta unos 10°C más que la temperatura ambiente y se agita el matraz hasta remover el aire disuelto en el agua destilada.
- ✓ Una vez realizado esto se colocara el matraz con el termómetro en un recipiente para enfriarlo o alcance una temperatura entre 15 o 30°C.
- ✓ Se llena el matraz utilizando una pipeta hasta que la parte superior del menisco coincida con la marca del aforo.



- ✓ Secar el interior del cuello y el exterior del matraz procurando que el agua no baje de la marca de calibración.
- ✓ Introduzca el termómetro en el agua hasta la profundidad adecuada de inversión y mida, registre la temperatura del agua.
- ✓ Se tomará y registrará el peso el matraz con agua con una precisión de 0.01 gr.
- ✓ Se tomará la temperatura en tres puntos diferentes dentro del matraz, cabe mencionar que si la existe una diferencia en temperatura y este, excede los 0.5° C se deberá volver a realizar el agitado para uniformizar la temperatura.
- ✓ Como se menciona en el punto anterior la toma de temperatura de los tres puntos se realizarán en:
  - Cerca de la superficie.
  - Al centro del matraz.
  - Cerca del fondo del matraz.
- ✓ Se tomara una medición adicional en peso y temperatura para verificar los resultados y registrarán.
- ✓ Se repetirán los paso anteriores utilizando agua a una temperatura diferente a la media, así como, se tomaran un numero de datos deseados.
- ✓ La temperatura y los pesos del matraz con agua, se anotan en un registro de calibración del matraz.
- ✓ Por último, con los datos obtenidos se tendrán realizara la construcción de la curva de calibración.

#### **I.11.6. DESARROLLO DE LA PRUEBA EN SUELOS FINOS.**

- ✓ Para la realización de esta prueba se deberán contar con muestras representativas del suelo en estudio.
- ✓ El material podrá tener las siguientes características:
  - Es preferible que el material en estudio contenga su contenido de agua natural ya que en suelos cohesivos llega haber dificultades.
  - En caso de que el material haya sufrido o se le haya aplicado un proceso de secado a temperatura ambiente se deberá realizar un triturado con mortero para romper los grumos del material y adquiera un aspecto fino.
- ✓ Se tomara el material que pasa por la malla #4 se separa por cuarteo en una porción de 100 y 500g.
- ✓ Se colocara la porción de 50 y 60g de material en una capsula y registrara.
- ✓ Se colocara el material en una recipiente y se le agregara agua destilada se mezclara hasta obtener una pasta suave.
- ✓ Se colocara 100 ml de agua destilada en el vaso de la mezcladora.
- ✓ Se registrara el peso del matraz Wp.
- ✓ Se colocara el material ya mezclado al vaso de la mezcladora y se hará funcionar durante 15cm esto es para tener una suspensión uniforme.



- ✓ Una vez terminado el proceso de mezclado se colocara el material al matraz utilizando un embudo, vierta agua destilada con una piseta sobre el vaso y el embudo, esto es para enjuagar y retirar sobrantes del material que llegaran a quedar en el equipo.
- ✓ Vierta agua destilada al matraz hasta que llegue al nivel de  $1/3$  y  $1/2$  de profundidad.
- ✓ Una vez realizado esto se agitara el matraz hasta homogenizar la mezcla utilice agua destilada para enjuagar en caso de que queden residuos del material en el cuello del matraz.
- ✓ Se le agregara en forma muy cuidadosa escurriendo lentamente por el cuello del matraz agua destilada
- ✓ Se removerá el aire del matraz por medio de un sistema de vacío o en su caso colocar el matraz a baño maría por lo menos 2 horas agitando ocasionalmente el matraz en forma suave para facilitar la remoción del aire.
- ✓ Se dejara enfriar el matraz colocando el termómetro en un recipiente aislador hasta llegar a una temperatura aproximada entre  $15$  y  $30^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ El llenado deberá hacerse hasta  $2\text{cm}$  por debajo de la marca de calibración.
- ✓ Con la utilización de la pipeta se ajustara el nivel del agua en el cual deberá coincidir el fondo del nivel del menisco con la marca de calibración.
- ✓ Seque la cuidadosamente el interior del cuello y el exterior del matraz.
- ✓ Se colocara el termómetro dentro del matraz al centro del líquido para medir la temperatura con una precisión de  $0.1^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Pese el matraz con muestra en la bascula con una precisión de  $0.01\text{ g}$  y registre los valores ( $W_{mw+s}$ ).
- ✓ Coloque el contenido del matraz en un contenedor tratando de no dejar algún residuo dentro de este, en el caso haber residuos podrá colocarle agua destilada para enjuagar.
- ✓ Una vez obtenida la mezcla del matraz se colocara al horno para secar la muestra y obtener una masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Una vez extraída del horno se dejara enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Se colocara en la balanza y se tomara el peso del material más recipiente

### I.11.7. CALCULO DE LA PRUEBA EN SUELOS FINOS.

A continuación se realizara el cálculo para la obtención de la densidad de sólidos.

- ✓ El peso de los sólidos se obtiene con la siguiente expresión:

Donde:

$W_s$ = Peso de los sólidos.

$W_{ms}$ =Peso del picnómetro + material.

$W_m$ =Peso del matraz.

$$W_s = W_{ms} - W_m$$



- ✓ De la curva de calibración del matraz se obtiene  $W_{mw}$ .
- ✓ Con la siguiente expresión obtenemos el valor de  $K$ .
- ✓ Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

Donde:

$W_s$ =Peso de los sólidos.

$W_{ms}$ =Peso del matraz + material.

$W_{mws}$ =Peso del matraz + agua + muestra a  $^{\circ}T$ .

$$S_s = \frac{W_s K}{W_s + W_{ms} - W_{mws}}$$

#### **I.11.8. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.**

- ✓ Las pruebas se realicen en un lugar cerrado, bien ventilado libres de corrientes de aire y a cambios de temperatura.
- ✓ Las balanzas deben encontrarse en perfecto estado y con una buena calibración.
- ✓ Remoción incompleta del aire disuelto.
- ✓ Secado defectuoso del interior del cuello o del exterior del matraz.
- ✓ Mala precisión en la toma de pesos
- ✓ Temperatura no uniformizada.
- ✓ Perdidas de material durante la prueba.
- ✓ Mala limpieza del matraz.
- ✓ Empleo de agua con sólidos sueltos.

#### **I.11.9. DESARROLLO DE LA PRUEBA EN SUELO GRANULARES.**

Para conocer la densidad de materiales que no llegan a tener cohesión o partículas que no permiten obtener un recorte de una muestra representativa por su tamaño y características como son gravas se utiliza el siguiente método.

- ✓ Las muestras a utilizar deberá ser representativas del suelo en estudio.
- ✓ Del material retenida en la malla #4 se separa por cuarteo en una porción de 100 y 500g.
- ✓ Se colocará el material en un
- ✓ Se lava la porción de material retenida en la malla #4 con el fin de eliminar cualquier residuo de polvo o material contaminante que contenga la muestra.
- ✓ Se seca el material ya lavado y se coloca en el horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}C$  durante 24 hr.

- ✓ Una vez terminado el tiempo de secado se extrae y se deja enfriar a temperatura ambiente aproximadamente 1 a 3 hr.
- ✓ Se colocará el material en un recipiente con agua y se sumergirá el material en agua durante 24hr, esto es para realizar el proceso de saturación.
- ✓ A continuación se sacará el material del recipiente y se colocará encima de una tela adsorbente y se dejará hasta que se escurra el material o hasta que la película visible de agua sea removida del material.
- ✓ Se pesa el material suturado en la balanza de precisión anotándola en el registro como  $W_{gh}$ .
- ✓ Se tomará una probeta graduada de volumen conocido y se le colocará agua se deberá anotar la lectura de la probeta.
- ✓ Se colocará el material en la probeta y se tomará y registrará la lectura.
- ✓ La diferencia en las lecturas será el volumen del material como se muestra en la figura.

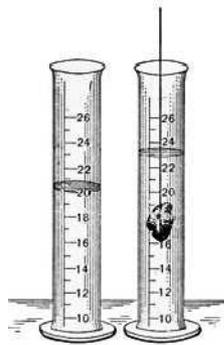


FIGURA I. 22 Prueba de densidad de sólidos

- ✓ Se colocará el material en un recipiente y se meterá al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24hr, después de esto se dejarán enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Inmediatamente de este proceso se pesará el material y anotará en  $W_{gs}$ .

#### I.11.10. CALCULO DE LA PRUEBA EN SUELO GRANULARES.

Donde:

$Ads$  (%)= Porcentaje de adsorción.

$W_{gh}$ = Peso de la grava húmeda.

$W_{gs}$ = Peso de la grava seca.

$$\%ads = \frac{W_{gh} - W_{gs}}{W_{gs}} * 100$$

- ✓ El peso específico de los sólidos se obtiene con la siguiente expresión:

Donde:

$S_s$ = Densidad de sólidos.

$W_{gs}$ = Peso de la grava seca.

$V_d$ = volumen desalojado.

$V_w$ = volumen de agua de adsorción.

$$S_s = \frac{W_{gs}}{V_d - V_w}$$



El volumen de absorción se obtiene con la siguiente expresión:

Donde:

$V_w$ = volumen de agua de adsorción.

$W_{gs}$ = Peso de la grava seca.

$Adsr$  (%)= Porcentaje de adsorción.

$$V_w = \frac{W_{gs}}{\gamma_w} \frac{\%ads}{100}$$

### II.11.11. FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN I.11. 1Peso del picnómetro



IMAGEN I.11. 2 Colocación de agua destilada



IMAGEN I.11. 3 Extracción de aire por baño maría.



IMAGEN I.11. 4 Enfriamiento del picnómetro.



**IMAGEN I.11. 5** Medición de la temperatura.



**IMAGEN I.11. 6** Secado del picnómetro



**IMAGEN I.11. 7** Enfriamiento del picnómetro + material



**IMAGEN I.11. 8** Llenado de agua a la marca de aforo del picnómetro



**IMAGEN I.11. 9** Secado del picnómetro



**IMAGEN I.11. 10** Secado del picnómetro



**IMAGEN I.11. 11 Toma de pesos del picnómetro + material**



**IMAGEN I.11. 12 Vaciado del material en recipiente para su secado**

## **I.12. COMPRESIÓN SIMPLE.**

### **I.12.1.DESCRIPCION.**

La prueba de compresión simple o compresión no confinada es un método para ensayar muestras de suelos finos y nos sirve para determinar mediante la aplicación de una carga axial la cohesión y el esfuerzo-deformación del suelo.

Esta se realiza rápidamente a través de dos etapas las cuales son:

Primera etapa consiste en el estado inicial de la muestra sin esfuerzos exteriores en el cual los esfuerzos confinantes son nulos y el agua adquiere la presión de pre consolidación que el suelo tuviere en forma natural y hace que la muestra mantenga su volumen por estar a tensión.

Segunda etapa la muestra es sometida a una aplicación de esfuerzos axiales, el cual nos ayuda a medir su resistencia al esfuerzo cortante.

### **I.12.2. OBJETIVO.**

Determinar la resistencia a la compresión no confinada o compresión simple ( $q_u$ ) de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación.

En este tipo de ensayos se ejecuta en muestras inalteradas, remodeladas o compactadas.

Además podrán realizarse las siguientes observaciones:

- ✓ Se definirán los parámetros de resistencia del esfuerzo desviador ( $q_u$ ) y cohesión del material ( $c$ ).
- ✓ Interpretar debidamente el tipo de fallas que sufrió el material conforme a sus características.



- ✓ Comparar los valores obtenidos para un mismo suelo sujeto a diferentes ensayos de resistencia.
- ✓ Determinar el modulo de elasticidad (E).

### I.12.3. MATERIAL Y EQUIPO.

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| ✓ Torno de labrado.             | ✓ Anillo de carga               |
| ✓ Cuerda de guitarra            | ✓ Micrómetro de base magnética. |
| ✓ Cuchillo.                     | ✓ Calibrador Vernier.           |
| ✓ Balanza de precisión de 0.01g | ✓ Taras o vidrios de reloj.     |
| ✓ Marco de carga                | ✓ Cronometro                    |

### I.12.4. PROCEDIMIENTO.

- ✓ Tomar una porción de la muestra de 12 x 12x 12 cm aproximadamente ya sea de una muestra cubica o de un tubo Shelby.
- ✓ Se labrará una probeta de altura de 9.00 cm y diámetro de 3.6 o en su caso  $h/d= 2.5$  a 3 veces. Cabe mencionar que al momento del labrado de la muestra se encontrara un guijarro o gravilla, se removerá muy cuidadosamente de la probeta y se rellenara el vacio o vacios de la probeta con suelo remodelado obtenido de los recortes en el labrado.
- ✓ Se tomara una porción de material ya sea de las porciones sobrantes al labrar la probeta o de los extremos de ésta y se colocarán en una tara, se pesaran y meterán al horno con una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 hr. Para obtener el contenido de agua de la muestra.
- ✓ Se determinara la altura y diámetro promedio de la probeta obtenida de la muestra, esto es, se tomarán 3 mediciones de la altura y diámetro (altura, diámetro superior, medio e inferior) a lo largo de la generatriz del cilindro; se registraran los datos para la obtención del área y el volumen de la probeta.
- ✓ Se toman los pesos de las probetas y se realizara el cálculo para obtención del peso volumétrico.
- ✓ Se coloca la probeta en una membrana de plástico o látex y se colocara en el marco de carga, en este deberán estar colocados el deformimetro o micrómetro y el anillo de carga para medir las deformaciones y las lecturas del anillo respectivamente. Ya que con esta información de cargas se podrá calcular la calibración del anillo de carga en uso.
- ✓ Se tomarán las lecturas del anillo y del micrómetro en el primer minuto a cada 10 seg. Y los minutos subsecuentes a cada 15 seg. hasta la falla de la muestra.
- ✓ Se tienen algunas consideraciones que debemos tomar en cuenta durante el ensayo y estas son:



- Es conveniente tomar dos lecturas más después de la falla.
  - Cuando la muestra presenta una deformación de igual al 15% se dejara de tomar lectura.
  - Se deberá tomar en cuenta la velocidad de deformación es recomendable para suelos blandos que la prueba no dure más de 15 min.
  - Los blandos llegan a presentar grandes deformaciones en la falla y por lo tanto deben ser ensayados con una mayor velocidad de deformación.
  - En suelos rígidos sus deformaciones llegan a ser pequeñas en el momento de la falla, lo que es recomendable ensayarlos con una velocidad menor de deformación.
- ✓ Una vez que la muestra haya llegado a la falla se retirara del marco de carga y se tomara una fotografía y dibujara el tipo de falla que tuvo la muestra y el ángulo de inclinación de la superficie de esta.
  - ✓ Se tomara toda la probeta o porciones en el caso de haber tomado cortes representativos y se meterán al horno durante 24 hr a una temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  para conocer su contenido de agua del espécimen.
  - ✓ Se indicara en el informe del ensayo si el contenido de agua de la muestra se obtuvo antes o después de la prueba.

### I.12.5. CALCULO.

Con respecto al cálculo tenemos que realizar los siguientes pasos:

1. Como se menciona anteriormente se calculara el diámetro promedio de la probeta con la siguiente expresión:

Donde:

$D_m$ = Diámetro medio.

$D_s$ = Diámetro superior.

$D_c$ = Diámetro central.

$D_i$ = Diámetro inferior.

$$D_m = \frac{D_s + 2D_c + D_i}{4}$$

2. Como se menciona anteriormente se calculara el área promedio del cilindro con la siguiente expresión:

Donde:

$A_m$ = Área media.

$A_s$ = Área superior.

$A_c$ = Área central.

$A_i$ = Área inferior.

$$A_m = \frac{(A_s + 4A_c + A_i)}{6}$$



3. Con el peso obtenido de las probetas y el volumen ya calculado obtenemos el peso volumétrico del material como se ve en la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \frac{W_{probeta}}{V_{probeta}} = \frac{W_s + W_w}{V}$$

4. Se calculara la deformación lineal tomando como constante la primera lectura tomada del micrómetro.

$$Def\ Lineal = Lectura\ final - Lectura\ inicial$$

5. Para tener el valor de la deformación unitaria se tiene la siguiente expresión.

Donde:

$\epsilon$ = Deformación unitaria adimensional (%).

Hm= Altura de la probeta en estudio (cm).

Def. lineal= Deformación líneas.

$$\epsilon = \frac{Def\ lineal / 10}{Hm} \times 10$$

6. Se deberá obtener el valor del área corregida con la siguiente expresión.

Donde:

$\epsilon$ = Deformación unitaria, adimensional.

Am= Área media (cm<sup>2</sup>).

$$A_{corregida} = \frac{Am}{1 - \frac{\epsilon\%}{100}}$$

7. Se realizara el cálculo para obtener el esfuerzo desviador.

Donde:

$\sigma$ = Esfuerzo desviador en (Kg/cm<sup>2</sup>)

P= Carga en kg.

A= Área (cm<sup>2</sup>)

$$\sigma = \frac{P}{A_{corregida}}$$

8. Se pasará a realizar la grafica correspondiente de Esfuerzo – Deformación.
9. Con la grafica se obtenida se calculara el modulo de elasticidad (E en Kg/cm<sup>2</sup>) de la siguiente forma:
- Sobre la gráfica se dibujará una línea que estará paralelamente al de la gráfica como se muestra en la figura.
  - Se colocarán dos líneas más en forma perpendicular a dos puntos sobre la grafica como se muestra en la sig. Figura.

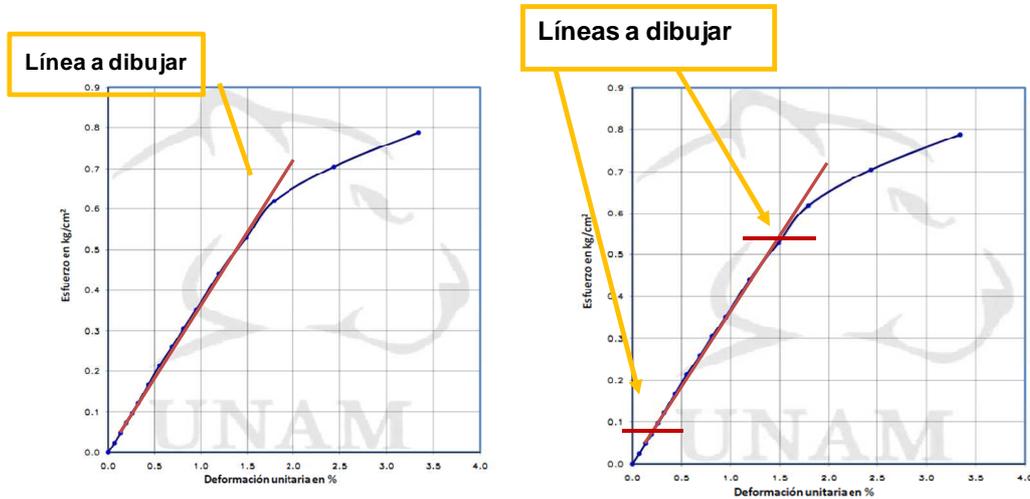


FIGURA I. 23 Desarrollo para cálculo

- c. Una vez marcados los puntos se obtendrán las coordenadas de estos como se ve en la figura siguiente:

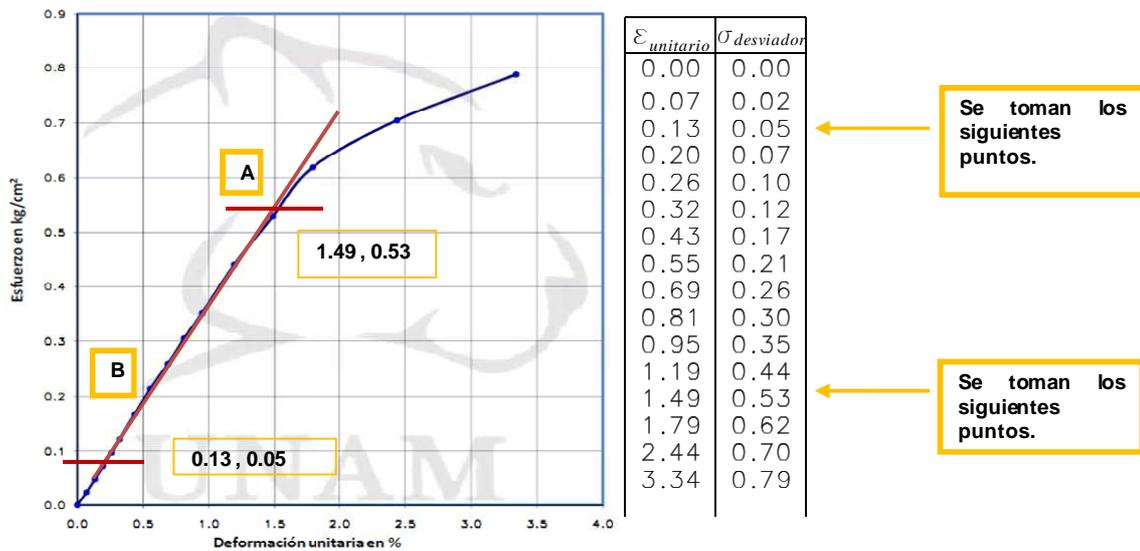


FIGURA I. 24 Desarrollo para el cálculo en graficas

- d. El siguiente paso será tomar el los puntos de A y B del esfuerzo desviador y unitario.  
 e. Se realizara la siguiente expresión (kPa):

$$E = \frac{(\sigma_{desv} A - \sigma_{desv} B)}{((\sigma_{unit} A/100) - (\sigma_{unitario} B/100))}$$



- f. Por último se calculará la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ) la cohesión del material en experimento (C).

$$c = \frac{q_u}{2}$$

$$S = c + \sigma \tan \theta$$

#### I.12.6. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- ✓ Deberá tenerse cuidado en el labrado de la muestra ya que podrían fracturarse con mucha facilidad.
- ✓ El labrado de la muestra deberá realizarse en un sitio en condiciones adecuadas para evitar la pérdida de agua.
- ✓ Deberá tenerse mucho cuidado en el ajuste de la base o cabezal con la muestra pueden tenerse errores en las lecturas del extensómetro y la verticalidad de la muestra.

### I.12.7. FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN I.12. 1** Material inalterado en tubo Shelby



**IMAGEN I.12. 2** Extracción del material inalterado del tubo Shelby



**IMAGEN I.12. 3** Corte del material inalterado en base metálica



**IMAGEN I.12. 4** Vista de los cortes del material inalterado



**IMAGEN I.12. 5** labrado del material para ensayo



**IMAGEN I.12. 6** Probetas listas para ensayo



**IMAGEN I.12. 7** Vista de la muestra cubica



**IMAGEN I.12. 8** Extracción de material para labrado



**IMAGEN I.12. 9** Inicio de los trabajos de labrado



**IMAGEN I.12. 11** Probeta labrada para y lista para la prueba



**IMAGEN I.12. 10** Porción de material inalterado en el torno de labrado



IMAGEN I.12. 12 Preparación del espécimen



IMAGEN I.12. 13 Prueba de compresión simple



IMAGEN I.12. 14 Vista de la falla en la muestra de suelo



IMAGEN I.12. 15 Colocación del espécimen en la cámara



IMAGEN I.12. 16 Vista de la prueba por el método de sellado



## I.13 PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN

### I.13.1 DEFINICIÓN:

La prueba de consolidación consiste en la reducción paulatina del volumen de la masa de suelo esto es una reducción a su relación de vacíos del espécimen sometido a una compresión de larga duración.

El fenómeno en el que se presenta en esta prueba se atribuye a la compresión y expulsión de aire y agua que contiene el material en sus poros los cuales se encuentran parcialmente saturados.

La magnitud de las compresiones totales bajo distintas cargas y el tiempo que sufre el suelo bajo una compresión de carga determinada son dos aspectos en los cuales el fenómeno de consolidación es de gran interés.

En la siguiente tabla mostraremos las características de un suelo natural:

Con respecto a los párrafos anteriores cabe mencionar las siguientes definiciones de un suelo en estado natural:

Estado de suelo	Características
Consolidado	Proceso natural de la deposición de los suelos de grano fino como arcillas y limo que quedan sometidos a este proceso, el agua entre las partículas va siendo expulsada por el peso de las capas que se depositan por encima.
Totalmente consolidado	Periodo de equilibrio que se alcanza después del periodo de consolidación cuando las compresiones terminan y el volumen del material permanece constante bajo la acción de un estado constante.
Normalmente consolidado	Cuando el suelo está sometido a una sobrecarga que es inferior a la presión extrema de consolidación que existirá en algún momento del pasado, se dice que está preconsolidado.

**TABLA I. 23 Estados característicos del suelo en estado natural.**

En el modelo de Terzaghi, se entiende que la mecánica de la compresión de los suelos, se puede conjeturar que tanto los granos minerales como el agua de los poros son incompresibles, de esta manera, el efecto es inmediato (sobre la masa de suelo) creando un aumento del esfuerzo total y elevando la presión de poros.

Conforme la presión aumenta en los poros en el material el agua va liberándose de este para que la presión vaya disminuyéndose con lentitud.

Una vez que el aumento de presión se ha disipado en los poros del material el suelo vuelve a a su estado de totalmente consolidado.

### I.13.2 OBJETIVO:

Obtener información sobre el proceso de consolidación, y conocer los siguientes aspectos:

- ✓ Variación de volumen ( $\Delta V$ ).
- ✓ Aumento del esfuerzo efectivo  $\Delta\sigma$ ,



- ✓ Cambio de espesor que sufre el suelo ( $\Delta H$ ).
- ✓ El cambio en su relación de vacíos ( $\Delta e$ ) con respecto a las presiones efectivas aplicadas durante la prueba
- ✓ Conocer el grado de pre-consolidación y estimar los asentamientos totales que pueden esperarse en una obra civil.

En la ingeniería es importante conocer los materiales en los cuales se desplantara la nueva obra ya que las fuerzas nuevas que se aplicaran harán que el suelo sufra una deformación.

En la siguiente tabla mostraremos los siguientes conceptos de consolidación:

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Consolidación	Proceso que sufre el material con la disminución de volumen que tenga lugar con las nuevas cargas se le llama proceso de consolidación
Consolidación unidimensional o unidireccional.	Proceso en el movimiento volumen del suelo que ocurre en forma teórica en dirección vertical y los desplazamientos horizontales de las partículas solidas son nulos.

**TABLA I. 24 Características de tipos de consolidación.**

Si el material depositado llega a subyacer en el lugar donde se construya una estructura y se observa el comportamiento anterior del suelo, podrá notarse que los estratos se comprimen aún más bajo las nuevas cargas que se les comunica.

El que los desplazamientos horizontales de la arcilla sean o no esencialmente nulos, dependerá de varios factores. Si el estrato de la arcilla es relativamente delgado y está confinado entre estratos de arena o grava o de materiales más rígidos, o si el estrato de arcilla, aun siendo grueso, contiene gran cantidad de capas delgadas de arena, ocurre que la deformación lateral de la arcilla se restringe tanto que puede despreciarse, en comparación con los desplazamientos verticales.

Esta prueba se realiza en suelos finos como arcillas y limos el cual se obtienen algunos parámetros, con los que se calculan los asentamientos que pueden tener un suelo y el tiempo en que estos se producirían.

### **I.13.3 EQUIPO Y MATERIAL:**

- ✓ Muestra cubica o tubo Shelby (material inalterado).
- ✓ Torno de labrado
- ✓ Navaja
- ✓ Consolidometro.
- ✓ Capsulas de consolidación.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Cubierta de plástico para el recipiente de base
- ✓ Cuerda de guitarra.
- ✓ Cronometro.
- ✓ Micrómetro
- ✓ Espátula.
- ✓ Nivel de mano.
- ✓ Balanza con una aproximación de 0.01 g.
- ✓ Horno



### I.13.4 CÁLCULO DE INCREMENTOS:

Antes de iniciar la prueba es necesario conocer el valor de las cargas o incrementos que se les va a colocar al espécimen ya que esto nos puede ayudar a definir de manera satisfactoria la curva de consolidación.

Siendo recomendable el conocer los esfuerzos efectivos y totales, a la profundidad en la que se extrajo la muestra de suelo, así como, el nivel de aguas freáticas (NAF) en caso de encontrado.

Previo a esta prueba se deben realizar la prueba índice que arroje el peso volumétrico con el fin de obtener un diagrama de esfuerzos.

Como menciona el libro de Mecánica de suelos del Ingeniero Juárez Badillo las características de un estrato de suelo están condicionadas por la extensión, espesor, peso propio y contenido de agua, y va influyendo además en tiempo en la que el material se ha ido consolidando, estos factores deberán considerarse para conocer las presiones totales iniciales en las que el espécimen ha sido sometido naturalmente y en el que experimentalmente se puede asimilar o correlacionar para conocer en forma teórica el posible comportamiento al incremento de cargas y la distribución de la presión de la estructura sólida del suelo.

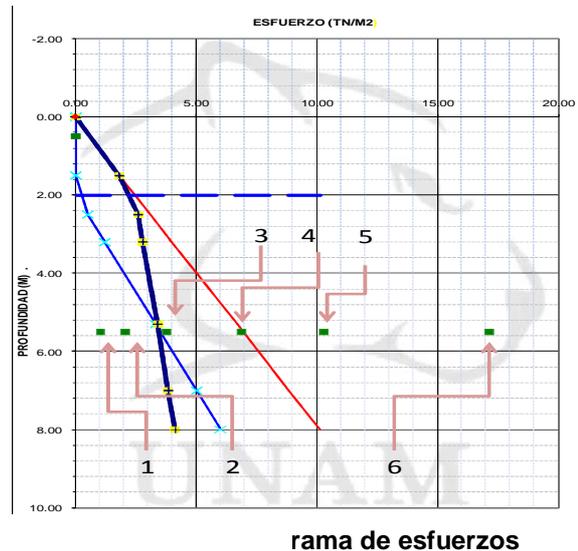
A continuación se mostrara una breve descripción para la obtención de los incrementos para nuestra prueba de consolidación unidimensional.

- ✓ Conforme a la profundidad en la que se obtuvo la muestra de suelo se deberá obtener el número de estratos que conforma el subsuelo.
- ✓ Profundidad en la que se encuentran los estratos.
- ✓ Peso volumétrico de cada estrato.

Estrato No.	Profundidad (m)		$\gamma_m$
	De	A	
1	0.00	1.50	1.40
2	1.50	2.50	1.20
3	2.50	3.20	1.30
4	3.20	5.30	1.25
5	5.30	7.00	1.30
6	7.00	8.00	1.25
7	8.00	8.50	1.30

TABLA I. 25 Datos estratigráficos.

- ✓ Se realizarán los cálculos teniendo en cuenta el nivel de aguas freáticas que se llegara a localizar en alguna profundidad del subsuelo, esto es de importancia ya que la presión que ejerce el agua en el material aumenta o disminuyen los esfuerzos según sea el caso.





- ✓ Se realizara los cálculos del diagrama de esfuerzos (total, hidrostático y efectivo).
- ✓ Como se muestra en la grafica se tienen los resultados del diagrama de presiones en el cual nos ayudara a obtener los esfuerzos confinantes o incrementos para realizar la prueba consolidación unidimensional.
- ✓ Para conocer los incrementos se podrá realizar la siguiente expresión.

Donde:

$\Delta H$ = Profundidad del espécimen.

$\gamma_m$ = Promedio del peso volumétrico de los estratos encontrados hasta la profundidad del espécimen.

$$\left( (\Delta H_{\text{especimen}}) \times (\gamma_{\text{prom}}) \right) - (\Delta H_{\text{especimen}} - NAF) \quad (0.3)$$

NAF= Nivel de aguas freáticas.

0.3, 0.6, 1.1, 2, 3, 5 = valor de veces al esfuerzo efectivo.

En este caso se obtuvieron los siguientes incrementos a una profundidad de 5 m con un nivel freático a 2m de profundidad

Incremento 1	Incremento 2	Incremento 3	Incremento 4	Incremento 5	Incremento 6
0.1	0.2	0.4	0.7	1.0	1.7

**TABLA I. 26 Incrementos obtenidos en el diagrama de esfuerzos (kg/cm<sup>2</sup>).**

### I.13.5 PROCEDIMIENTO:

- ✓ De una muestra inalterada, córtese porciones de esta y determínese su densidad de sólidos, peso volumétrico y contenido de agua.
- ✓ De la muestra cubica se cortara una porción de 10cm del lado.
- ✓ Una vez obtenido la muestra se colocara el material ya sea en el torno de labrado o en forma manual, esto es insertando el anillo sobre la muestra y realizando cortes en esta hasta que la muestra se encuentre dentro del anillo.
- ✓ Si el material sobresale del anillo de 4 mm a 10 mm se enrasara la cara superior e inferior de la muestra con un cuchillo.
- ✓ Si el material presenta pequeños vacios estos serán rellenados con material del recorte.
- ✓ Se extraerá el material del anillo y se determinara la altura y el diámetro de la muestra.
- ✓ Pesar el anillo de consolidación y anotar dicho peso en el registro correspondiente.
- ✓ Se colocara nuevamente el material en el anillo de consolidación.
- ✓ Se pesara, anotando dicho peso, como: Tara + suelo húmedo.



- ✓ Con el material del recorte se determinara su contenido de agua.
- ✓ Se colocaran las piedras porosas y el papel filtros en un recipiente con agua y se dejaran saturar
- ✓ Se armara la caja de consolidación colocando la muestra entre el papel filtro y las piedras porosas.
- ✓ Se colocara la caja de consolidación sobre el consolidometro.
- ✓ Se aplica agua hasta llenar la cazuela y así se mantiene hasta terminar la prueba.
- ✓ Cabe mencionar que en el caso de un material arcilloso lo recomendable es no llenar de agua la capsula debido a que este material tiende a absorber y con ello a expandirse el material y lo recomendable es colocar algodón húmedo en la probeta para evitar la pérdida de agua.
- ✓ Checar el brazo de palanca que se encuentre nivelado. Dichas cargas se convierten en presión, tomando en cuenta la relación de brazo y el área del espécimen en estudio.
- ✓ Se aplicara una carga de asentamiento de  $0.05 \text{ kg/cm}^2$  para suelos firmes y de  $0.025 \text{ kg/cm}^2$  para suelos blandos.
- ✓ Se ajusta el micrómetro a cero o en el caso se anota la lectura inicial de este, además la temperatura del agua contenida en la capsula fecha y hora que inicia la prueba.
- ✓ Enseguida se colocara carga sobre el consolidometro para obtener presiones sobre el suelo estos valores serán los incrementos antes calculados.
- ✓ Inmediatamente aplicado cada incremento de carga se van tomando las lecturas de deformación que va sufriendo en suelo en los tiempos recomendados, estos son: 5 seg. , 10 seg, 15 seg, 30 seg. 1 min. , 2 min., 4 min., 8 min., 15 min, 30 min. , 60 min., 120 min., 240 min., 480 min., 900 min. y 1440 min.
- ✓ Una vez tomada la lectura con el último incremento de carga se descargara el suelo mediante reducciones de carga con orden inverso.
- ✓ Se tomaran las lecturas de recuperación que tiene el suelo, lo cual en la mayoría de los casos, la recuperación máxima se da a las 12 hrs. de haberse retirado esa carga.
- ✓ Para la disminuir la expansión durante la descarga deberá descargarse la muestra hasta la carga establecida de asentamiento.
- ✓ Se retira el anillo del consolidómetro, se seca superficialmente, se tomara su peso y se registrara.
- ✓ Se coloca en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 hr,
- ✓ Una vez terminado el tiempo de secado se retirara del horno dejándolo enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Se pesara la muestra seca y se registrara para obtener el contenido de agua al final de la prueba.
- ✓ Con los datos obtenidos se podrá calcular su relación de vacíos, con respecto a la carga.



- ✓ Se grafican en papel semi-logarítmico de 4 ciclos; esta gráfica será de vacíos contra carga, en donde la carga va en escala logarítmica y la relación de vacíos en la escala aritmética.
- ✓ De esta gráfica se obtiene la carga de preconsolidación y la curva de Compresibilidad.

### I.13.6 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO:

A continuación se realizara el procedimiento para el cálculo y llenado del formato de consolidación.

- Como primer punto deberá tenerse la información con respecto al anillo.
- En el segundo punto se deberá las características del anillo + muestra

Antes de la prueba.	
$W_{\text{anillo}} + W_h =$	Peso del anillo + peso de la muestra húmeda (g).
$W_{\text{anillo}} =$	Peso del anillo (g).
Densidad de sólidos.	
Después de la prueba.	
No de vidrio.	
$W_{\text{vidrio}} =$	Peso del vidrio.
$W_{\text{vidrio}} + W_h + W_{\text{anillo}} =$	Peso del vidrio + Peso de la muestra húmeda + Peso del anillo.
$W_{\text{vidrio}} + W_s + W_{\text{anillo}} =$	Peso del vidrio + Peso de la muestra seca + Peso del anillo.

**TABLA I. 27 Características del material + anillo.**

- A continuación se deberá tener los datos de la probeta.

Datos de la probeta	
En condiciones iniciales y condiciones finales	
$D_m$	Diámetro de la muestra.(cm)
$H_m$	Altura de la muestra.(cm)
$W_m$	Peso de la muestra (g)
$W$	Contenido de agua. (%)
$A_m$	Área de la muestra. (cm <sup>2</sup> )

**TABLA I. 28 Características de la probeta**

Relaciones volumétricas del material		
Símbolo	Definición	Formula
$V_m$	Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	$V = A \times H_m$
$W_w$	Peso del agua (g)	$W_w = W_s \times w$
$W_s$	Peso del suelo (g)	$W_s = W_m / (1+w)$
$V_s$	Volumen del suelo (cm <sup>3</sup> )	$V_s = W_s / (G_s \times \gamma_w)$
$V_v$	Volumen de vacíos (cm <sup>3</sup> )	$V_v = V_m - V_s$
$V_w$	Volumen del agua (cm <sup>3</sup> )	$V_w = (W_w / \gamma_w)$
$V_a$	Volumen del aire (cm <sup>3</sup> )	$V_a = V_v - V_w$



e	Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$
$G_w$	Grado de saturación (%)	$G_w = V_w/V_v$
$\gamma_m$	Peso volumétrico del material ( $g/cm^3$ )	$\gamma_m = W_m/V_m$

**TABLA I. 29 Propiedades de la probeta en condiciones iniciales y finales del ensayo.**

- La deformación lineal ( $\Delta H$ ) se calcula restando de la lectura inicial del micrómetro, las subsecuentes lecturas y a cada diferencia se le resta la deformación del aparato.
- La recuperación, se calcula con la diferencia entre las lecturas del micrómetro en cada tiempo y la lectura inicial y el resultado obtenido se le resta la corrección del aparato que le corresponde.
- Del peso del anillo y la probeta que se desmontaron del aparato se toman los valores antes y después de la prueba y se elabora una grafica de tiempo contra deformación.
- Para el cálculo de la deformación lineal de la lectura final del micrómetro se va acumulando las deformaciones.
- Para el cálculo de la deformación (%) se calcula dividiendo la deformación lineal de cada región entre el espesor inicial  $2H$  y multiplicado por 100.
- Para el cálculo de ER (mm) es para cada renglón, igual al espesor inicial menos la deformación lineal correspondiente.
- Para el cálculo de la siguiente columna se debe tener el valor del peso de los sólidos ( $2H_0$ ) que será constante durante el proceso la formula es la siguiente:

Donde:

$W_s$ = peso de los sólidos en g.

$\gamma_w$ = Peso volumétrico del agua  $g/cm^3$ .

$S_s$ = Densidad de sólidos.

$A_c$ = área de la pastilla en  $cm^2$ .

$$2H_0 = \frac{W_s \times 10}{\gamma_w S_s A_c}$$

- Para el cálculo de la relación de vacíos se tiene la siguiente formula.

Donde:

$2H$ = dos veces la altura

$2h_0$ = dos veces la altura inicial.

$$e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$$

- Para la obtención del  $av$  se calcula con la siguiente fórmula :

Donde:

$e_1$ - $e_2$ =relación de vacíos

$P_1$ - $P_2$ = presiones

$$av = - \frac{e_2 - e_1}{P_2 - P_1}$$



- En el cálculo  $H_m$  (cm) se calcula sumando los espesores comprimidos en cada dos incrementos y se divide entre cuatro.
- Para la columna siguiente se elevaran al cuadrado los datos de  $H_m$  de la columna anterior.
- En la columna siguiente se anotan los valores de  $t_{50}$  en seg, el cual se obtiene de las graficas de tiempo deformación. Se escogerá un punto de la curva próximo al eje de las deformaciones, en el eje de las abscisas en el que le corresponde tiempo y se buscara sobre la curva la que sea cuatro veces la del punto originalmente corregido. Mientras que en el eje de las ordenadas se buscara la diferencia entre ambos puntos y se duplicara y este valor se llevara a partir del segundo punto.

En una paralela al eje de las ordenadas, obteniéndose de este modo un tercer punto por el cual se hará una paralela al eje de los tiempos que es la que define el 0% teórico de consolidación. Mientras que el 100% teórico de consolidación quedara definido por la intersección de la tangente al tramo central de la curva con la asntota del tramo final de la misma, definidos el 0% y 100% al punto medio del segmento entre ambos corresponderán al 50% teórico de consolidación.

- Para el cálculo del coeficiente de consolidación  $C_v$  en  $\text{cm}^2/\text{seg}$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{0.197 H_m}{T_{50}}$$

- Para el cálculo del coeficiente de permeabilidad  $K_m$  se calcula como se ve en la siguiente expresión:

$$K_m = \frac{C_v \gamma_w}{(1 + e_m) 1000}$$

- Para la obtención de  $r$  (relación de consolidación primaria).

Donde:

$d_s$ = Deformación en el 0% de la consolidación primaria

$d_{100}$ = Deformación en el 100% de la consolidación primaria

$d_0$ =Deformación del espécimen (tomada como lectura inicial del micrómetro).

$d_f$ = Deformación final del espécimen (tomada como la lectura inicial del micrómetro).

$$r = \frac{d_s - d_{100}}{d_0 - d_f}$$

- El cálculo de presión media ( $P$ ) es el promedio de las presiones de dos incrementos consecutivos.



### I.13.9 FOTOGRAFÍAS:



IMAGEN I.13. 1 Peso del anillo



IMAGEN I.13. 2 Torno de labrado



IMAGEN I.13. 3 Extracción de la muestra



IMAGEN I.13. 4 Colocación de la muestra al torno de labrado



IMAGEN I.13. 5 Enrasado del material en el anillo



IMAGEN I.13. 6 Muestra de material + anillo



**IMAGEN I.13. 7** Medición del diámetro de la muestra



**IMAGEN I.13. 8** Extracción de la muestra del anillo



**IMAGEN I.13. 9** Saturación de piedras porosas y papel filtro



**IMAGEN I.13. 10** Saturación de piedras porosas y papel filtro



**IMAGEN I.13. 11** Colocación de la muestra en el consolidómetro



**IMAGEN I.13. 12** Colocación de carga en el consolidómetro



## I.14. PRUEBA TRIAXIAL UU.

### I.14.1. DESCRIPCIÓN.

La prueba de compresión triaxial tiene como finalidad conocer las características y parámetros del suelo.

Esta prueba se realiza con mayor frecuencia debido a la importancia que se tiene de conocer las características mecánicas del suelo ya que durante el proceso para la obtención de los resultados se deben conocer y tomar en cuenta los siguientes datos.

Para suelos granulares las principales características que deberán tomarse en cuenta son la compacidad, la forma de los granos y la granulometría.

Para suelos cohesivos se tiene dos enfoques en la cual se ve afectada su resistencia.

- ✓ El primer punto es el esfuerzo efectivo de la trayectoria que tienen los esfuerzos así como su velocidad de deformación.
- ✓ El punto número dos es la ley de resistencia que se trata del enfoque que se deberá tomar en cuenta del historial de carga el que haya tenido el suelo, así como los esfuerzos efectivos, carga previa o existente que generen esfuerzos y la velocidad en la que sufrió la deformación. En prueba experimental se conoce la resistencia de un suelo cohesivo a resistir la falla y el desplazamiento a lo largo de cualquier plano dentro de, el, expresándolo en términos de esfuerzos totales. Además se tienen del historial de carga, condiciones de carga y drenaje funciones características del suelo ( $\Phi$ ,  $c$ ).

En la prueba triaxial usualmente se realizan en dos etapas:

- ✓ Consolidación: el cual consiste en aplicar en el espécimen una presión hidrostática (consolidación isotrópica) como también se le puede aplicar en forma simultánea una carga y descarga vertical también llamada consolidación anisotrópica.  
Ruptura: el cual consiste en mandar a la falla la muestra por carga o descarga vertical manteniendo constante la presión confinante.

Las pruebas triaxiales más usadas con respecto a una de condiciones de función de drenaje durante las dos etapas mencionadas anteriormente las cuales se describen a continuación:

- ✓ Prueba triaxial consolidada no drenada (CU).  
Con este método se define el esfuerzo cortante en función de los esfuerzos geostáticos aplicados a través de la cámara de presión de falla ya que el esfuerzo cortante aumenta con la presión de la cámara.
- ✓ Prueba triaxial consolidada drenada (CD).  
En este método es de forma similar a la prueba CU en que el esfuerzo cortante puede relacionarse a la carga aplicada. La diferencia consiste en que cuando la carga se aplica, se permite al espécimen drenar. La prueba



se lleva a cabo muy lentamente para permitir el drenaje y desarrollarse por completo el esfuerzo efectivo.

- ✓ Prueba triaxial no consolidada no drenada (UU).

Con este método se define el esfuerzo cortante en condiciones no drenadas, lo que significa que no permite cambios en los esfuerzos conforme se desarrolla la prueba.

La realización de esta prueba de laboratorio permitirá al ingeniero geotécnico comprender de una mejor forma al comportamiento de los suelos, así como, sus propiedades con los que lograra proyectos de ingeniería más seguros y económicos.

### **I.14.2. OBJETIVO.**

La prueba triaxial no consolidada no drenada (UU) consiste esencialmente en colocar una muestra de suelo ya sea alterada o remoldeada o en su caso una muestra inalterada extraída de un tubo Shelby o muestra cubica, el cual se le colocara dentro de una membrana de hule, caucho o látex en una cámara de lucita transparente en el cual se le aplicara presiones laterales y axiales diferentes alrededor de la probeta de forma cilíndrica por medio de un fluido en la cámara para estudiar su comportamiento.

Además podrán obtenerse las siguientes características y propiedades:

- Los parámetros de esfuerzo y deformación.
- Se determinara el esfuerzo cortante en condiciones no drenadas, lo que significa que no se permiten cambios en los esfuerzos conforme se desarrolla la prueba.
- Interpretar debidamente el tipo de fallas que sufrió el material conforme a sus características.
- Observar su comportamiento al ser realizada la prueba con diferentes confinamientos
- Determinar sus parámetros de cohesión ( C ) o del ángulo de fricción  $\Phi$  por medio de las graficas de circulo de Mohr.

### **I.14.3. MATERIAL Y EQUIPO.**

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| ✓ Torno de labrado.             | ✓ Micrómetro de base magnética. |
| ✓ Cuerda de guitarra            | ✓ Calibrador Vernier.           |
| ✓ Cuchillo.                     | ✓ Taras o vidrios de reloj.     |
| ✓ Balanza de precisión de 0.01g | ✓ Vernier.                      |
| ✓ Marco de carga                | ✓ Horno de convección           |
| ✓ Anillo de carga               | ✓                               |



### I.14.4. PROCEDIMIENTO ANTES DE INICIAR LA PRUEBA.

Antes de comenzar la prueba deberemos obtener el valor de los esfuerzos confinantes los cuales vamos a aplicar en la prueba triaxial.

Primero identificaremos con respecto a los registros de campo la profundidad en la que fue extraído el material.

Conocer las características en esa profundidad, esto es si se encontró a esa profundidad nivel de agua freático (NAF), abatimiento, etc.

A continuación se deberá conocer las características de clasificación visual y al tacto o bien las características índice del material como es el peso volumétrico ( $\gamma$ ), contenido de agua ( $w\%$ ), granulometría, etc.

Una vez conociendo esto, realizaremos en gabinete un diagrama de esfuerzos donde se conocerán los esfuerzos efectivos como totales y presión hidrostática que ejercen en el material. En la fig se muestra la distribución geotestática del suelo.

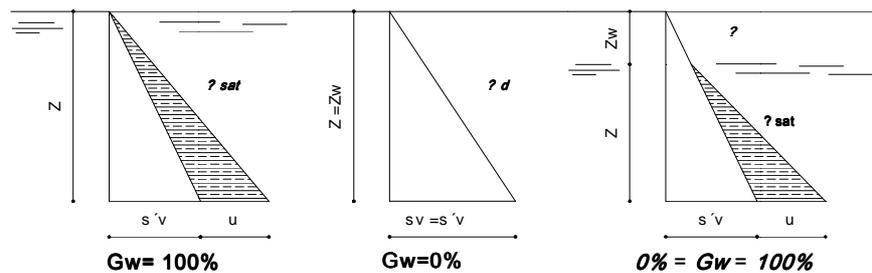


FIGURA I. 26 Características de esfuerzos

Como se observa en la tabla siguiente se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- ✓ Numero de estratos que forma el subsuelo.
- ✓ Profundidad en la que se encuentran los estratos.
- ✓ Peso volumétrico de cada estrato.

Estrato No.	Prof.		P. Vol tn/m <sup>3</sup>
	m	m	
1	0.00	1.80	1.40
2	1.80	3.00	1.20
3	3.00	5.40	1.3
4	5.40	7.40	1.25
5	7.40	9.00	1.3
6	9.00	12.40	1.25
7	12.40	12.60	1.3

TABLA I. 30 Propiedades del suelo

- ✓ Se realizara el cálculo teniendo en cuenta el nivel de aguas freáticas que se llegara a localizar en alguna profundidad del subsuelo, esto es de



- importancia ya que la presión que ejerce el agua en el material aumenta o disminuyen los esfuerzos según sea el caso.
- ✓ Se realizaran los respectivos cálculos.
  - ✓ Como se muestra en la grafica se tienen los resultados del diagrama de presiones en el cual nos ayudara a obtener los esfuerzos confinantes para realizar la prueba triaxial.

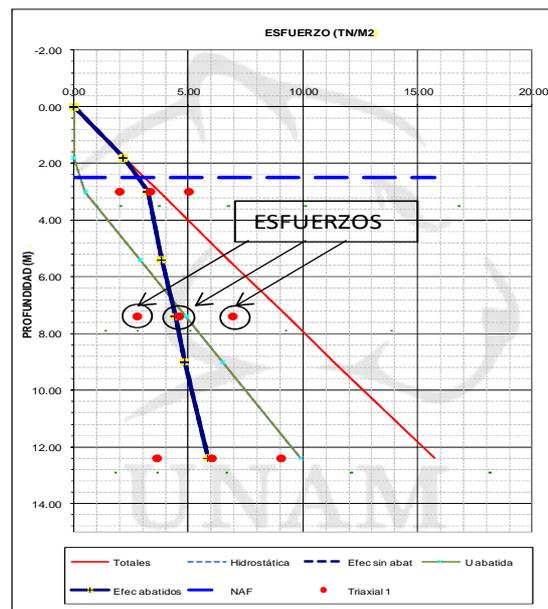


FIGURA I. 27 Diagrama de esfuerzos.

- ✓ Como se describe a continuación se tomaran los siguientes aspectos.
  - Se tomaran para cada un espécimen los puntos conforme al diagrama de esfuerzos efectivos.
  - El primer punto se tomara a la mitad del valor del esfuerzo efectivo, como se muestra en la figura. El segundo punto se tomara en la intersección de la línea del esfuerzo efectivo y el tercer punto se tomara a la mitad después del valor del esfuerzo efectivo como se muestra en figura.
  - En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de los esfuerzos confinantes que se utilizaran en la prueba.

CONFINAMIENTOS RECOMENDADOS				
Prof. Tubo o Pca		En kg/cm <sup>2</sup>		
3.0 m	triaxial	0.2	0.3	0.5
7.4 m	triaxial	0.3	0.5	0.7
12.4 m	triaxial	0.4	0.6	0.9

TABLA I. 31 Confinamientos para la prueba



### I.14.5. PROCEDIMIENTO.

- ✓ En el caso de una muestra cubica de material inalterada se tomar una porción de la muestra con una proporción de de 12 x 12x 12 cm aproximadamente
- ✓ La muestra obtenida se colocara en el torno de labrado y se realizara su labrado con una altura de 9cm y con un diámetro de 3.6 cm aproximadamente aunque también se acepta la relación h/d= 2.5 a 3 .
- ✓ Para el caso de tubo shelbyn se hará un corte tubo + muestra de 12 cm a 15cm aproximadamente a lo largo del tubo, en el cual se deberá tener cuidado en la hora de tomar la parte significativa de la muestra ya que en algunos casos la muestra es tomada en la parte media del tubo o en su caso a 10 cm de la parte final del tubo.
- ✓ Una vez realizado esto se retirara la muestra inalterada del tubo metálico.
- ✓ Se colocara la muestra en un lugar plano y se efectuaran cortes quedando fraccionado en 4 partes.
- ✓ Dividido la muestra se tomara una fracción de esta y se colocara en el torno de labrado.
- ✓ Una vez realizado esto la probeta deberá tener la siguientes especificaciones:
- ✓ La probeta deberá tener una altura de 9.00 cm y diámetro de 3.6 o en su caso h/d= 2.5 a 3 veces.
- ✓ Cabe mencionar que al momento del labrado de la muestra se podrá encontrar algún fragmento de materia orgánica o gravillas, en el cual se deberán remover muy cuidadosamente de la probeta y se rellenara el vacio o vacios de la probeta con suelo remodelado obtenido de los recortes.
- ✓ Se tomara una porción de material ya sea de las porciones sobrantes al labrar la probeta o de los extremos de esta y se colocaran en una tara, se pesaran y meterán al horno por 24 hr. Para obtener el contenido de agua de la muestra.
- ✓ Se deberá tomar con el vernier la altura media (h), esto es tomar las medidas de por lo menos de cuatro mediciones y el diámetro (dm) de la probeta a partir de los diámetros medios y externos (d1, d3) y en el centro (d2), una vez realizado esto se calculara el diámetro medio de la forma siguiente:

$$\bar{dm} = \frac{d1 + 2d2 + d3}{4}$$

- ✓ Se anotaran los datos para la obtención del área y el volumen de la probeta.
- ✓ Se tomaran los pesos de las probetas y se realizara el cálculo para obtención del peso volumétrico.

Donde:

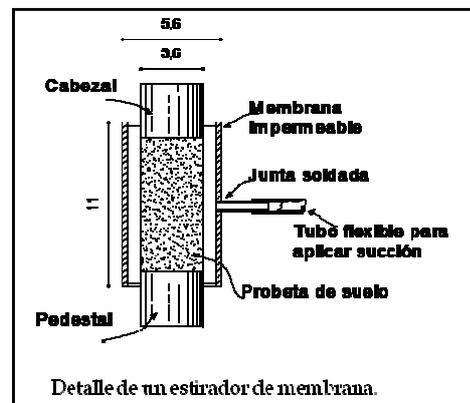
$$v = \frac{P}{\rho} \text{ Kg/cm}^3$$

$\gamma$ = Peso volumétrico del material (Kg/cm<sup>3</sup>).

P= peso del material g.

V= Volumen, cm<sup>3</sup>.

- ✓ Para el caso de esta prueba drenada en suelos cohesivos se le colocaran discos de papel filtro saturado en la cabeza y en la base de la probeta.
- ✓ Se acomodara ya sea membrana o látex dentro del un dispositivo para acomodarla se doblaran sus extremos sobre los labios superior e inferior del cilindro y se le aplicara succión por la boquilla del dispositivo esto es para provocar vacío entre la membrana y el cilindro.
- ✓ Se colocara la probeta en posición vertical y se plantara en el cilindro sobre la probeta.
- ✓ Se le retirara el vacío del cilindro.
- ✓ Se coloca la probeta en la cámara triaxial, amarrando con una liga los extremos de la membrana impermeable a los cabezales de la cámara. Primero se debe amarrar el extremo que quedara en la parte superior. Se deberá tener cuidado que la manguera que conecta ala bureta.
- ✓ Colocar la cámara triaxial de lutita en el marco de carga el cual se bajara hasta que esté a punto de hacer contacto.
- ✓ Se colocara un deformimetro de base magnética en el soporte de la cámara apoyado sobre el marco de carga.
- ✓ Se introducirá agua a la cámara para dar presión de confinamiento hidrostático a la probeta. El agua se encuentra almacenada en un tanque que cuenta con un manómetro que en el cual se conecta a un compresor.
- ✓ Una vez llenado el agua en el tanque de control debe encontrarse aproximadamente al mismo nivel que la probeta, en caso contrario la diferencia de elevaciones debe medirse para poder aplicar la corrección correspondiente al valor medio de la presión confinante.
- ✓ Se procede a inicio de la ruptura de la probeta.



Dispositivo para prueba de succión

#### I.14.5. CALCULO DE LA PRUEBA.

Los valores aquí presentados se realizaron para las tres probetas. Dentro de la hoja de registro se deberá tener los siguientes datos.



Medidas de la muestra			
Ds	Diámetro superior de la muestra	As	Area superior de la muestra
Dc	Diámetro central de la muestra	Ac	Area central de la muestra
Di	Diámetro inferior de la muestra	Ai	Area inferior de la muestra
Hi	Altura inicial de la muestra	Am	Area media de la muestra

**TABLA I. 32 Descripción de la muestra.**

Pesos de la muestra + capsula			
Capsula	Numero de la capsula	Tara capsula	Peso de la capsula
Wsh+ capsula	Peso de la muestra húmeda mas capsula	Wsh	Peso de la muestra húmeda
Wss+capsula	Peso de la muestra seca mas capsula	Wss	Peso de la muestra seca

**TABLA I. 33 Características de la muestra + tara.**

Características del suelo			
Ss	Densidad de sólidos	W%	Contenido de agua
Vo	Volumen de la muestra	Gwi	Grado de saturacion
e	Relación de vacios		

**TABLA I. 34 Características del suelo**

Los resultados de la prueba obtuvimos lo siguiente datos.

Cargas aplicadas a las probetas de suelo	
Carga parcial (kg)	Lecturas del micrómetro mm

**TABLA I. 35 Cargas aplicadas a la probeta**

Calculo de carga acumulada (kg)

En el primer resultado será:

La carga parcial o de la prueba será igual a la carga acumulada  $0=0$ .

En las demás lecturas serán:

Donde:

$W_{acum}$ = Carga acumulada

$$W_{acum} = W_p + W_{acumulada\ 1}$$

$W_p$ = Carga parcial.

Calculo del desplazamiento.

En el primer resultado será:

Donde:

Desplazamiento

$$Desplazamiento = Def_{o1} + Def\ 1$$

$Def_1$ = Deformación inicial.

En las demás lecturas serán:

Donde:

$$Desplazamiento = Def_{o1} + Def_x$$



Desplazamiento

Def<sub>1</sub>= Deformación inicial.

Der<sub>x</sub>= Deformación siguiente

### Calculo del porcentaje de deformación

Donde:

% Def= Porcentaje de deformación

H<sub>1</sub>= Altura inicial de la probeta.

Despl= Desplazamiento.

$$\%Def = \frac{Hi.}{((Despl)10)100}$$

### Calculo de la deformación corregida

Donde:

1- Def= Deformación corregida

%Def.= Porcentaje de deformación.

$$1 - Def = 1 - \frac{\%Def.}{100}$$

### Calculo del área corregida

Donde:

A corregida

Am= Área media

1- Def= Deformación corregida.

$$A_{corregida} = \frac{Am.}{1 - def}$$

### Calculo del esfuerzo desviador

Donde:

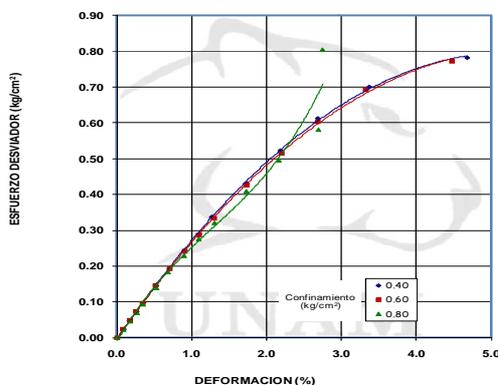
σ<sub>desv</sub> Esfuerzo desviador

W<sub>acum</sub>= Carga acumulada

A<sub>corregida</sub>= Área corregida.

$$\sigma_{desv.} = \frac{W_{acum}}{A_{corregida}}$$

Una vez obtenido una tabla de valores con los resultados ya calculados se pasara a graficar la curva de deformación en el eje de las ordenadas estarán los valores de % de deformación y en la abscisas los valores del esfuerzo desviador como se muestra en la figura I.30.



Graficaremos los círculos de Mohr de las tres probetas para la obtención de su cohesión (C) y ángulo de fricción (φ).

- ✓ Conocer los confinamientos a los que fueron sometidas las probetas.
- ✓ Como ser el valor de esfuerzo de falla de cada probeta.
- ✓ Conocer el esfuerzo principal mayor que es la suma de la presión de confinamiento + el esfuerzo de falla.

Obtener el valor del radio del círculo de Mohr que es el valor de la presión confinante menos el esfuerzo principal mayor entre 2.  
Con la grafica realizada deberemos obtener los valores de la cohesión (c).

- ✓ Se dibujara una línea tangencialmente a los tres círculos graficados como se muestra en la figura I.32.

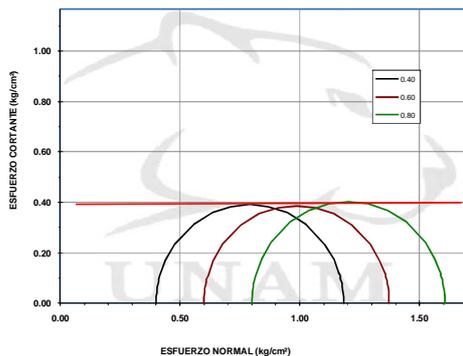


FIGURA I. 30 Círculo de Mohr.

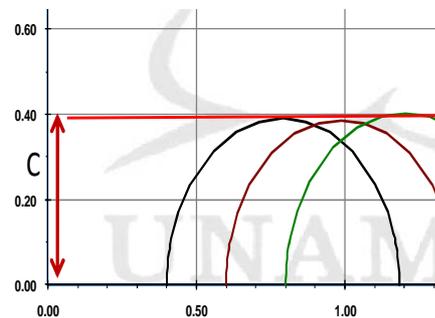


FIGURA I. 31 Valor de la Cohesión

Para la obtención del ángulo de fricción en los círculos de Mohr utilizaremos la misma línea que utilizamos para obtener la cohesión y mediremos el ángulo que tiene con respecto a las abscisas.

#### I.14.6. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- ✓ La muestra deberá ser labrada con mucho cuidado evitando que sufra algún rompimiento ya que esto ocasionaría el fallo de la prueba.
- ✓ Al término del labrado deberán colocarse las muestras en recipientes sellados para evitar la pérdida de agua.
- ✓ El equipo a utilizar deberá estar en buenas condiciones y con una buena calibración en los micrómetros o deformímetro.
- ✓ Deberá tenerse mucho cuidado en la colocación de membrana ya que podría dañarse la muestra con facilidad.
- ✓ El cálculo de los valores de confinamiento deberán ser revisados para evitar una falla anticipada.
- ✓ Los valores obtenidos durante la prueba deberán ser registrados.

### I.14.7.FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN I.14. 1 Vista de la muestra cubica



IMAGEN I.14. 2 Vista de la muestra tipo Shelby



IMAGEN I.14. 3 Inicio de los trabajos de labrado



IMAGEN I.14. 4 Inicio de los trabajos de labrado



IMAGEN I.14. 5 Labrado de la muestra



IMAGEN I.14. 6 Especímenes listos para pruebas



IMAGEN I.14. 7 Vista de la cámara triaxial



IMAGEN I.14. 8 Colocación de membrana en la probeta



IMAGEN I.14. 9 Colocación de muestra en cámara triaxial



IMAGEN I.14. 10 Colocación del a probeta



IMAGEN I.14. 11 Cámara triaxial



IMAGEN I.14. 12 Ajuste para prueba triaxial



# **CAPITULO II**

## **PRUEBAS EN TERRACERÍAS Y** **PAVIMENTOS**



## II.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de las vías terrestres en la carrera de ingeniería civil es elemental para el desarrollo y la investigación del profesionista con respecto a los problemas que se presentan en el medio en el que se va a desarrollar una obra de infraestructura vial como son las carreteras, obras férreas, aeropuertos, etc.

El gran adelanto que se tiene en esta área requiere que una actualización constante del ingeniero para darle la importancia en la calidad en desde el estudio, proyecto y para su construcción o mantenimiento de la infraestructura vial.

La recopilación de información es un punto fundamental que nos ayudara a realizar un buen proyecto ya que con esto obtendremos los cálculos correspondientes para la realización de los trazos, procesos constructivos, especificaciones y las características de los materiales.

Los materiales mayormente utilizados son los suelos y los materiales pétreos, los cuales constituyen el cimiento, el apoyo y el cuerpo estructural del pavimento.

Para lograr que estos materiales tengan un buen comportamiento es necesario que sus requisitos de calidad sean debidamente asegurados durante su obtención, tratamiento, transporte, construcción, compactación y acabado, para lo cual es muy importante la aplicación de técnicas de estudio, selección y diseño de materiales, así como también del uso apropiado de equipo de extracción, producción, almacenamiento, transporte y construcción.

Los puntos importantes que tomaremos en este capitulado serán sobre la evaluación de las características físicas y el comportamiento mecánico de los suelos y materiales, esto es conocer los tipos de muestreo y las pruebas de laboratorio para un buen control de calidad en terracerías y capas hidráulicas del pavimento.



## II.2 CUERPO DE TERRAPLÉN.

### II.2.1 ASPECTOS GENERALES.

El cuerpo del terraplén juega un papel importante dentro del diseño de pavimentos. Esta estructura estratificada tiene como función principal tomar y resistir la acción de las cargas impuestas por el tránsito vehicular a través de la superficie de rodadura (pavimento flexible o rígido), así como, distribuir adecuadamente los esfuerzos al terreno natural, presentar condiciones adecuadas de drenaje y durabilidad.

En la tabla II.1 se mostraran las características que conforman el cuerpo del terraplén:

ELEMENTO	TIPO DE MATERIAL	FUNCIÓN
<b>Pavimento</b>	Mezcla asfáltica o concreto hidráulico.	Superficie de rodadura, diseñada para resistir y soportar los efectos abrasivos del tránsito. Impide la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores y evitar capacidad de resistencia de estas. Tener resistencia a los agentes atmosféricos.
<b>Base</b>	Materiales pétreos seleccionados	Proporciona apoyo a la superficie de rodadura, soporta y transmite los esfuerzos, evita deformaciones y drena el agua que se puede infiltrar además de impedir el ascenso capilar del agua subterránea.
<b>Sub-base</b>	Conformada por materiales pétreos seleccionados.	Proporciona un apoyo uniforme a la base: Soporta las cargas que se transmiten distribuyendo a la capa inmediata inferior. Ayuda a controlar cambios volumétricos de capas inferiores. Proteger a la capa base aislándola de la terracería el cual está formado generalmente de materiales finos.
<b>Sub-rasante</b>	Material de préstamo de bancos, compactada y definida su rasante, ancho de corona, bombeo y sobreelevación.	Proporciona a la base un cimiento uniforme, transmitiendo las cargas a la capa subyacente y/o terreno natural, la calidad de esta capa depende a medida al espesor de un pavimento ya sea flexible o rígido.
<b>Subyacente</b>	El material de esta capa debe estar en función del tránsito vehicular.	Permite mayor durabilidad al terraplén además de distribuir las cargas al terreno natural.
<b>Terreno natural</b>	Es el material de la zona, el cual debe estar completamente limpio y compactado para recibir el cuerpo del terraplén.	Recibe las cargas transmitidas por el cuerpo del terraplén.

**TABLA II. 1 Elementos del cuerpo de un terraplén.**

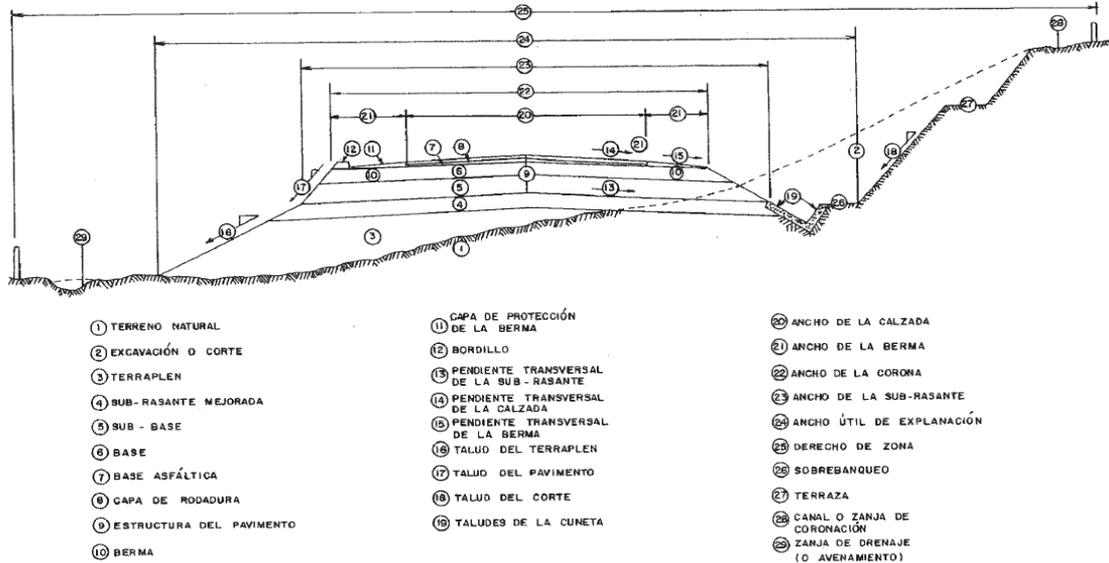


Figura II. 1 Sección tipo de pavimento flexible.

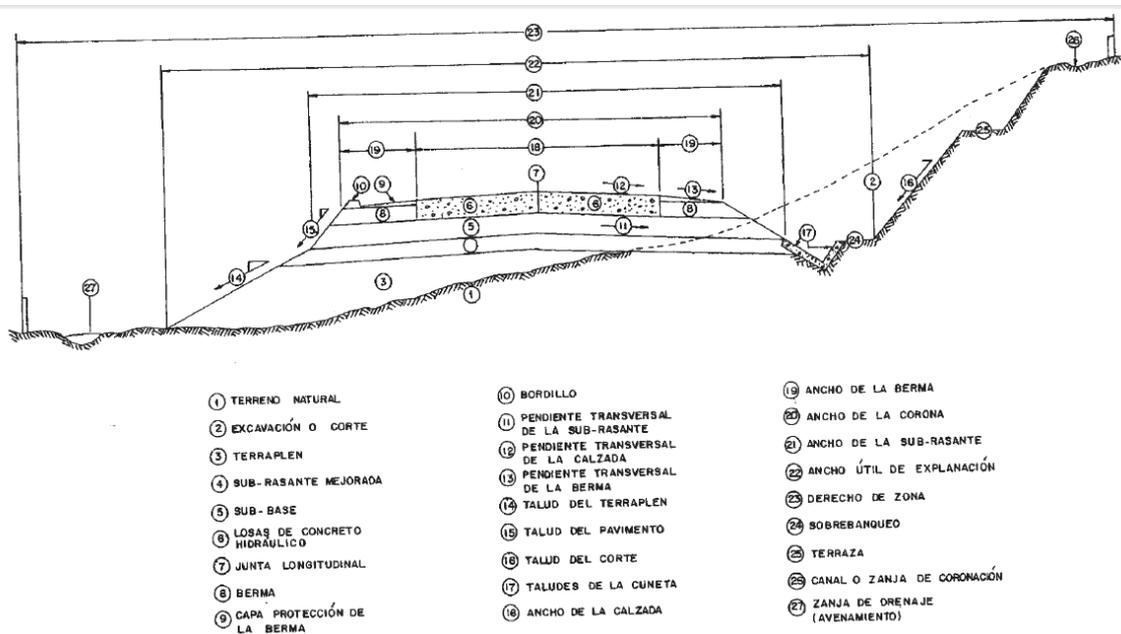


Figura II. 2 Sección tipo pavimento rígido

Algo que se deberá tomar muy en cuenta para la construcción y mantenimiento de una vía terrestre, es la de los materiales: suelos granulares y suelos finos. Su localización y selección, llega hacer una dificultad básica.



Lo que es necesario utilizar métodos de exploración que van desde la observación sobre el terreno hasta la realización de pozos a cielo abierto, máquinas de perforación, métodos geofísicos, etc. Que han sido incorporados para el ahorro de tiempo en exploración y costo humano.

En la tabla II.2 se muestra algunos sitios donde regularmente se obtienen materiales para la construcción o mantenimiento de la vía terrestre.

Tipo	Características
Prestamos laterales	Son los materiales que se encuentran en los costados del eje central del camino. Considerando los acarreos hasta de 100 metros como máximo.
Prestamos de corte	Estos materiales son el producto del corte en una ladera o excavaciones de pozos a cielo abierto en el terreno natural para extender los materiales excavados en lugares adyacentes bajos y como material compactado o a volteo para rellenos de un talud en rebajes en la corona de cortes y de terracerías existentes, en derrumbes y en escalones a lo largo de la ruta.
Prestamos de banco	Lugar en la que se realizan excavaciones para extraer materiales para obras térreas, tales como material de relleno para terraplenes. La característica que tiene este tipo de sitio de préstamo es que superan la distancia de los préstamos laterales y generalmente el sitio es una pequeña parte que se utiliza para explotar roca, arena, grava o suelos sin ningún procesamiento posterior.

**TABLA II. 2 Características de sitios de préstamos de materiales.**

## II.2.2 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES.

Para conocer los materiales apropiados para la construcción o mantenimiento de una vía es necesario realizar un estudio geotécnico en el sitio y sus alrededores.

La información geotécnica se inicia con la investigación de campo y laboratorio, el cual nos ayudará a conocer la composición de los materiales tanto en sus propiedades físicas como su comportamiento mecánico.

La investigación de los suelos debe alcanzar algunas de estas características:

- ✓ Conocimiento del sitio: geológica, climática, topográfica, hidrológico y de drenaje de la zona de proyecto, con este podremos tener una idea del tipo de material a encontrar para nuestro diseño.
- ✓ Exploración mediante sondeos tipo SPT o pozos a cielo abierto, esto es, para conocer el perfil estratigráfico del sitio de proyecto para determinar la cantidad y extensión de materiales aprovechables y la detección del nivel freático (NAF). Cabe mencionar que el número de sondeos en cada punto de proyecto es imposible por el costo que esto significaría y es por eso que es necesario acudir a la información obtenida como se menciona en el punto anterior para determinar los puntos en donde podrán realizarse los sondeos exploratorios.



- ✓ Extracción de muestras representativas de tipos alteradas o inalteradas con este tipo de material recolectado nos ayudaran a tener un conocimiento más acertado sobre sus características, clasificación y comportamiento bajo ciertas condiciones, esto es para definir los parámetros de diseño de la estructura de pavimento.

En la tabla II.3 se muestra algunas de estas clasificaciones que se utilizan para los materiales en las estructuras viales.

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES		
GRADO DE DIFICULTAD DE SU EXTRACCIÓN	TAMAÑO	COMPACTACIÓN
<b>Material A.-</b> Materiales blandos o suelos con partículas hasta de 7.6 cm.	<b>Fragmentos de roca.-</b> Cuando los materiales presentan tamaños mayores a 7.5 cm.	<b>Compactables.-</b> Cuando el material tiene como máximo un 20 % en volumen de partículas retenidas en la malla de 76 mm y un 5 % del volumen total de fragmentos de roca con tamaños mayores de 15
<b>Material B.-</b> Rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas muy blandas.	<b>Suelos.-</b> Cuando los materiales tienen tamaños menores a 7.5 cm	<b>No Compactables.-</b> Cuando el material no reúne los requisitos de los materiales compactables. Esto no debe considerarse como disculpa para que los materiales no compactables no se acomoden
<b>Material C.-</b> Macizos de roca como basaltos, calizas, rolitas, granitos y andesitas sanas, así como areniscas y conglomerados cementados		

**TABLA II. 3 Clasificación de los materiales de corte para terracerías en campo.**

En México la clasificación de suelos más utilizada y la que marca la SCT en la norma M.MMP.1.02/03 es por el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) como se muestra a continuación.

El sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesta en el año 1942.

Suelos (particularmente menores de (7.5 cm)	Suelos gruesos. más de la mitad del material se retiene en la malla N° 200 (0.075 mm)	Grava. Más de la mitad se retiene en la malla N° 4	Grava limpia (poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3.	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	Gw
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para Gw.	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	GP
		Grava con finos (Cantidad apreciable de partículas finas).	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Mas del 12% en masa pasa la malla N° 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifica a la fracción fina como ML o MH	GM	
			Grava arcillosa; mezcla de grava, arena y arcilla.	Mas del 12% en masa pasa la malla N° 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifica a la fracción fina como CL o CH	GC	
	Más de la mitad pasa en la malla	Arena limpia. (poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe de tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor a 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	SW	



<b>Suelos Finos.</b> más de la mitad del material pasa en la malla N° 200 (0.075)	<b>Limo y arcilla</b> Limite líquido	Menor al 50 %	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para Sw.	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	SP	
			Arena con finos. (cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Mas del 12% en masa pasa la malla N° 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifica a la fracción fina como ML o MH	SM
			Arena arcillosa mezcla de arena, grava y arcilla.	Mas del 12% en masa pasa la malla N° 200 y las pruebas de límites de consistencia clasifica a la fracción fina como CL o CH	SC	
	Mayor al 50%	Limite líquido	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad	ML		
			Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad	CL		
			Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad	OL		
			Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad	MH		
			Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de Arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad	CH		
			Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad	OH		
	Altamente orgánico	Turba fácilmente identificable por su color, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P			

**TABLA II. 4 Clasificación de suelos por SUCS.**

La clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) fue desarrollado en los Estados Unidos y que fue originalmente desarrollada por el Ingeniero geotécnico Karl Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano y es utilizada generalmente para clasificación de materiales para carreteras.

EL método AASHTO tomado del modelo de Casagrande tiene como base 7 grupos de suelos y agregados además un octavo grupo que corresponde a suelos orgánicos los grupos de A1 hasta A7 son subdivididos en sub-grupos solo el grupo A2 está dividido en 4 sub-grupos.

Este método clasifica los suelos de cualquier localidad geográfica en grupos basados con respecto a los resultados de los análisis de laboratorio en las pruebas de granulométrica y los límites de plasticidad.

La clasificación AASHTO proporciona un criterio útil que puede ser utilizado dentro de la investigación geotécnica de campo como en laboratorio ya que las diferentes categorías de clasificación se correlacionan en una forma general con respecto al comportamiento ingenieril de los suelos.

La asignación de un símbolo y un índice de grupo pueden ser utilizados para ayudar en la evaluación de propiedades importantes del suelo en el diseño y clasificación de carreteras y aeropuertos

En la tabla II.5 se muestra la clasificación AASHTO.



División general	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz #200)							Materiales limo – arcilloso (mas del 35% por el tamiz ASTM #200)				
Grupo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
Sub-grupo	A1.a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Análisis granulométrico (que pasa por el tamiz)												
Serie ASTM	# 10	≤ 50										
	#40	≤30	≤50	≥51								
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≥35	≥36	≥36	≥36	≥36
Estado de consistencia ( de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Limite liquido				≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41	>41
Índice de plasticidad	≤6			≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
Índice de grupo	0	0	0	0	≤4	≤8	≤12	≤20	≤20			
Tipología	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Gravas y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calidad	Excelente a buena calidad						regular a malo					

**TABLA II. 5 Clasificación AASHTO.**

## II.3. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.

### II.3.1 ASPECTOS GENERALES.

Los materiales en los cuales se forman los pavimentos como son las terracerías el terreno natural o terreno de cimentación, se ven sometidos a diversas cargas con diferentes magnitudes que son transmitidas por el tránsito vehicular se han realizado diversas investigaciones y buscado soluciones para obtener un buen comportamiento que sufren en los materiales.

La importancia que se tiene sobre las características físicas y los requisitos de calidad que deben de cumplir los materiales, son claramente especificadas siendo importante considerar que entre mejores materiales se utilicen en la construcción de la vialidad, mejor será el comportamiento de la estructura del pavimento.

Por tal motivo es necesario realizar pruebas a dichos materiales con el fin de analizar su comportamiento ante las cargas, esfuerzo-deformación, deformaciones elásticas y de recuperación, así como propiedades índice como es la plasticidad en el caso de suelos finos.



La obtención de dichos parámetros nos ayudara a conocer mejor la resistencia que presente el material de cada capa del terraplén, por lo que siempre será conveniente llevar un control en calidad sobre los resultados de las pruebas para realizar la elección correcta.

En los siguientes puntos tocaremos los requisitos y especificaciones que marca las normas de la SCT y que son necesarios para llevar un buen control de calidad en los materiales.

### **II.3.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA TERRAPLÉN.**

Los materiales que se utilicen para la construcción de terraplén hasta el nivel de desplante de la capa subyacente, deberán ser substraídos de excavaciones de la exploración, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas y que cumplan con los requisitos que marcan la norma CMT-1-01/02 a menos que exista un estudio previamente aprobado por la SCT.

El material que se utilice deberá estar libre de agentes contaminantes como materia orgánica, raíces y otros elementos que lleguen a contaminar el material. Los materiales con características expansivas o del producto del despalme no deberán ser utilizados para la construcción de esta capa al menos que en el sitio no exista materiales de buena calidad y se deberá proceder a la estabilización antes de su colocación.

#### **II.3.2.1 DESCRIPCIÓN.**

El cuerpo del terraplén es parte de la estructura de una vía terrestre y tiene como función:

- ✓ Alcanzar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas (pendiente longitudinal).
- ✓ Resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transformarlos en forma adecuada al terreno natural conforme a su resistencia.

El cuerpo del terraplén está generalmente formado material procedente de los cortes, como de préstamos laterales si estos se localizan dentro de una distancia máxima de 100m desde el centro de línea o de bancos cuando la distancia es mayor a esta, el espeso puede de un terraplén llaga a ser de sección variable.

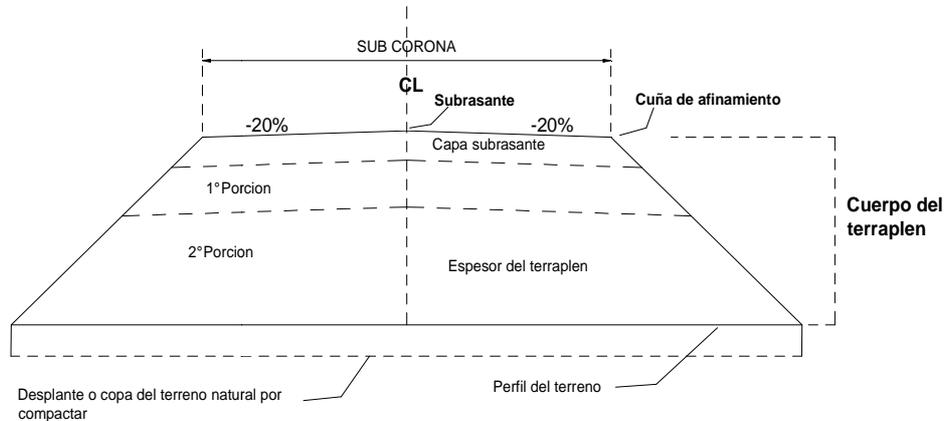


Figura II. 3 Capa de terraplén

### II.3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.

Como se menciona anterior mente se deberá cumplir con los requisitos marcados en la norma CMT-1-01/02 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

CARACTERÍSTICAS	VALOR
LIMITE LIQUIDO, % MÁXIMO	50
VALOR RELATIVO DE SOPORTE <sup>(1)</sup> (VRS) %MÍNIMO	5
EXPANSIÓN % MÁXIMA	5
GRADO DE COMPACTACIÓN <sup>(2)</sup> , %	91±2

(1) En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad.  
(2) Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con un contenido de agua óptimo de la prueba.

TABLA II. 6 Características de calidad de los materiales para terraplén.

### II.3.2.3 CRITERIOS DE CALIDAD.

- ✓ Se deberá realizar un estudio geotécnico donde se reporte la calidad del material y garantice que cumpla con las normas vigentes de la SCT.
- ✓ Si el contratista toma la decisión sobre la extracción de los materiales de bancos y la calidad que con esto conlleve será el responsable de asegurar que cumpla con los requisitos de calidad.
- ✓ Durante los trabajos de producción y ejecución se deberán cumplir con los siguiente puntos:



A cada	Del Sitio	Tipo de pruebas.
300m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Contenido de agua. Límites de plasticidad en donde el límite líquido tenga como máximo el 50% como lo indica la tabla anterior.
1000m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Contenido de agua. Granulometrías VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte californiana) Peso volumétrico. Densidad de sólidos Compactación AASHTO.
Capa del terraplén		Pruebas índice. Prueba de compactación AASHTO. Grado de compactación. Prueba del peso volumétrico

TABLA II. 7 Verificación del control de calidad

### II.3.3 CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA CAPA SUBYACENTE

Los materiales que se utilicen para la construcción de la capa subyacente hasta el nivel de desplante de la capa sub-rasante, deberán ser substraídos de excavaciones de la exploración, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas y que cumplan con los requisitos que marcan la norma CMT-1-02/02 a menos que exista un estudio previamente aprobado por la SCT.

El material que se utilice deberá estar libre de agentes contaminantes como materia orgánica, raíces y otros elementos que lleguen a contaminar el material. Los materiales con características expansivas o del producto del despalme no deberán ser utilizados para la construcción de esta capa al menos que en el sitio no exista materiales de buena calidad y se deberá proceder a la estabilización antes de su colocación.

#### II.3.3.1 DESCRIPCIÓN.

La capa subyacente es parte de la estructura de una vía terrestre la norma introduce esta capa intermedia entre el cuerpo del terraplén y la sub-rasante y está en función en la intensidad del tránsito de diseño expresado en número de ejes sencillos equivalentes acumulados en 8.2 toneladas.

A continuación se mostraran algunas de sus características.

- ✓ Se colocara esta capa cuando en el diseño en ejes sencillos sean mayores a 10 mil ejes equivalentes.
- ✓ Cuando la intensidad de tránsito sea mayor a 10 millones de ejes equivalentes, la capa subyacente será motivo de diseño especial.



La calidad de esta capa es parecida a la que actualmente se pide para la capa Sub-rasante aunque las características que tiene esta capa es la eliminación de los materiales medianamente compresibles ( $50\% > LL > 100\%$ ), así como una compactación homogénea con lo que se mejora la estabilidad y el soporte de las capas superiores.

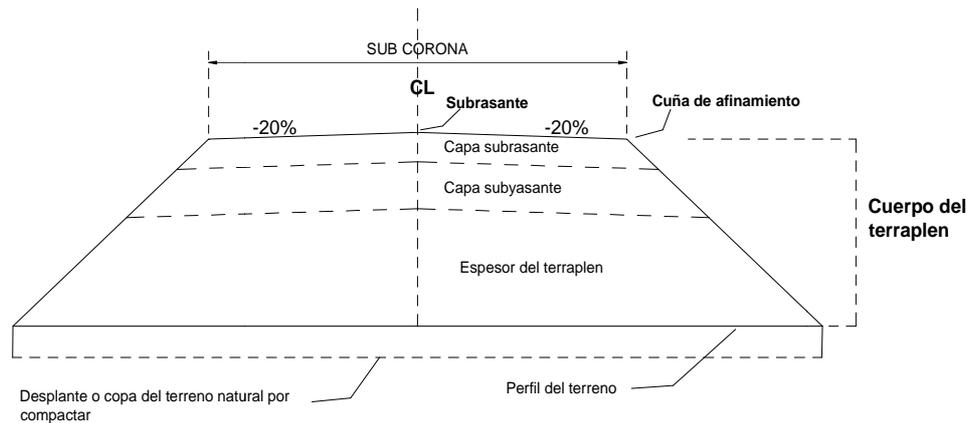


Figura II. 4 Capa Subyacente

### II.3.3.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.

El tipo de material que se utilizara para la construcción de la capa subyacente deberá cumplir conforme a la norma CMT-1-02/02 de la SCT.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
TAMAÑO MÁXIMO Y GRANULOMETRÍA	QUE SEA COMPACTABLE <sup>(1)</sup>
LIMITE LIQUIDO, % MÁXIMO	50
VALOR RELATIVO DE SOPORTE <sup>(2)</sup> (VRS) %MÍNIMO	10
EXPANSIÓN % MÁXIMA	3
GRADO DE COMPACTACIÓN <sup>(3)</sup> ; %	95±2

(1) De acuerdo con lo indicado a la norma M-MMP-01-02 clasificación de rocas y suelo.  
 (2) En especímenes compactados el porcentaje de compactación indicado con un contenido de agua igual al banco de materiales a 1.5 m de profundidad.  
 (3) Respecto a la masa volumétrica obtenida mediante la prueba AASHTO estándar, del material compactado con el contenido de agua optimo da le prueba, salvo que el proyecto o la secretaria indiquen otra cosa.

TABLA II. 8 Características del material para la capa subyacente.

### II.3.3.3 CRITERIOS DE CALIDAD.

- ✓ Se deberá realizar un estudio geotécnico donde se reporte la calidad del material y garantice que cumple con las normas vigentes de la SCT.



- ✓ Si el contratista toma la decisión sobre la extracción de los materiales de bancos y la calidad que con esto conlleve será el responsable de asegurar que cumpla con los requisitos de calidad.
- ✓ Durante los trabajos de producción y ejecución se deberán cumplir con los siguiente puntos:

A cada	Del Sitio	Tipo de pruebas.
300m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Clasificación de fragmentos de roca y suelos Contenido de agua. Límites de plasticidad en donde el límite líquido tenga como máximo el 50% como lo indica la tabla II.8.
800m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Contenido de agua. Granulometrías VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte california) Peso volumétrico. Densidad de solidos Compactación AASHTO.
Capa subyacente		Pruebas índice. Prueba de compactación AASHTO. Grado de compactación. Prueba del peso volumétrico VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte california) Expansión%

TABLA II. 9 Pruebas Para control de calidad de la capa subyacentes

### II.3.4 CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA SUB-RASANTE.

Los materiales que se utilicen para la construcción de la capa sub-rasante hasta el nivel de desplante de la capa sub-base, deberán ser substraídos de excavaciones de la exploración, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas y que cumplan con los requisitos que marcan la norma CMT-1-03/02 a menos que exista un estudio previamente aprobado por la SCT.

El material que se utilice deberá estar libre de agentes contaminantes como materia orgánica, raíces y otros elementos que lleguen a contaminar el material. Los materiales con características expansivas o del producto del despalme no deberán ser utilizados para la construcción de esta capa al menos que en el sitio no exista materiales de buena calidad y se deberá proceder a la estabilización antes de su colocación.

#### II.3.4.1 DESCRIPCIÓN.

La capa sub-rasante es parte de la estructura de una vía terrestre y está en función del tránsito de diseño expresado en número de ejes sencillos equivalentes 8.2 toneladas como la marca la norma N.CMT.1.03/02.

La capa sub-rasante se presento oficialmente en las especificaciones o normas mexicanas en el año de 1957 y sus principales funciones son:





CARACTERÍSTICAS	VALOR
TAMAÑO MÁXIMO mm	76
LIMITE LIQUIDO, % MÁXIMO	40
ÍNDICE PLÁSTICO, %, MAXIMO	12
VALOR RELATIVO DE SOPORTE <sup>(1)</sup> (VRS) %MÍNIMO	20
EXPANSIÓN % MÁXIMA	2
GRADO DE COMPACTACIÓN <sup>(2)</sup> ; %	100±2

(1) En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en la tabla con un contenido de agua igual al banco de materiales a 1.5 m de profundidad.  
(2) Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba ASSHTO Estándar, del material compactado con un contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto de la secretaría indique lo contrario..

**TABLA II. 10 Características del material para la capa Sub-rasante**

### II.3.4.3 CRITERIOS DE CALIDAD.

- ✓ Se deberá realizarse un estudio geotécnico donde se reporte la calidad del material y garantice que cumple con las normas vigentes de la SCT.
- ✓ Si el contratista toma la decisión sobre la extracción de los materiales de bancos y la calidad que con esto conlleve será el responsable de asegurar que cumpla con los requisitos de calidad.
- ✓ Durante los trabajos de producción y ejecución se deberán cumplir con los siguiente puntos:

A cada	Del Sitio	Tipo de pruebas.
200m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Clasificación de fragmentos de roca y suelos Contenido de agua. Límites de plasticidad en donde el límite líquido tenga como máximo el 40% como lo indica la tabla II.10.
500m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Contenido de agua. Granulometrías VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte california) Peso volumétrico. Densidad de solidos Compactación AASHTO.
Capa sub-racente		Pruebas índice. (W%, Granulometría, peso volumétrico, Prueba de compactación AASHTO. Prueba del peso volumétrico VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte california) Expansión%

**TABLA II. 11 Pruebas para el control de calidad de la capa Sub-rasante.**

### II.3.5 CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA SUB-BASE

Los materiales que se utilicen para la construcción de la capa sub-base hasta el nivel de desplante de la capa Base, deberán ser abstraídos de excavaciones de la exploración, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas que cumplan con



los requisitos que marcan la norma CMT-4-02.001/04 a menos que exista un estudio previamente aprobado por la SCT.

El material que se utilice deberá estar libre de agentes contaminantes como materia orgánica, raíces y otros elementos que lleguen a contaminar el material. Los materiales con características expansivas o del producto del despalme no deberán ser utilizados para la construcción de esta capa al menos que en el sitio no exista materiales de buena calidad y se deberá proceder a la estabilización antes de su colocación.

### II.3.5.1 DESCRIPCIÓN.

La capa sub-base está constituida por materiales granulares que se coloca normalmente sobre la sub-rasante y su función es la de apoyo para la base del pavimento asfáltico.

Cabe mencionar que la capa sub-base y la capa base tienen características semejantes sin embargo la primera puede tener una calidad menor con respecto a la capa base.

Sus principales características y funciones de la capa sub-base son las siguientes:

- ✓ Esta capa se coloca entre la sub-rasante y la base y su principal función es la de material de transmisión en los pavimentos flexibles.
- ✓ Reducción de costos del pavimento estos la disminución del espesor de la base que se construye generalmente de materiales de mayor costo ya que sobre esta carpeta las especificaciones son más rígidas.
- ✓ Proteger la estructura del pavimento de las terracerías y evitar cambios de volumen y elasticidad importantes a la variación de las condiciones de humedad. En las que podría provocar la pérdida de resistencia estructural de la capa base y pavimento.
- ✓ Evitar la filtración y actuar como dren para el desalojo del agua y evitar la capilaridad procedente de las terracerías.

En la tabla II.12 se muestra los tipos de materiales utilizados para la construcción de la capa sub-base de los cuales deberán cumplir con las normas y especificaciones de la SCT.

Tipo de Material	Composición	Características
Naturales	Arenas, gravas, limos, rocas muy alteradas y fragmentadas	No contendrán más del 5% de partículas mayores a 75mm, ni más de 25% de material que pase por la malla N° 200.
Cribados	Arenas, gravas, limos, rocas muy alteradas y fragmentadas	Contendrán entre 5 y el 25% de partículas mayores a 75mm, y no más de 25% de material que pase por la malla N° 200, haciéndolo utilizable mediante un cribado mecánico para satisfacer la composición granulométrica.
Parcialmente	Materiales poco o nada	Son materiales que contienen de 25 a 75% de partículas



Triturados	cohesivos, mezcla de arenas, gravas y limos.	mayores de 75mm haciéndolo utilizable mediante un cribado mecánico para satisfacer la composición granulométrica.
Totalmente Triturados	Materiales triturados de un banco o pepenados.	Son materiales que se Trituran y criban para satisfacer la composición granulométrica
Mezclados	Es la mezcla que se obtiene mediante los materiales naturales y triturados en las porciones que satisfagan los requisitos de calidad.	

TABLA II. 12 Tipo de materiales para la sub-base

### II.3.5.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.

El tipo de material que se utilizara para la construcción de la capa sub-base deberá satisfacer los requisitos conforme a la norma CMT-1-03/02 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
	$\sum L \leq 10^6$ [1]	$\sum L > 10^6$ [1]
LIMITE LIQUIDO, (2) MÁXIMO	30	25
ÍNDICE PLÁSTICO, (2) MÁXIMO	10	6
VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (2,3) (CBR) MÍNIMO	50	60
EQUIVALENTE DE ARENA (2) MÁXIMO	30	40
DESGASTE DE LOS ÁNGELES MÁXIMO (2)	50	40
GRADO DE COMPACTACIÓN (2,4) MÁXIMO	100	100

(1) En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en la tabla con un contenido de agua igual al banco de materiales a 1.5 m de profundidad.  
 (2) Determinado mediante el procedimiento de la prueba que corresponda.  
 (3) Con el grado de compactación indicado en la tabla  
 (4) Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO modificada salvo que la dependencia indique otra cosa.

Requisitos de tamaño de partícula de material y la grafica granulométrica que deberá cumplir los materiales de la carpeta sub-base conforme lo especifica la norme SCT CMT-4-02-001/04.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura en mm	Designación	$\sum L \leq 10^6$ [1]	$\sum L > 10^6$ [1]
50	2"	100	100
37.5	1 1/2"	72-100	72-100
25	1"	58-100	58-100
19	3/4"	52-100	52-100
9.5	3/8"	40-100	40-100
4.75	Nº4	30-100	30-80
2	Nº10	21-100	21-60
0.85	Nº20	13-92	13-45
0.425	Nº40	8-75	8-33
0.25	Nº60	5-60	5-26
0.15	Nº100	3-45	3-20
0.075	Nº200	0-25	0-15

[1]  $\sum L$  = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8.2t esperado durante la vida útil del pavimento.

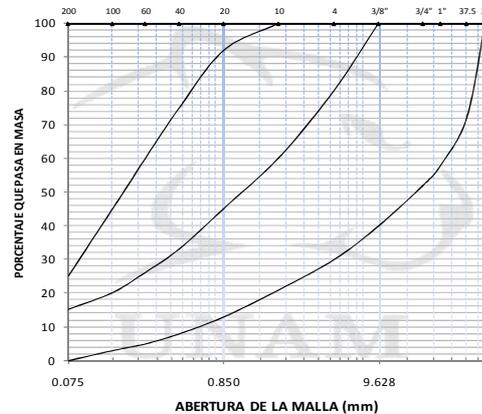


Figura II. 6 Características de capa Sub-rasante.

### II.3.5.3 CRITERIOS DE CALIDAD.

- ✓ Se deberá realizarse un estudio geotécnico donde se reporte la calidad del material y garantice que cumple con las normas vigentes de la SCT.
- ✓ Si el contratista toma la decisión sobre la extracción de los materiales de bancos y la calidad que con esto conlleve será el responsable de asegurar



que cumpla con los requisitos necesarios de calidad entregando a la secretaria un certificado de calidad.

- ✓ Durante los trabajos de producción y ejecución se deberán cumplir con los siguiente puntos:

A cada	Del Sitio	Tipo de pruebas.
200m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Clasificación de fragmentos de roca y suelos Contenido de agua. Límites de plasticidad en donde el límite líquido tenga como máximo el 25% como lo indica la tabla II.13. Granulometría. Equivalente de arena
500m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Contenido de agua. Granulometrías. Límites de consistencia VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte california) Peso volumétrico. Desgaste de los ángeles Densidad de sólidos Compactación AASHTO.
300 m de tramo	Capa sub-rasante	Pruebas índice. (W%, Granulometría, peso volumétrico, Prueba de compactación AASHTO. Prueba del peso volumétrico VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte california) Expansión% Desgaste de los ángeles Equivalente de arena Grado de compactación.

**TABLA II. 13 Pruebas para el control de calidad de la capa Sub-base.**

## II.3.6 CALIDAD EN MATERIALES PARA CAPA BASE

Los materiales que se utilicen para la construcción de la capa base hasta el nivel de desplante del pavimento asfáltico, deberán ser substraídos de excavaciones de la exploración, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas que cumplan con los requisitos que marcan la norma CMT-4-02.002/04 a menos que exista un estudio previamente aprobado por la SCT.

El material que se utilice deberá estar libre de agentes contaminantes como materia orgánica, raíces y otros elementos que lleguen a contaminar el material. Los materiales con características expansivas o del producto del despalme no deberán ser utilizados para la construcción de esta capa.

### II.3.6.1 DESCRIPCIÓN.

Es la capa de material que se construye sobre la sub-base o a falta de esta sobre la terracería y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodamiento y por lo cual deberá estar formado por material de mejor calidad.



Los principales requisitos que deberá satisfacer esta capa son las siguientes:

- ✓ Tener la resistencia estructural para tolerar las presiones producidas en la carpeta de rodamiento.
- ✓ Su forma estructural deberá ser de tal forma que los esfuerzos que al ser transmitidos a las capas sub-base y sub-rasante no excedan la resistencia estructural de estas.
- ✓ De acuerdo a sus características deberá presentar un comportamiento estable a nulo con respecto a los cambios volumétricos con la presencia agua.

En la tabla II.16 se muestra los tipos de materiales utilizados para la construcción de la capa base de los cuales deberán cumplir con las normas y especificaciones de la SCT.

Tipo de Material	Composición	Características
Cribados	Arenas, gravas , limos, rocas muy alteradas y fragmentadas	Contendrán entre 5 y el 25% de partículas mayores a 75mm, y no más de 25% de material que pase por la malla N° 200, haciéndolo utilizable mediante un cribado mecánico para satisfacer la composición granulométrica.
Parcialmente Triturados	Materiales poco o nada cohesivos, mezcla de arenas, gravas y limos.	Son materiales que contienen de 25 a 75% de partículas mayores de 75mm haciéndolo utilizable mediante un cribado mecánico para satisfacer la composición granulométrica.
Totalmente Triturados	Materiales triturados de un banco o pepenados.	Son materiales que se trituran y criban para satisfacer la composición granulométrica
Mezclados	Es la mezcla que se obtiene mediante los materiales naturales y triturados en las porciones que satisfagan los requisitos de calidad.	

**TABLA II. 14 Tipos de materiales para bases.**

### **II.3.6.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD CON FORME A NORMA SCT.**

El tipo de material que se utilizara para la construcción de la capa base deberá satisfacer los requisitos conforme a la norma CMT-1-03/02 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

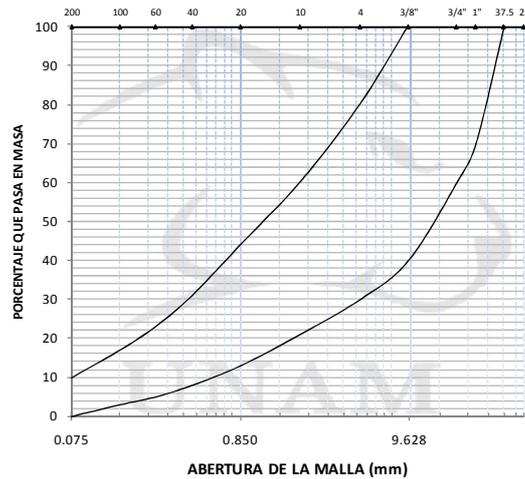


CARACTERÍSTICAS	VALOR %
LIMITE LIQUIDO, MÁXIMO	25
ÍNDICE PLÁSTICO , MÁXIMO	6
VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MÍNIMO	80
EQUIVALENTE DE ARENA MÁXIMO	40
DESGASTE DE LOS ÁNGELES MÁXIMO	35
PARTÍCULAS ALARGADAS Y LAJEADAS MÁXIMO	40
GRADO DE COMPACTACIÓN MÁXIMO	100

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura en mm	Designación	
37.5	1 1/2"	100
25	1"	70-100
19	3/4"	60-100
9.5	3/8"	40-100
4.75	Nº4	30-80
2	Nº10	21-60
0.85	Nº20	13-44
0.425	Nº40	8-31
0.25	Nº60	5-23
0.15	Nº100	3-17
0.075	Nº200	0-10

Figura II. 7 Características de materiales de capa Base para pavimento de concreto hidráulico

Requisitos de tamaño de partícula de material y la grafica granulométrica que deberá cumplir los materiales de la carpeta base para pavimentos de concreto hidráulico conforme lo especifica la norme SCT CMT-4-02-002/04.

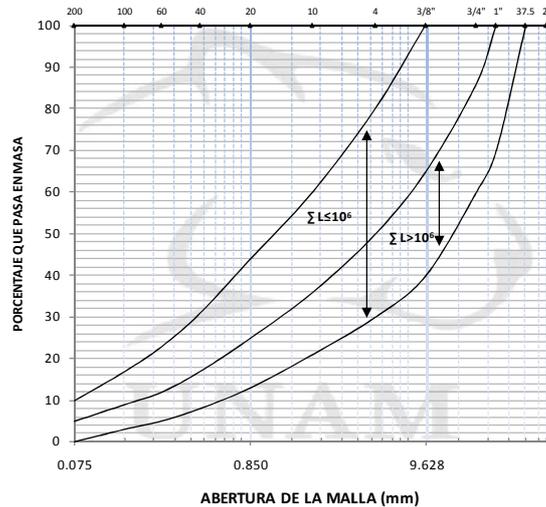


CARACTERÍSTICAS	VALOR %
LIMITE LIQUIDO, MÁXIMO	25
ÍNDICE PLÁSTICO , MÁXIMO	6
VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MÍNIMO	100
EQUIVALENTE DE ARENA MÁXIMO	50
DESGASTE DE LOS ÁNGELES MÁXIMO	30
PARTÍCULAS ALARGADAS Y LAJEADAS MÁXIMO	35
GRADO DE COMPACTACIÓN MÁXIMO	100

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura en mm	Designación	$\sum L \leq 10^6$ [1]	$\sum L > 10^6$ [1]
37.5	1 1/2"	100	100
25	1"	70-100	70-100
19	3/4"	60-100	60-86
9.5	3/8"	40-100	40-65
4.75	Nº4	30-80	30-50
2	Nº10	21-60	21-36
0.85	Nº20	13-44	13-25
0.425	Nº40	8-31	8-17
0.25	Nº60	5-23	5-12
0.15	Nº100	3-17	3-9
0.075	Nº200	0-10	0-5

Figura II. 8 Características de base para carpeta asfáltico

Requisitos de tamaño de partícula de material y la grafica granulométrica que deberá cumplir los materiales de la carpeta base para pavimentos asfáltico conforme lo especifica la norme SCT CMT-4-02-002/04.





## LOS MATERIALES DE LA CARPETA BASE PARA PAVIMENTOS CUBIERTOS SOLO DE TRATAMIENTO ASFALTICO SUPERFICIAL.

CARACTERÍSTICAS	VALOR %
LIMITE LIQUIDO, MÁXIMO	25
ÍNDICE PLÁSTICO, MÁXIMO	6
VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MÍNIMO	100
EQUIVALENTE DE ARENA MÁXIMO	50
DESGASTE DE LOS ÁNGELES MÁXIMO	30
PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS MÁXIMO	35
GRADO DE COMPACTACIÓN MÁXIMO	100

Requisitos de tamaño de partícula de material y la grafica granulométrica que deberá cumplir los materiales de la carpeta base para pavimentos de tratamiento asfáltico superficial conforme lo especifica la norme SCT CMT-4-02-002/04.

Malla		Porcentaje que pasa	
Aber- tura en mm	Desi- gnac ión	$\sum L \leq 10^6$ [1]	$\sum L > 10^6$ [1]
37.5	1 1/2"	100	100
25	1"	100	70-100
19	3/4"	60-100	60-86
9.5	3/8"	40-100	40-65
4.75	Nº4	30-80	30-50
2	Nº10	21-60	21-36
0.85	Nº20	13-44	13-25
0.425	Nº40	8-31	8-17
0.25	Nº60	5-23	5-12
0.15	Nº100	3-17	3-9
0.075	Nº200	0-10	0-5

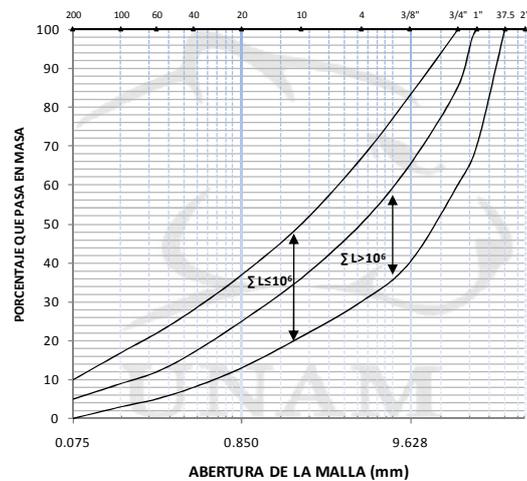


Figura II. 9 Características de base para carpeta de tratamiento superficial

### II.3.6.3 CRITERIOS DE CALIDAD.

- ✓ Se deberá realizarse un estudio geotécnico donde se reporte la calidad del material y garantice que cumple con las normas vigentes de la SCT.
- ✓ Si el contratista toma la decisión sobre la extracción de los materiales de bancos y la calidad que con esto conlleva será el responsable de asegurar que cumpla con los requisitos necesarios de calidad entregando a la secretaria un certificado de calidad.
- ✓ Durante los trabajos de producción y ejecución se deberán cumplir con los siguiente puntos:

A cada	Del Sitio	Tipo de pruebas.
300m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Clasificación de fragmentos de roca y suelos Contenido de agua. Límites de plasticidad en donde el límite líquido tenga como máximo el 25% como lo indica la tabla II.13. Granulometría. Equivalente de arena. Desgaste de los ángeles. Compactacion AASHTO. Valor Relativo de Soporte VRS.



3000m <sup>3</sup>	Corte- Banco	Pruebas índice. (W%, Granulometría, peso volumétrico, Prueba de compactación AASHTO. VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte californiana) Expansión% Desgaste de los ángeles Equivalente de arena Grado de compactación.
200 m de tramo	Capa sub-rasante	Pruebas índice. (W%, Granulometría, peso volumétrico, Prueba de compactación AASHTO. VRS (valor relativo de soporte) o CBR.(valor de soporte californiana) Expansión% Desgaste de los ángeles Equivalente de arena Grado de compactación.

**TABLA II. 15 Pruebas para el control de calidad de la capa Base.**

## II.4 MUESTREO DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS.

En este punto describiremos el muestreo de materiales que se lleva a cabo para la construcción de terracerías y que son necesarios para determinar en el laboratorio el tipo de material con respecto a su clasificación, propiedades índice y propiedades mecánicas esto será para determinar la calidad de los materiales y cumplir los requisitos de las normas (M-MMP-1-01/03 SCT) y especificaciones de proyecto.

Como se menciona anteriormente durante los trabajos de exploración es necesario tener el conocimiento físico del lugar de proyecto por lo que es necesaria la obtención de muestras.

Estas se clasifican por su calidad y el grado de alteración que sufran durante su extracción.

Tipo de Muestra	Características
<b>Cubicas inalteradas</b>	En este tipo de muestras su característica es la de conservar su estructura natural del suelo como sus propiedades físicas y lleva un tratamiento especial en su recubrimiento para evitar su posible alteración durante su transporte.
<b>Representativas o integrales</b>	Son muestras que tienen la característica de ser un material disgregado o fraccionado, extraídos de las paredes o fondo de la excavación y que son embolsados sin llevar algún tratamiento especial solo que se deberá tener cuidado de que no pierdan sus propiedades físicas como es el contenido de agua.

**TABLA II. 16 Tipo de muestras**

Cabe mencionar que el grado de alteración de las muestras deberá estimarlo el especialista de supervisión en los trabajos de campo que al verificar la extracción debe asegurar que el procedimiento fue el apropiado y necesario el cual deberá entregar un reporte y fotografías de las actividades realizadas en campo.

A continuación se dará un resumen del desarrollo del procedimiento de muestreo de muestras alteradas e inalteradas.



## II.4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL MUESTREO.

De acuerdo a las especificaciones de la norma SCT (M.MMP.1.01/03) para el procedimiento de recolección de muestras y la determinación de las propiedades y características estratigráficas del trazo de la obra o la selección de bancos de préstamo que sean factibles para la extracción de materiales y construcción de terracerías se muestra en la tabla II:25 las características generales para la recolección de muestras según la norma antes mencionada.

Propósito del muestreo	Tipo y número	Tamaño de las muestras parciales[1] Kg
Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo a lo largo del trazo de una obra o seleccionar los préstamos y bancos para terracerías.	Una muestra representativa de cada estrato en cada pozo a cielo abierto o frente abierto de material.	4
	Una muestra integral por cada pozo a cielo abierto y por cada 150 m <sup>3</sup> de material aprovechable	50
	Dos muestras integral por cada frente abierto de material.	20
	Una muestra cúbica inalterada por cada estrato de suelo fino típico, para determinar sus propiedades mecánicas. El número será definido por el responsable del estudio.	[3]
Estudio de almacenamientos	Una muestra integral por cada 1,000 m <sup>3</sup> de material homogéneo. [2]	20
Control de calidad	Una muestra integral por cada 300 m <sup>3</sup> de material que se utilice para terraplén o subyacente y por cada 200 m <sup>3</sup> para sub-rasante.	10
	Una muestra integral por cada 1,000 m <sup>3</sup> de material que se utilice para terraplén, por cada 800 m <sup>3</sup> para subyacente y por cada 500 m <sup>3</sup> para subrasante.	50
<p>[1] La cantidad indicada se obtendrá mediante cuarteos.                  [2] El material se considera homogéneo cuando visiblemente sus características de color y tamaño no presenten variaciones significativas.                  [3] Se obtienen conforme al proceso indicado anteriormente</p>		

**TABLA II. 17 Número y tamaño de las muestras (M.MMP.1.01/03).**

## II.4.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

Como se menciona en el capítulo anterior para la obtención de muestras alteradas o inalteradas extraídas de un pozo a cielo abierto se podrá utilizar el mismo procedimiento.

Como forma de resumen daremos a continuación:

- ✓ Identificación del sitio donde se realizaran las excavaciones para la extracción de muestras.



- ✓ Limpieza del sitio (eliminación de materia orgánica, basura, cascajo etc.)
- ✓ Preparación de mezcla para recubrimiento de muestras inalteradas (brea y parafina).
- ✓ Excavación del pozo a cielo abierto ya sea en forma manual o mecánica teniendo en cuenta dejar una cuarta parte sin escavar si es en forma mecánica y terminarla en forma manual la profundidad total del PCA para la obtención de la muestra cubica o inalterada y así evitar la alteración de esta.
- ✓ Se designara dentro del PCA la ubicación donde se extraerá la muestra inalterada.
- ✓ Se escavara perimetralmente en forma de cubo y se labrara esta hasta formar un cubo de dimensiones de 30 cm por lado.
- ✓ Una vez descubierta las caras del cubo se realizara su recubrimiento utilizando como base manta de cielo y rellenándola con la mezcla antes mencionada (brea y parafina).
- ✓ Una vez protegidas las caras del cubo principales del cubo se realizara un corte y separarla del suelo donde es extraída y de igual forma se pasara a su recubrimiento con el mismo material.
- ✓ Unas vez extraída la muestra cubica el PCA se realiza la recolección de material inalterado o muestras representativas
- ✓ Este tipo de suelo será recolectado de las paredes del PCA esto es a cada 20 cm o cambio de estrato.
- ✓ El material será recolectado en bolsas de plástico o lona ahulada y se etiquetaran y sellaran para ser transportadas al laboratorio.

Obra y ubicación.		Nombre del banco, en su caso
Localización del sitio del muestreo		
Número de muestra	Tipo de material	Profundidad a la que se tomo la muestra
Espesor del estrato correspondiente	Clasificación de campo	Fecha y hora del muestreo
Uso a que se destina.	Nombre y firma de la persona que realizo la prueba.	Observaciones.

**TABLA II. 18 Etiquetas de identificación.**



### II.4.3 FOTOGRAFÍAS DE LA 'PRUEBA.



**IMAGEN II.4. 1 Canal en forma vertical de sección transversal uniforme**



**IMAGEN II.4. 2 Obtención de la muestra**



**IMAGEN II.4. 3 Obtención de la muestra**



**IMAGEN II.4. 4 Preparación de la muestra para cuarteo.**



**IMAGEN II.4. 5 Almacenamiento de la muestra**



**IMAGEN II.4. 6 Identificación y cierre de las muestras**



## II.5 PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO SECADO, DISGREGADO, CUARTEO.

### II.5.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo de esta prueba es realizar de las muestras alteradas obtenidas en campo la preparación de muestras representativas fraccionándolas en condiciones adecuadas para la realización de los respectivos ensayos que permitan conocer su clasificación y propiedades índice como mecánicas.

En la tabla II.26 se muestran las definiciones de los distintos procedimientos para la preparación de las muestras:

Procedimiento	Características
Secado	Esta etapa de preparación se realiza con la finalidad de retirar el agua que contiene las muestras para facilitar la manejabilidad y disgregación del suelo.
Disgregado	Esta etapa de preparación tiene como objeto la separación de partículas de la muestra que se encuentran cementadas o en grumos evitando romper la estructura del suelo.
Cuarteo	La característica de esta etapa es la de dividir la muestra en fracciones representativas que se puedan utilizar para las pruebas respectivas

**TABLA II. 19 Características de procedimientos.**

### II.5.2 EQUIPO Y MATERIAL

- ✓ Charolas de lamina galvanizada
- ✓ Pala
- ✓ Horno: Eléctrico
- ✓ Cucharon
- ✓ Mazo de madera
- ✓ Balanza: Con capacidad de 120 kg y aproximación de 10 g.
- ✓ Juego de mallas
- ✓ Brocha
- ✓ Lona
- ✓ Regla
- ✓ Cucharon
- ✓ Cuarteador de muestras

A continuación se dará una breve descripción del las características del procedimiento de preparación de la muestra.

### II.5.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.

Procedimiento para secado de las muestras.

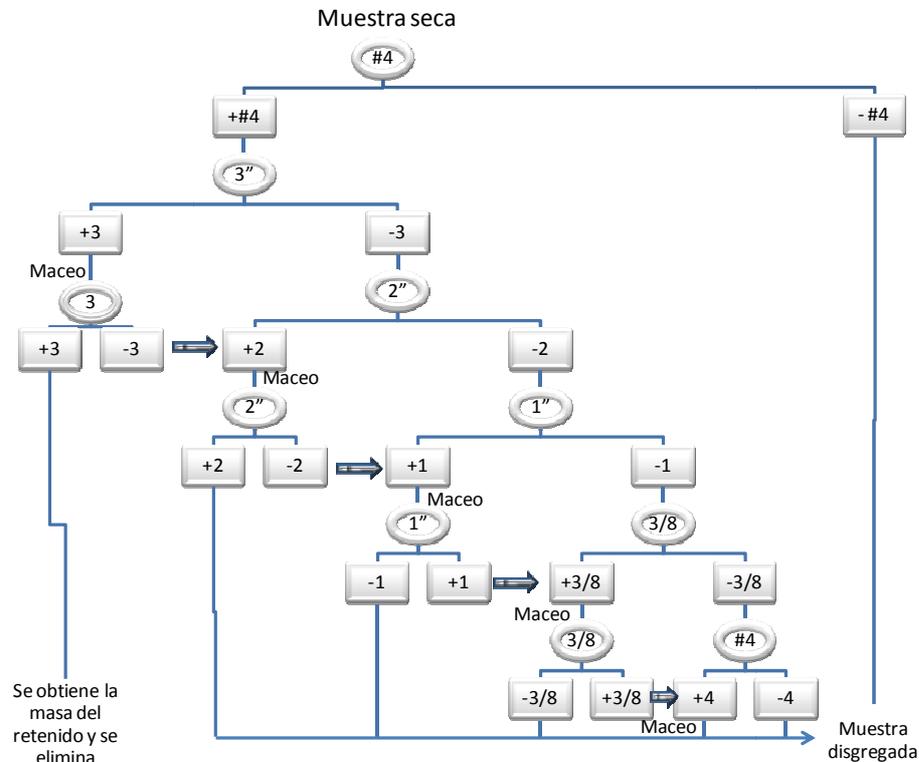


- ✓ Se deposita la muestra en la charola de lámina, se extenderá en forma uniforme sobre una superficie plana y lisa en ocasiones se utilizan lonas o bolsas que se encontraran por debajo del material.
- ✓ El material se deberá encontrar en un sitio a temperatura ambiente y libre de agentes que la puedan contaminar
- ✓ Una vez colocado el material se le aplicaran movimientos o mezclando para que el secado sea de forma uniforme.
- ✓ Deberá tenerse cuidado que al momento de extraer no deberá haber pérdida sobre todo de material fino.
- ✓ Cuando el secado se realice por medio de un horno, la muestra deberá estar a una temperatura de  $60 \pm 5$  °C, por 24 hr o mas si el material no presenta una reducción de humedad.
- ✓ Una vez terminado el secado se determina su masa tomando una muestra representativa con una aproximación de 10 g.

#### Procedimiento de disgregado.

- ✓ Con el material ya en estado seco se pasara a realizar el proceso de disgregación con forme lo marca la norma SCT M.MMP.1.03/03.
- ✓ Se colocara en charolas y se tomara la malla #4 y se pasara el material separando el material que pase esta malla.
- ✓ El material que no paso la malla #4 se cribara por la malla #3 y la fracción retenida se colocara en charolas donde se disgregara utilizando un mazo hasta reducir el tamaño del material o que ya no se puedan disgregar.
- ✓ Se repetirá el cribado con este material disgregado por la malla #3 y el material que quede retenido por esta malla se tomara el peso, registro y el porcentaje que tiene con respecto al total de la muestra en prueba.
- ✓ Se tomara nuevamente el material que se cribo por la malla #3 y se cribara por la malla #2 repitiendo el paso anterior.
- ✓ Esto se realizara con las mallas #1, 3/8, y #4.
- ✓ Una vez finalizado el cribado por todas las mallas antes mencionadas se unificara todo el material para realizar la prueba de cuarteo

Ver la figura



**Figura II. 10 Cuadro esquemático de disgregado SCT**

Para el cuarteo de manera manual de las muestras se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ Sobre una superficie limpia, y lisa se mezcla toda la muestra disgregada teniendo en cuenta de no expandirse mucho para evitar la pérdida de material fino.
- ✓ El material se mezclara varias veces utilizando una pala, realizado esto se juntara el material y se formara un cono trunco.
- ✓ Inmediatamente
- ✓ Una vez mezclada con la pala se coloca el material para formar un cono trunco.
- ✓ Se colocara la pala dentro de la superficie el cono y haciéndola girar alrededor de su eje del material con el fin de ir distribuyendo el material hacia la periferia, hasta dejarlo con una altura de 15 a 20 cm
- ✓ Se tomara una regla metálica y se dividirá la muestra en 4 partes iguales
- ✓ Una vez realizado esto se tomaran las muestras de dos partes preferible lados opuestos.



Para realizar el cuarteo mecánico de las muestras se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ Se mezcla cuidadosamente la muestra y se extiende en la charola
- ✓ Se vierte sobre el cuarteador, procurando que pasen las cantidades similares a través de cada una de las entradas, quedando en esta forma dividida en dos porciones. Si la cantidad de material obtenida no es la requerida, se repite este procedimiento tantas veces como sea necesario para obtener el tamaño necesario.

### **II.5.3 OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.**

- ✓ Para la realización del secado del material se deberá tener en cuenta el sitio en donde se colocará el material evitando sitios donde esté libre de corrientes de aire, de materiales que llegaran a contaminar la muestra.
- ✓ Si el sitio se encuentra al aire libre deberá tenerse cuidado de las condiciones atmosféricas del lugar.
- ✓ En la extracción del material deberá observarse que no queden residuos de material fino.
- ✓ En caso del proceso de disgregación deberá tenerse cuidado en la toma de pesos y el registro de la misma.
- ✓ En el cuarteador de muestras es importante mencionar que el ancho mínimo de las aberturas será de aproximadamente 1.5 veces el tamaño máximo de las partículas de la muestra, para el caso en que la muestra seca completa pase la malla de 3/8", las aberturas serán de 12.5 a 20.0 mm de ancho.
- ✓ Durante el cuarteo ya sea en forma manual o utilizando el dispositivo mecánico deberá tenerse cuidado de no tener pérdidas de material.
- ✓ El cuarteador de muestras, se utiliza generalmente para muestras menores de 100 kg. ; en caso de muestras de mayor tamaño se recomienda el cuarteo manual.
- ✓ Una vez realizado este procedimiento deberá ser etiquetado con los datos necesarios para evitar errores.



#### II.5.4 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



**IMAGEN II.5. 1** Proceso de secado del material



**IMAGEN II.5. 2** Disgregación del material



**IMAGEN II.5. 3** Muestra para cuarteo



**IMAGEN II.5. 4** Proceso de cuarteo



**IMAGEN II.5. 5** Material Cuarteado



**IMAGEN II.5. 6** Resultado de la prueba por cuarteo



**IMAGEN II.5. 7 Homogenización de la muestra**



**IMAGEN II.5. 8 Formación de cono trunco**



**IMAGEN II.5. 9 Expansión del material**



**IMAGEN II.5. 10 Vista del material.**



**IMAGEN II.5. 11 Cuarteo del material.**



**IMAGEN II.5. 12 Extracción del material**

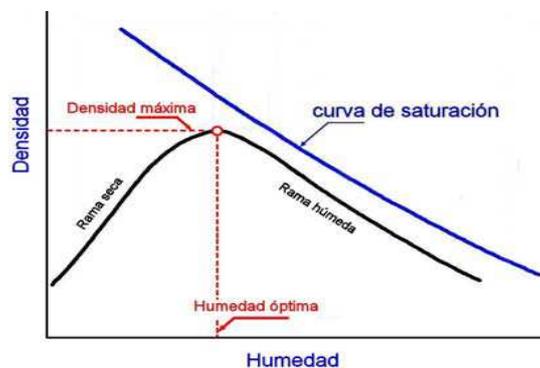
## II.6 PRUEBA DE COMPACTACIÓN.

### II.6.1 DESCRIPCIÓN.

La compactación en suelos y materiales es un método que se aplica por medio de un proceso mecánico que se emplea para mejorar las características de resistencia, compresibilidad, baja deformabilidad y disminución de permeabilidad. Este método hace que en el material expulse el aire en los poros y las partículas sean reacomodadas provocando reducción de vacíos y cambios importantes como el aumento de su peso específico o volumétrico.

El agua juega un papel importante en este método ya que al ir aumentando su contenido de agua del material durante la prueba observamos hasta un punto el aumento en el peso del volumétrico a este parámetro lo conocemos como peso volumétrico seco máximo vs humedad óptima.

Al ir continuando con el aumento del contenido de agua después del punto máximo observamos un decrecimiento en el peso volumétrico a esta situación decimos que estamos dentro de la rama húmeda y acercándonos a la saturación del material esto es por el agua con el aire remanente ocuparían el lugar de algunas partículas. Como se ve en la figura



compactación

Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso específico seco máximo, se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocuparían el lugar de algunas partículas de suelo, obteniéndose en consecuencia pesos específicos secos que van siendo menores a medida que el agua aumenta.

Con la estabilización de suelos podremos comprender el método de compactación y las características de mejoramiento que deberá tener el material bajo ciertos criterios para mantener sus propiedades en un cierto entorno bajo las condiciones de trabajo en la que va a ser sometido.

La prueba de compactación es el método más barato de estabilización disponible. La estabilización de suelo consiste en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo para obtener una estructura, resistencia al corte, y relación de vacíos. Existen varios métodos para la estabilización de suelos los cuales pueden ser de material químico.

La utilización de estos componentes podría usualmente ser más costosa y pueden utilizar métodos de compactación adicionales, además de tener presente que al

incorporar material químico en la masa de suelo puede producir una gran perturbación de su estructura.

En la tabla II. 12 se muestra los diferentes métodos de estabilización de suelos

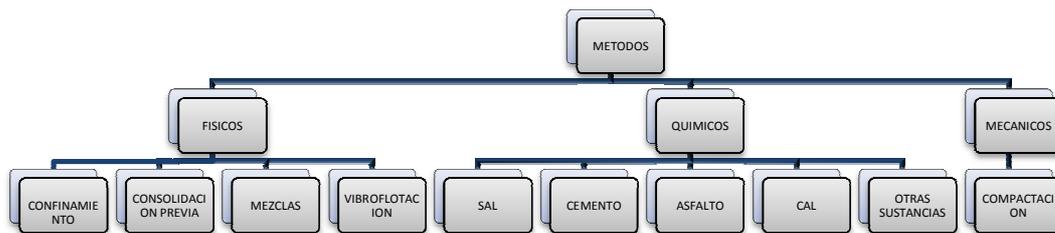


Figura II. 12 Métodos de mejoramiento de suelo

## II.6.2 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo es determinar la curva de compactación de los materiales para terracería y a partir de esta inferir su masa volumétrica seca máxima ( $\gamma_d$ ) y su contenido de agua óptimo ( $w_{opt.}$ ).

Consiste en determinar las masas volumétrica seca de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y graficando los puntos correspondientes a cada determinación ( $\gamma_d$ . vs  $w\%$ )

## II.6.3 EQUIPO Y MATERIALES.

- ✓ Moldes de  $101.6 \pm 0.4$  y  $152.4 \pm 0.7$  de diámetro interior.
- ✓ Regla metálica.
- ✓ Balanza con capacidad a 15 kg y aproximación a 5g.
- ✓ Balanza con capacidad de 2 Kg con aproximación 0.1g.
- ✓ Horno.
- ✓ Probetas.
- ✓ Tamices: 2", #4, 3/8, 3/4
- ✓ Capsulas o taras.
- ✓ Charolas.
- ✓ Cucharon
- ✓ Aceite
- ✓ Martillo de compactación ver características en la tabla siguiente.



Conforme a las normas de la SCT M-MMP.1.09/06 de la prueba compactación AASHTO o Proctor modificado en la siguiente tabla mencionares el tipo de pistón o martillo que se utilizara conforme a la variante de prueba a utilizar

Características del martillo	Tipo de prueba	
	Estándar	Modificada
Masa de pisón, Kg	2.5 ±0.01	4.54 ± 0.01
Diámetro del pisón, mm	50.8	
Altura de pisón, Cm	30.5 ± 0.1	45.7 ± 0.1
Numero de capas	3	5

**TABLA II. 20 Características de martillo**

## II.6.4 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

Dentro del ensayo de compactación las normas de la SCT M-MMP.01.09/06 y norma AASHTO T180-01 y ASTM D1557 muestran cuatro variantes en las que intervienen el tipo de molde, peso de la muestra, cribado, y numero de golpes. Como se muestra en la siguiente tabla:

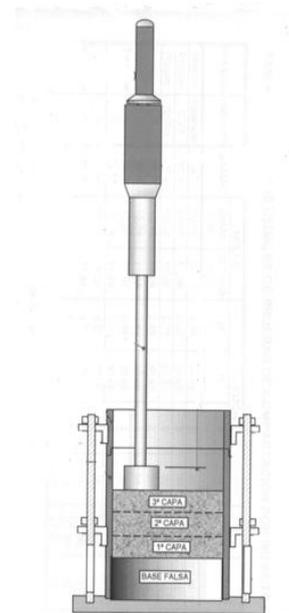
Variantes	Tamaño máximo del material. (mm)	Peso de muestra (kg).	Diámetro interno. Molde (mm).	Numero de golpes por capa
A	Materiales que pasan por la malla # 4 (4.75mm)	4	101.6 ±0.4	25
Se retirara el material que no pase la malla #4.				
B	Materiales que pasan la malla # 4 (4.75mm)	7.5	152.4 ±0.7	56
Se retirara el material que no pase la malla #4.				
C	Materiales que pasan por la malla #3/4 (19mm)	4	101.6 ±0.4	25
Se retirara el material que no pase la malla ¾ (19mm) si ≥75% será utilizable todo el material pero si ≥25% del material retenido este se separara y remplazara por una cantidad igual y que pase por la malla ¾ (19mm).				
D	Materiales que pasan por la malla #3/4 (19mm)	11	152.4 ±0.7	56

**TABLA II. 21 Variantes de prueba Proctor modificado**

- ✓ El material que se obtiene deberá ser secado a temperatura ambiente o en horno a una temperatura que no exceda 60° hasta hacerla desmenuzable.
- ✓ Criebe el material disgregado de acuerdo a la variante a realizar (tabla II.29) y retire el material retenido.
- ✓ Seleccione una muestra representativa de aproximadamente 4 kg a 7.5 kg conforme a la variante a realizar (tabla II.29).



- ✓ Con la muestra preparada agréguese una cantidad de agua con una aproximación de 4% al 6% por debajo del contenido de humedad óptimo.
- ✓ Revuelva varias veces para homogenizar el material
- ✓ El material se colocara en un recipiente hermético para que la muestra repose, para materiales granulares (GW, GP, SW, SP) deberá estar en reposo como mínimo 1 hora. Para materiales granulares con finos (GM, SM) deberá de tener un tiempo mínimo de 3 a 4 horas y materiales finos el tiempo de reposo recomendado es de 16 a 24 hr. Esto es para que el material obtenga una homogenización completa.
- ✓ Para conocer la calidad del material con respecto a su humedad, se deberá observar que el material tenga una consistencia tal que al comprimir una porción de la muestra en la mano, no deje partículas adheridas en esta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con dos dedos sin que se desmorone.
- ✓ Se colocara las muestra en el molde conforma a la variante y colocara 5 capas aproximadamente iguales.
- ✓ El molde tendrá instalada una extensión y deberá llegarse a un espesor total compacto de unos 13 cm.
- ✓ Se compactara cada capa con forma a la variante, con el pistón en el cual se tendrá el cuidado de distribuirlo y uniformizar teniendo una altura de caída de 45.7 cm (18”).
- ✓ Al término de la compactación de las cinco capas se removerá la extensión del molde y se enrasara el material sobrante el cual se utilizara una regla metálica.
- ✓ Se pesará el conjunto suelo molde y se restará la pieza del molde para obtener el peso del suelo húmedo del material.
- ✓ Se retirará el material del molde y se tomaran 2 muestras de este material se tomara su peso de la muestra como de la tara y colocaran al horno para conocer su contenido de agua.
- ✓ El material sobrante se desmoronará y se agregará agua lo suficiente para aumentar su humedad entre 1% a 2% y se repetirá el procedimiento anterior.
- ✓ Continúe esta serie de determinaciones hasta que el material presente un comportamiento saturado, es recomendable la determinación de más de 3 incrementos ya que nos dará una mayor seguridad y



**Figura II. 13**  
**compactación Proctor**



definición de la curva de compactación a la hora de realizar los cálculos.

### II.6.5 CÁLCULO DE LA PRUEBA.

Dentro de la hoja de registro se deberá tener los siguientes datos.

Molde		Características del martillo		Especificaciones de la prueba
Diámetro del molde	cm	Peso del martillo	kg	No. De capas
Atura del molde	cm	Diámetro del martillo	cm	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	Altura de caída	cm	Energía de compactación. Kg-cm/cm <sup>2</sup>
Peso del Molde	kg	No de golpes por capa		

**TABLA II. 22 Datos del registro.**

Calculo para la obtención de la energía de compactación.

Donde:

Ec= Energía específica.

N= Numero de golpes del martillo de compactación.

n= Numero de capas de material.

W= Peso del martillo de compactación.

h= Altura de caída del martillo.

V= Volumen total del molde de compactación.

$$Ec = \frac{Nn Wh}{V}$$

Calculo para obtener el contenido de agua.

Donde:

w%= Contenido del agua del material.

Wh= Peso de muestra húmeda.

Ws= Peso de muestra seca.

Wt= Peso de tara.

$$w\% = \left( \frac{Wh - Ws}{Ws - Wt} \right) 100$$

Calculo para obtener el peso del material húmedo.

Donde:

Wh= Peso de muestra húmeda.

Wh+molde= Peso de muestra húmeda + molde

Wmolde= Peso de muestra seca.

$$Wh = W_{h+molde} - W_{h+molde}$$

Calculo para obtener el peso seco del material

Donde:

Ws= Peso de muestra seca.

Wh= Peso de muestra húmeda

w%= Contenido del agua del material.

$$Ws = \frac{Wh}{\left( 1 + \left( \frac{w\%}{100} \right) \right)}$$



### Calculo para obtener el peso volumétrico seco

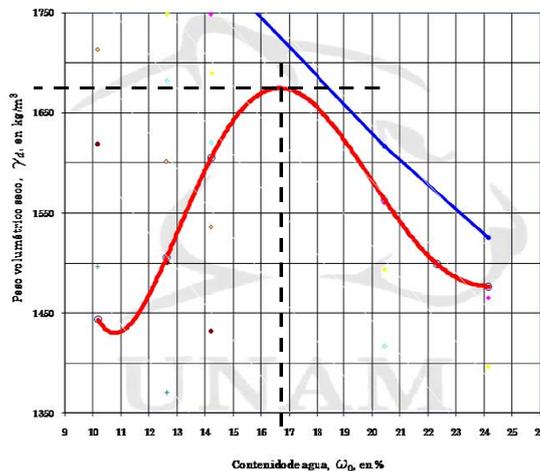
Donde:

- $\gamma_d$ = Peso de muestra seca.
- $W_s$ = Peso de muestra seca.
- $V$ = Volumen del molde.

$$\gamma_d = \frac{W_s \times 1000}{V}$$

Deberá considerarse realizar antes de iniciar la prueba de compactación realizarse la prueba de densidad de sólidos ( $S_s$ ).

Obtención del peso volumétrico seco máximo y contenido de agua optimo.



**compactación**

✓ Se graficará los valores obtenidos en el eje de las ordenadas el peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ ) y en el eje de las abscisas el contenido de agua ( $w$ ).

✓ Una vez realizado esto se dibujarán dos líneas donde marque el punto máximo de la curva de compactación como se muestra en la figura II.13.

✓ Con el marcado de las líneas podremos observar donde se encuentra localizado los valores del peso volumétrico seco máximo y contenido de agua optimo.

Calculo para obtener las curvas de saturación teórica.

- ✓ Para obtener estos valores es necesario tener la prueba de densidad de sólidos.
- ✓ Se tomarán los valores de los contenidos de agua obtenidos durante la prueba.
- ✓ Se realizará el cálculo de la curva de saturación con un grado de saturación ( $G_w$ ) al 100% con la siguiente fórmula.

Donde:

- $w_{sat}$ = Contenido de agua del material en condiciones saturadas..
- $G_w$ = Grado de saturación (100%).
- $S_s$ = Densidad de sólidos.
- $w\%$ = contenido de agua de cada uno de los puntos realizados.

$$w_{sat.} = \frac{G_w \times S_s}{(S_s \times w\%) + G_w}$$



Una vez obtenido los valores del contenido de agua saturado se graficaran en el eje de las ordenadas los valores obtenidos del contenido de agua saturado y en el eje de las abscisas el contenido de agua de los puntos obtenidos durante la prueba.

Con esta expresión se pueden calcular y trazar las curvas de saturación teórica al 90% y 95%.

En la siguiente gráfica se muestra las curvas típicas de saturación teórica según la norma M-MMP-1-09-06 de la SCT el cual nos sirve para tener parámetros en los suelos compactados y la densidad de sólidos.

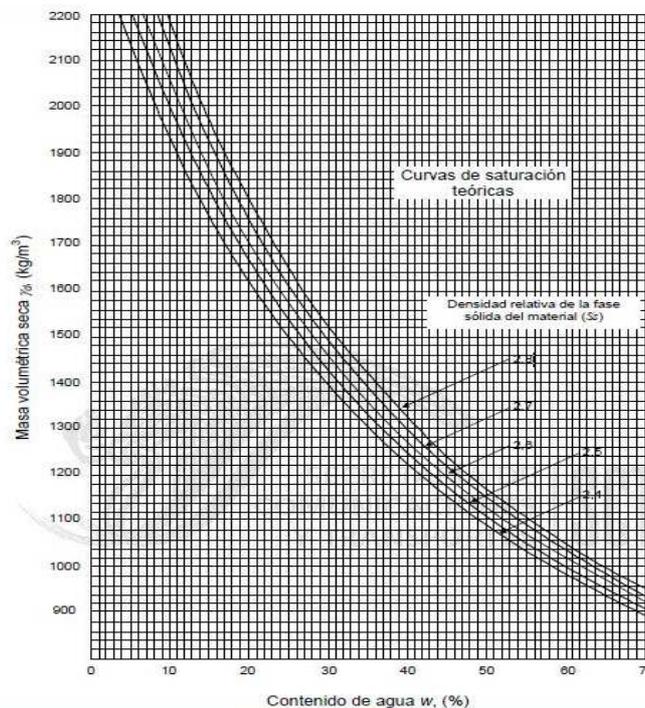


Figura II. 15 Curva típica de saturación

### II.6.6 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- ✓ La muestra deberá estar completamente seca.
- ✓ El material deberá estar completamente disgregado.
- ✓ El material no deberá tener material orgánico.
- ✓ Durante la prueba de compactación los golpes del pistón se reparten uniformemente en toda la superficie del espécimen, aplicando los golpes sucesivos en puntos diametralmente opuestos manteniendo la guía en posición vertical, cuidando que la caída del pistón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.
- ✓ Durante la prueba deberá tenerse cuidado de llevar un buen parámetro en los contenidos de agua que se agreguen en cada punto.



- ✓ No deberá colocarse algún objeto sobre la base en donde se realizarán los golpes del martillo ya que esto podrá provocar un amortiguamiento y disminución en la energía de compactación.
- ✓ Deberá realizarse más de 3 puntos para tener una mayor definición en la curva de compactación.

### II.6.7 FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN II.6. 1 Material a utilizar



IMAGEN II.6. 2 Material a utilizar



IMAGEN II.6. 3 Agregado de agua al material



IMAGEN II.6. 4 Embolsado de material



**IMAGEN II.6. 5 Colocación de filtros en molde**



**IMAGEN II.6. 6 Colocación de material en molde**



**IMAGEN II.6. 7 Compactación de capas**



**IMAGEN II.6. 8 Compactación de capas**



**IMAGEN II.6. 9 Enrasado de material en el molde**



**IMAGEN II.6. 10 Pesado de la muestra + molde.**



**IMAGEN II.6. 11 Muestreo de material compactado**



**IMAGEN II.6. 12 Pesado de material**

## **II.7 PRUEBA DE TROMPA DE ARENA (COMPACTACIÓN EN CAMPO).**

### **II.7.1 OBJETIVO.**

En esta prueba es para determinar el peso específico o volumétrico “in situ”, es utilizada para materiales en estado natural y en materiales que han pasado por un proceso de compactación. Esta prueba nos ayuda a conocer el grado de compactación, y los coeficientes de variación volumétrica.

En las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes nos indica que esta prueba puede ser utilizada en suelos con partículas de tamaño mayor a la malla  $\frac{3}{4}$ ”, incluso marca fragmentos de roca o en el caso en el que no se pueda extraer una muestra inalterada ya sea en estado natural o bien en estado compacto, esto es cuando las partículas sólidas que lo constituyen han adquirido un cierto acomodo por algún procedimiento de compactación.

### **II.7.1 MATERIAL Y EQUIPO.**

- ✓ Cuchara de albañil
- ✓ Cucharon de lamina
- ✓ Barreta de acero
- ✓ Marro de 1 Kg de peso
- ✓ Charolas metálicas.
- ✓ Recipientes impermeables ya sean frascos o bolsas de plástico.
- ✓ Recipiente de calibración
- ✓ Balanza con capacidad de 20kg y 5 g de aproximación.
- ✓ Balanza con capacidad de 2 kg y 0.1 g de aproximación.
- ✓ Flexómetro.
- ✓ Arena entre la malla #20 y #30
- ✓ Dispositivo para colocar la arena

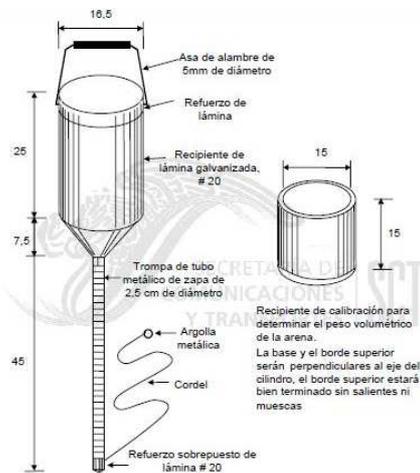


Figura II. 16 Características de trompa de arena norma SCT.

## II.7.2. PROCEDIMIENTO.

- ✓ Se determina el volumen del recipiente de calibración ( $V_r$ ), pesándolo y registrando el dato.
- ✓ En una superficie plana y horizontal. Se le coloca agua hasta llenarlo, de tal forma que se evite la formación de burbujas de aire, se coloca sobre éste una placa de vidrio tratada con una película de aceite delgado que elimine el excedente.
- ✓ Se seca el agua que haya derramado y se pesa registrando el dato.
- ✓ La diferencia que se obtenga entre las dos masas en vacío y lleno de agua se considerará, para fines numéricamente igual al volumen del recipiente en  $\text{cm}^3$ .
- ✓ Lo recomendable es realizar varias veces los pasos anteriores con la finalidad de evitar errores, y se debe hacer de tal manera que en tres determinaciones no exista una variación mayor de  $3 \text{ cm}^3$ , el promedio será el volumen del recipiente ( $V_r$ ). Al terminar se vacía el agua del recipiente de calibración y se seca.
- ✓ Se llena el dispositivo con la arena, tomándolo en posición de trabajo, sujetando la trompa con el cordel. Se colocara el recipiente de calibración sobre una superficie horizontal.
- ✓ Se depositará arena dentro de éste por medio de la trompa del dispositivo con su extremo levantado hasta tocar el fondo, en forma simultánea y gradual se levantara el dispositivo y se soltará el cordel que sujeta la trompa hasta que llegue a su posición vertical y deje salir la arena con una altura mínima de caída.



- ✓ Al llenar el recipiente se enraza con la regla de madera, y se determina la masa de la arena contenida en el recipiente y se registra.
- ✓ Cabe mencionar que esta operación se realizará varias veces con el fin de obtener un promedio y evitar discrepancias de la masa de arena. El promedio de los resultados obtenidos es la masa de la arena seca  $W_{sdi}$ .
- ✓ Con el resultado que se obtuvo se determinara la masa específica o volumétrica de la arena utilizando la siguiente expresión:

Donde:

$\gamma_{sd}$ = Masa volumétrica de la arena limpia y seca empleada en la prueba

$W_{sd}$ = Masa de la arena seca empleada para llenar el recipiente

$V_r$ = Volumen del recipiente

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1000$$

- ✓ Una vez realizado lo anterior se procederá a realizar la cala en el sitio seleccionado, el cual puede ser un suelo en estado natural o compactado, debiendo estar lo más limpio posible además de tener una superficie sensiblemente horizontal y plana.
- ✓ Se realiza una pequeña excavación (cala) de forma cuadrada.
- ✓ Se extrae el material, su volumen varía de acuerdo con el tamaño máximo del material o partícula y dicho material se colocara en un recipiente o bolsa, para evitar pérdidas de material y contenido de agua.
- ✓ Una vez concluido el paso anterior, se determina el peso del material y se registrara ( $W_m$ ).
- ✓ Se tomara una porción de la muestra y con ella se determinará su contenido de agua, se registra los porcentajes obtenidos.
- ✓ Se determina el volumen para llenar la cala 25% más a la requerida, determinando y registrando la masa ( $W_{s1}$ ).
- ✓ Se colocará la arena en el dispositivo de la trompa de arena recogiendo el tubo flexible para evitar la salida de este.
- ✓ Se coloca el tubo flexible dentro de la cala y se vaciara la arena hasta llenarla completamente.
- ✓ Se enraza esta para determinar la masa de la arena que sobro en el dispositivo de prueba y se registrara como  $W_{sf}$
- ✓ Con estos datos registrados se calcula la diferencia de masas de la arena empleada para llenar la cala y se registrara como ( $W_s$ ).
- ✓ Se realizan los cálculos correspondientes a la prueba para conocer la masa volumétrica del suelo en estado natural o compacto.



### II.7.3. CALCULO DE LA PRUEBA.

Dentro de la hoja de registro deberán tener los siguientes datos:

Pesos iniciales arenas	Pesos del material
Wi= peso inicial de arena (g)	Vc= volumen de la cala (cm <sup>3</sup> ).
Wf= Peso final de arena (g).	Wh= Peso de material húmedo (g).
Wa+c= Peso de arena en cala (g)	γm= Peso volumétrico del material (kg/m <sup>3</sup> ).

**TABLA II. 23 Datos característicos en el registro**

#### Calculo del volumen de la cala

Donde:

V<sub>m</sub>= Volumen de la cala de la prueba (cm<sup>3</sup>).

γ<sub>sd</sub>= Masa volumétrica de la arena limpia y seca empleada en la prueba.

W<sub>s</sub>= masa de la arena empleada para llenar la cala (g)

$$V_m = \frac{W_s}{\gamma_{sd}} \times 1000$$

#### Calculo de la arena empleada en el sondeo

Donde:

W<sub>s</sub> = Peso de la arena

W<sub>si</sub>= Masa inicial de la arena preparada con que se alimento el dispositivo de la prueba (g).

W<sub>sf</sub>= Masa final de la arena sobrante en el dispositivo de prueba (g).

$$W_s = W_{si} - W_{sf}$$

#### Calculo para obtener el peso volumétrico de material en la cala

Donde:

γ<sub>m</sub>= Masa volumétrica del material húmedo en estado natural (Kg/m<sup>3</sup>).

W<sub>m</sub>= Masa del material extraído de la cala (g).

V<sub>m</sub>= Volumen de la cala de prueba (cm<sup>3</sup>).

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1000$$

#### Calculo para obtener el peso volumétrico seco del material en estado natural

Donde:

γ<sub>dn</sub>= Masa volumétrica seca del material en estado natural en la cala.

W= Contenido de agua del material (w).

γ<sub>m</sub>= Masa volumétrica del material húmedo.

$$\gamma_{dn} = \left( \frac{\gamma_m}{100 + w} \right) \times 100$$

### II.7.4. OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.



- ✓ La arena a utilizar deberá estar limpia y seca
- ✓ La cala será en una sección cuadrada cuidando en la excavación evitar alteraciones en sus paredes y fondo, cuyo volumen determinara conforme a lo establecido en la siguiente tabla Norma SCT M.MMP.1.08/03.

Tamaño máximo de material (mallas)	Volumen mínimo aprox. de la cala	Muestra min. Para determinar el contenido de agua (w%).
No 4 (4.75mm)	3000	100
½" (12.5mm)	3000	250
1" (25mm)	3500	500
2" (50mm)	3500	1000
3" (75mm)	4000	1000

Determinara mediante el procedimiento de granulometría simplificada norma M.MMP.1.06.

**TABLA II. 24 Características de calas, tamaño de muestras y contenidos de agua**

- ✓ El material extraído de la cala deberá estar en un recipiente limpio y sellado para evitar la pérdida de propiedades y material.
- ✓ Las balanzas utilizadas deberán estar en perfectas condiciones y calibrados para evitar variación en los pesos.
- ✓ Deberá evitarse el cambio del técnico muestreador para evitar variaciones en los pesos.

### II.7.5. FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



**IMAGEN II.7. 1 Excavación de cala**



**IMAGEN II.7. 2 Vista de cala para prueba de compactación**



IMAGEN II.7. 3 Colocación de arena en cala



IMAGEN II.7. 4 Colocación de arena en cala



IMAGEN II.7. 5 Vista del sitio para pruebas de compactación



IMAGEN II.7. 6 Peso de arena colocada en la cala.

## II.8. PRUEBA DEL CONO DE ARENA.

### II.8.1. OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El método es muy utilizado para determinar la densidad o masa volumétrica de suelos compactados o depósitos de suelos naturales, agregados o similares en diferentes estados o condiciones de acomodo.

Este método tiene como objetivo el determinar el coeficiente de variación volumétrica y el grado de compactación.

Al establecer un suelo que se va a utilizar en un sitio determinado, los criterios de compactación, generalmente con limitaciones de humedad y densidad, es necesario utilizar algún método para verificar los resultados.

En los proyectos ya sean grandes o pequeños esta verificación se logra bien por este método o por el método del balón de densidad ya que utilizan los mismos principios.



Cabe mencionar que en suelos blandos o en materiales con un grado de saturación alta o que tengan una deformación o cambio volumétrico en la cala recién excavada no es recomendable la utilización de este método.

## II.8.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- |                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| ✓ Aparato de cono de arena | ✓ Molde proctor                 |
| ✓ Placa base para cono     | ✓ Báscula de precisión de 20 kg |
| ✓ Barreta                  | ✓ Arena Ottawa o arena silica   |
| ✓ Cucharón                 | ✓ Flexo metro                   |
| ✓ Bolsa                    | ✓ Tara                          |
| ✓ Espátula mantequillera   | ✓                               |

## II.8.3. DESARROLLO DE LA PRUEBA.

Es necesario realizaren una calibración del equipo, a continuación se da una breve explicación de este procedimiento:

### II.8.3.1. CALIBRACIÓN DEL CONO Y LA PLACA BASE

- ✓ Para iniciar con la prueba de calibración primeramente debe tenerse aproximadamente 8 kg. De arena silica o arena de Ottawa limpia, el cual debe pasar por un proceso de secado.
- ✓ Cabe mencionar que el tipo de arena a utilizar en el caso de no contar con arena de Ottawa o Silica podrá utilizarse arena de cualquier graduación siempre y cuando cumpla con la siguiente expresión:
  - $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 2\%$ .
  - El tamaño máximo de partícula deberá ser menor a 2mm (malla N°10)
  - Menor al 3% que pase la malla N°60.
  - Debera estar libre de material fino y partículas de arena fina para evitar cambios en la densidad.
- ✓ Se llena el recipiente de vidrio o plástico el cual tiene una capacidad de 4lt. aproximadamente con arena seca y se pesa el conjunto con precisión de  $\pm 5$  g. Se atornilla el cono al recipiente y se registra como  $W_{is}$ = peso inicial del dispositivo conteniendo arena (g).
- ✓ Se coloca papel de envoltura sobre una superficie horizontal, plana y fija, y se pone la placa-base en el centro del mismo.
- ✓ Se invierte el recipiente, y se coloca el cono en la escotadura de la placa-base.
- ✓ Se abre rápidamente la válvula del cono y se espera a que la arena llene la perforación de la placa-base y el cono.



- ✓ Se cierra la válvula, y se invierte la posición del recipiente. Se desatornilla el cono y se pesan el recipiente y la arena que contenga y se registra como  $W_{fs}$ = peso del dispositivo con arena remanente en g.
- ✓ Se calcula el peso de arena utilizada para llenar el cono y la perforación de la placa-base y se registra como  $W_{sc}$ = peso del cono de arena y se utilizara la siguiente expresión:

$$W_{sc} = W_{is} - W_{fs}$$

- ✓ Cabe mencionar que es necesario que se repitan los pasos las veces necesarias hasta obtener resultados consistentes.

### II.8.3.2. CALIBRACIÓN DE LA ARENA.

Consiste en obtener el peso volumétrico de la arena, nos permitirá obtener en campo el volumen de la excavación.

- ✓ Se llena el recipiente nuevamente con arena limpia y secada al horno. Se pesa el conjunto ( $W_{is}$ ), con precisión de  $\pm 5g$ . Se atornilla el cono al recipiente.
- ✓ Se coloca la placa-base sobre un molde metálico de calibración (cabe mencionar que el molde que se utiliza usualmente es la base de la proctor ya que se conocen sus dimensiones), aproximadamente del mismo tamaño y forma que la excavación en el campo.
- ✓ Se invierte el recipiente, y se coloca el cono en la escotadura de la placa-base. Se abre la válvula del cono y se espera a que la arena llene el molde de calibración, la perforación de la placa-base y el cono.
- ✓ Se cierra la válvula, y se invierte la posición del recipiente. Se desatornilla el cono del recipiente.
- ✓ Se pesan el recipiente y la arena que contenga ( $W_{fs}$ ).

Se calculan el peso de arena requerido para llenar el molde de calibración, y el peso volumétrico seco de la arena, tal como se colocó en el molde de calibración con la siguiente expresión.

$$\gamma_d = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1000 = \frac{(W_{is} - W_{rs}) - W_{sc}}{V_r} \times 1000$$

- ✓ Se repiten los pasos 1 a 6 el número de veces necesario para verificar que la arena pueda ser colocada con el mismo peso volumétrico en calibraciones sucesivas.

### II.8.3.2. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO EN CAMPO.

Antes de dirigirse al sitio donde se realizara las pruebas es recomendable tener el equipo listo esto quiere decir que el recipiente debe estar lleno con el material y bien sellado esto es para evitar perdida de material al ser transportada.



- ✓ Una vez seleccionado el sitio en que se efectuará la prueba se prepara la superficie de tal manera que se tenga una porción plana de aproximadamente 50 x 50 centímetros, libre de polvo además de tratar de nivelar lo mejor posible la superficie descubierta.
- ✓ Se coloca la placa-base sobre la superficie del suelo nivelada y enrasada.
- ✓ Se excava el suelo a través de la perforación de la placa-base. La cavidad debe tener, aproximadamente, las mismas dimensiones que el molde utilizado para calibrar la arena.
- ✓ El material que se va extrayendo de la cala se deposita con cuidado en un recipiente hermético, el cual se tapa enseguida para evitar pérdida de humedad, se determinara su masa  $W_m$  en Kg y su contenido de agua  $w\%$
- ✓ Se desatornilla la cubierta del recipiente con la arena calibrada y se atornilla, en su lugar, el cono. Se invierte el recipiente, y se coloca el cono en la escotadura de la placa-base, sin olvidar que antes de esto debe tomarse el peso del recipiente con arena.
- ✓ Se abre rápidamente la válvula del cono y se deja que la arena llene la cavidad en el suelo, la perforación en la placa-base y el cono
- ✓ Se cierra la válvula y se invierte el recipiente. Se reemplaza el cono por la tapa roscada del recipiente.
- ✓ Se determina la masa del dispositivo de prueba con la arena remanente.
- ✓ Se extrae la arena de la cavidad y tomando el peso y registro de está.
- ✓ Se desatornilla la tapa del recipiente y se pesa con la arena que contenga. Por diferencia de pesos se obtiene el del material que llenó la cavidad, la placa y el cono. Con los datos de calibración, se calcula el volumen de la cavidad.
- ✓ Se pesa el suelo de la cala contenido en el recipiente hermético. Se toman aproximadamente 200 g de material húmedo, se pesan y se colocan en el horno durante 24 horas. Después de dejarlo enfriar a temperatura ambiente, se obtiene el peso seco y el contenido de agua. Se registran los datos en el cuadro humedad tierra en el formato.
- ✓ Si el material contiene grava, se determina también su contenido de agua en una muestra representativa de esta fracción; los datos se anotan en el cuadro humedad grava del mismo formato.
- ✓ Cabe mencionar que la arena extraída de la cala puede ser recuperada para pruebas posteriores, solo hay que cribarla, lavarla y secarla esto nos ayudara a obtener en las pruebas un peso volumétrico mas o manos constante.

### II.8.3.3. CALCULO DE LA PRUEBA.

Con los datos registrados a lo largo de la prueba se procede a realizar los siguientes cálculos.

Donde:

$$V_m = \frac{W_s}{\gamma_{1000}}$$



$V_m$ =Volumen de la cala de prueba (cm<sup>3</sup>).

$\gamma_{sd}$ = Masa volumétrica de la arena limpia y seca empleada en la prueba.

$W_s$ = Masa de la arena empleada para llenar la cala.

Donde:

$W_{is}$ = masa inicial de la arena preparada con que se alimenta el dispositivo de prueba.

$W_{fs}$ = Masa final de la arena sobrante en el dispositivo de prueba.

$$W_s = W_{is} - W_{fs}$$

La masa volumétrica del material húmedo en la cala, que se determina empleando la sig. Expresión:

Donde:

$\gamma_m$ = Masa volumétrica del material húmedo en estado natural, (Kg/m<sup>3</sup>).

$W_m$ = Masa del material extraído de la cala (g)

$V_m$ = Volumen de la cala de prueba (cm<sup>3</sup>).

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) \times 1000$$

La masa volumétrica seca del material en estado natural.

Donde:

$\gamma_{dm}$ = Masa volumétrica seca del material en estado natural en la cala que se considera igual a  $\gamma_{dc}$  para el caso de suelos en estado compacto, (kg/m<sup>3</sup>)

$w$ = contenido de agua del material (%).

$\gamma_m$ = Masa volumétrica del material húmedo.

$$\gamma_{dn} = \left( \frac{\gamma_m}{100+w} \right) \times 100$$

#### II.8.4.OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- ✓ Las paredes y fondo del sondeo presenten huecos por donde se fugue la arena.
- ✓ Que la determinación del peso específico o volumétrico de la arena empleada no se verifique con la frecuencia requerida
- ✓ La arena deberá estar limpia y seca y no deberá presentar materia orgánica o partículas de material fino.
- ✓ Deberá ser necesario efectuar la calibración para evitar errores en los resultados.
- ✓ Durante la realización de la cala deberá tenerse cuidado de no dejar quedades en las paredes ya que puede afectar en los resultados.

- ✓ Es necesario llevar un buen registro ya que puede afectar a la hora de realizar los cálculos.

### II.8.5. FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



IMAGEN II.8. 1 Materiales para prueba de compactación



IMAGEN II.8. 2 Placa base +suelo.



IMAGEN II.8. 3 Extracción de suelo de cala.



IMAGEN II.8. 4 Colocación de arena en cala.



IMAGEN II.8. 5 Colocación de cono en placa base.



IMAGEN II.8. 6 Arena en placa base.



## II.9. VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

### II.9.1. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA.

La prueba del VRS (valor relativo de soporte) o CBR (California Bearing Ratio) es importante conocerla ya que esta se utiliza para definir la calidad de los materiales que se emplean en las capas superiores de las terracerías, principalmente en la capa sub-rasante sub bases y bases y se lleva a cabo en especímenes con diferentes grados de compactación y en condiciones de humedad estimadas y más desfavorables que se considere pueden alcanzar dichos suelos durante la operación de la obra.

Este método fue propuesto por el ingeniero O.J. Porter en 1929 y adoptado el departamento de carreteras del estado de California y otros organismos como el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos.

Esta prueba consiste en someter una muestra representativa a un proceso de compactación y saturación, una vez realizado esto se coloca la muestra y se le realiza una penetración con un pistón cilíndrico donde se determina el índice de soporte o CBR o VRS.

### II.9.2. OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo de esta prueba será la determinar la calidad de los materiales y observar su valor de soporte, el cual mide la resistencia a la penetración por medio de un pistón de penetración de acero a 2.54 mm entre una carga de referencia de 1.360 kg al suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación para comprobar su comportamiento de cambio volumétrico o de expansión. Con forme a la norma SCT M.MMP.1.11/8. Y la norma AASHTO T-193.

### II.9.3. EQUIPO Y MATERIALES.

- ✓ Prensa de carga con capacidad de 4.54 ton. con una fuerza de penetración de 1.27 mm/min
- ✓ Moldes cilíndricos tipo Próctor estándar o modificado.
- ✓ Martillos de compactación tipo Próctor Standard o Modificado
- ✓ Aparato medidor de expansión
- ✓ Trípode de metal
- ✓ Estufa eléctrica
- ✓ Cronometro
- ✓ Pisones metálicos del tipo martillo deslizante.
- ✓ Placas carga circulares de acero
- ✓ Placas ranuradas
- ✓ Tanque de saturación
- ✓ Mallas de  $\frac{3}{4}$  y N<sup>4</sup>



- ✓ Balanza
- ✓ cucharon
- ✓ Regla metálica
- ✓ Papel filtro
- ✓ Charolas metálicas
- ✓ Probetas
- ✓ Aceite
- ✓

#### II.9.4. DESARROLLO DE LA PRUEBA

- ✓ Antes de iniciar la preparación de la muestra deberá determinarse el contenido de agua del material.
- ✓ A continuación deberá pasar por el proceso de secado, disgregado y cuarteado.
- ✓ Se cribara la muestra por la malla 3/4 pug. Cabe mencionar que si la muestra original contiene > 15% en peso de material que se retiene en la malla se utilizara para la prueba. pero cuando el material < 15% será necesario sustituir este retenido por una cantidad igual en peso de material pétreo que pase por la malla de 3/4" (NORMA SCT M-MMP-1-11-08 DE LA SCT).
- ✓ La cantidad mínima de material deberá ser de 21 kg el cual se colocara en charolas a dicho material se le realizara un cuarteo en porciones de 4 a 6 kg para cada espécimen.
- ✓ Se obtendrá el volumen de agua requerido con aproximación de 0.2 cm<sup>3</sup>, el cual se hará con la siguiente formula.

Donde:

$V_w$ = volumen de agua por agregar (cm<sup>3</sup>)

$W_s$  = masa del material seco (g).

$W_b$ = contenido de agua del material en el banco a una profundidad realizada.

$$V_w = \frac{W_s(w_b + 0.25)}{100}$$

- ✓ Realizado esto se mezclara el material hasta homogeneizarlo perfectamente, así como ir disgregando los grumos que se lleguen a formar.
- ✓ Preparada la muestra se realizara el procedimiento de compactación, se harán 3 especímenes con diferentes características como se ve en la siguiente tabla de la norma SCT M.MMP 1.11/08.



Materiales	Espécimen N°	Ec kg.cm/cm <sup>3</sup>	Numero de golpes por capa	
			Pistón 2.50 kg	Pistón 4.54kg
Terraplén	1	6.03	56	
	2	2.69	25	
	3	1.08	10	
Subyacente	1	6.03	56	
	2	2.69	25	
	3	1.08	10	
Sub-rasante	1	27.42		56
	2	6.03	56	
	3	2.69	25	

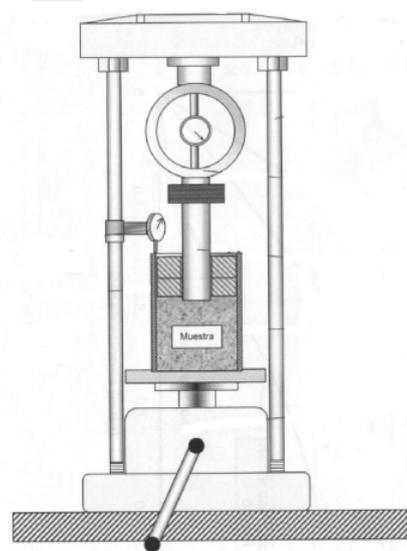
En caso de que se disponga solo con pistón de 250 kg al primer espécimen de material para subrasante se le aplicara 153 golpes por capa con este pistón.

**TABLA II. 25 Características para compactación.**

- ✓ Se armara el molde colocando el collarín de extensión a la placa de base sin perforaciones por medio de las abrazaderas.
- ✓ Se colocara y esparcirá aceite en las paredes del interior del molde y collarín esto es para evitar que lleve haber una adherencia del suelo en el molde y collarín.
- ✓ Se colocara el disco espaciador dentro del molde y se colocara papel filtro encima de este del cual evitara adherencia con el suelo.
- ✓ Realizado esto se pasara a la preparación del espécimen el cual consiste en empezar a compactar con el pistón en proporciones el material dentro del molde.
- ✓ En este proceso se deberá tener cuidado que el material sea compactado uniformemente tratando que el numero de golpes del pistón sea distribuido por toda el área del molde.
- ✓ De ninguna manera deberá colocarse algún molde de plástico o madera a la hora de estar realizando la compactación esto es tapando el suelo a la hora de utilizar el pistón ya que si se coloca podrían afectar en los resultados ya que la energía del golpe puede disiparse y no llegar a compactarse de una forma correcta.
- ✓ Una vez realizado el punto anterior se pasara a retirar el collarín de extensión del molde.
- ✓ Se enrazara el material con la regla metálica.
- ✓ Si el material presenta oquedades después de ser enrasado se rellenaran con material del enrase, además se tomara el material sobrante del enrasado para realizar la prueba de contenido de agua para conocer el porcentaje que se tuvo durante la prueba compactación.



- ✓ Una vez realizado lo anterior se desarmara de la base metálica y se tomara el peso del molde + material y se tomara registro.
- ✓ Se tomaran los dos papeles filtro y uno se colocara en la cara superior de la placa perforadora y la otra ira en la cara inferior.
- ✓ Antes de colocar el papel filtro el molde será nuevamente armado en la placa base perforada pero el molde será invertido, la cara inferior ahora será superior y se colocara el filtro.
- ✓ Se colocara el equipo que se utiliza para conocer la expansión en el espécimen y se tomara la lectura inicial.
- ✓ El espécimen se colocara en forma muy cuidadosa en el tanque de saturación de tal manera que se permita al material saturarse, el tiempo que deberá de transcurrir para que el material tenga un grado de saturación del 90 a 95 % es de 96 horas.
- ✓ Una vez transcurrido el tiempo de saturación se tomara lectura y retirara del tanque.
- ✓ Se colocara en forma vertical durante un periodo de 15 min para retirar el agua que se encuentra en la parte superficial.
- ✓ Una vez realizado el drenaje se retiraran las placas y papel filtro y se tomara el peso del espécimen.
- ✓ Una vez concluido el paso anterior se colocara el molde en la base del equipo de carga y se colocara la placa base y se ajustara se colocara además una placa anular y el pistón de penetración en el orificio central de la placa.
- ✓ Se le realizara una sobre carga con el equipo de 4.54kg. y se colocaran las placas ranuradas.
- ✓ Con la sobrecarga aplicada se ajustara el micrómetro y el extensómetro del anillo de cargar con esto se realizara las demás cargas de la siguiente manera:
  - El quipo deberá tener una calibración para que las cargas tengan una velocidad de 1.27mm/min.
  - Se tomaran las lecturas de las cargas aplicadas a un tiempo determinado como lo muestra la tabla conforme a la normas SCT



' Prueba VRS



Lecturas	Tiempo	Penetración.	Lecturas	Tiempo	Penetración
1	0:30	0.64			
2	1:00	1.27	6	4:00	5.08
3	1:30	1.91	7	6:00	7.62
4	2:00	2.54	8	8:00	10.16
5	3:00	3.81	9	10:00	12.70

**TABLA II. 26 Relación tiempo-penetración.**

- ✓ Una vez concluido le prueba de penetración se retira el molde del aparato de carga y se extraerá la muestra.
- ✓ Se obtendrá de la parte central de la muestra porciones para obtener su contenido de agua.
- ✓ Esto se repetirán para los otros dos moldes.

#### II.9.4. CALCULO DE LA PRUEBA.

Con los datos registrados a lo largo de la prueba se procede a realizar los siguientes cálculos.

En el formato deberemos tener los siguientes datos:

Caract del molde	Caract de la muestra		Caract de molde + material	
Nº molde	Nº tara	Numero de la tara.	Wsh+m	Peso suelo húmedo + molde
Altura del molde	Wtara	Peso tara	Wss+m	Peso suelo seco + molde
Área del molde	Wsh + tara	Peso suelo húmedo + tara	Altura faltante 1	Con respecto al enrasamiento muestra+ molde
Peso del molde	Wss+tara	Peso suelo seco + tara	Altura faltante 2	
Volumen del molde	W%	Contenido de agua	Altura promedio	

**TABLA II. 27 Datos del material + molde**

Características del material	
H=	Altura del molde
ym=	Peso volumétrico del material húmedo.
yd=	Peso volumétrico del material seco

**TABLA II. 28 Datos del material.**

- ✓ Como se ve en la tabla II.34 es obtener el peso area y altura de los molde que se van a utilizar en la prueba esto es para saber que cumplen los requisitos de la norma
- ✓ Se calculara el contenido de agua con la muestra que se tuvo antes de la compactación la formula es la siguiente:

Donde:

w%= contenido de agua (%).

w<sub>sh</sub> = peso de suelo húmedo.

$$w\% = \frac{wsh - wss}{wss - wtara} \times 100$$



$w_{ss}$ = peso del suelo seco

$w_{tara}$ = peso de tara

- ✓ Para  $w_{sh}$  + molde se tiene con la siguiente fórmula:

Donde:

$W_{sh}$ = Peso suelo húmedo

$W_{sh+mol}$ = Peso suelo húmedo+ molde

$W_{mol}$ = Peso del molde

$$W_{sh} = W_{sh+mol} - W_{mol}$$

- ✓ Para obtener el faltante del molde se tomaran con respecto a la colocación del material compactado y el molde, es recomendable hacer tres medidas obtener un promedio de esta.
- ✓ Para obtener el volumen del molde con respecto el material se utiliza la siguiente fórmula:

$$Vol. molde = area del molde \times altura del material$$

- ✓ Calculo para obtener el peso volumétrico húmedo se tiene de la siguiente forma:

Donde:

$\gamma_m$ = Peso volumétrico del material húmedo

$w_{hm}$  = Peso de material húmedo.

$V_{mol}$ = peso del suelo seco

$$\gamma_m = \frac{W_{hm}}{V_{mol}} \times 1000$$

- ✓ Calculo para obtener el peso volumétrico seco se tiene con la siguiente fórmula:

Donde:

$\gamma_s$ = Peso volumétrico del material húmedo

$\gamma_m$  = Peso de material húmedo.

$w\%$ = Contenido de agua.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w\%/100}$$

- ✓ Una vez obtenido los valores índices del material se pasara a conocer sus propiedades mecánicas o de resistencia del material.
- ✓ Con los valores obtenidos en la prueba de resistencia se tiene la siguiente tabla:

Penetración	Presión del anillo	Carga
cm	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg

**TABLA II. 29 Valores obtenidos de la prueba de resistencia.**



- ✓ En el cuadro de penetración son los valores en milímetros que realizó el pistón en la máquina de compresión con los valores 1.27, 2.54, 3.80, 5.08, 0.762, 10.16.
- ✓ En la siguiente columna se tienen los valores obtenidos por el anillo de carga.
- ✓ En la columna de carga se tienen los valores en los que fue sometido el material a prueba y se obtienen con la siguiente fórmula:

$$carga = presión\ del\ anillo \times\ calibración\ del\ aparato$$

- ✓ Para la obtención del VRS del material ocupamos la penetración a 2.54 cm y se calcula con la siguiente fórmula.

$$VRS = \frac{carga\ a\ 2.54\ cm}{1360} \times 100$$

- ✓ Con el valor obtenido del VRS se puede conocer la calidad que se tiene en los materiales que fueron sujetos a esta prueba.

Zona	VRS	Clasificación
1	0 -5	Sub- rasante muy mala
2	5- 10	Sub-rasante regular a buena
3	10 - 20	Sub-rasante regular a buena
4	20 -30	Sub-rasante muy buena
5	30- 50	Sub-base buena
6	50 – 80	Base buena
7	80 - 100	Base muy buena

**TABLA II. 30 Clasificación de los materiales con el V.R.S.**

- ✓ Para la obtención de los valores de la expansión que tuvo el material a la hora de saturarlo en el tanque se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Exp = \frac{(lectura\ final -lectura\ inicial)}{altura\ del\ material} \times 10$$

- ✓ Construcción de gráfica carga penetración.

Con el fin de saber si la prueba está bien realizada se dibujara la curva de carga penetración donde en el eje de las abscisas se colocan los valores de la penetración y en el eje de las ordenadas las cargas registradas para cada una de las penetraciones. En la figura II.16 se muestra las curvas típicas que se obtienen en una prueba de VRS y la posible curva de error que se puede encontrar al ser efectuado mal la prueba.

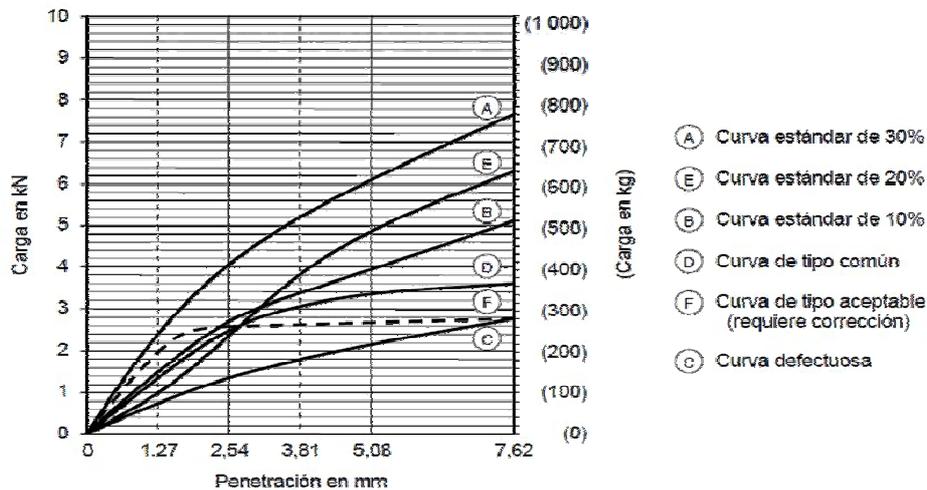


Figura II. 18 Curvas típicas de carga-penetración de acuerdo a las normas M-MMP-1-11-08

Como se observa en la figura la curva que está punteada es un caso típico de una prueba mal realizada, esto es que la primera carga realizada fue mayor a 10 kg. En este caso, la prueba se desecha y se volverá a repetir ya que los valores son inciertos por la carga extra aplicada a este espécimen.

Otro ejemplo que se llega a encontrar y que la norma de la SCT marca y pide su corrección cuando la curva presenta una concavidad hacia arriba.

### II.9.6. OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- Cada molde que se tiene en laboratorio llega a tener medidas diferentes, el cual se deberá tener en cuenta para obtener mejores resultados.
- El material deberá estar en perfectas condiciones, en el caso de la prensa deberá tener una muy buena calibración.
- Se deberán tener cuidado que los extensómetros se encuentren en perfectas condiciones, en calibración y limpieza.
- El material deberá cumplir con la preparación antes mencionada.
- En la compactación deberá tomarse en cuenta el número de golpes.
- Deberán tener cuidado en la hora del peso del molde más material antes de ser colocado en la saturación, así como después de la saturación.
- Cuando el material haya sido enrasado y hayan quedado oquedades, deberán ser cubiertos con material fino para tapar esas oquedades.



- En la saturación deberá llevarse en el tiempo marcado ya sea para suelos finos o para suelos granulares es importante este punto ya que podría haber diferencia en los resultados.
- La colocación del trípode es importante observar que quede bien colocado sobre la base del molde sumergido y el vástago de su extensómetro quede en contacto con el vástago de la placa de expansión.
- Deberá tenerse cuidado que el extensómetro para medir la penetración quede perfectamente apoyado el vástago sobre la pared del molde, así como, deberá acomodar la caratula del extensómetro para tomar correctamente las lecturas.

Con el fin de saber si la prueba está bien realizada se dibujara la curva de carga penetración donde en el eje de las abscisas se colocan los valores de la penetración y en el eje de las ordenadas las cargas registradas para cada una de las penetraciones. En la figura II.16 se muestran las curvas típicas que se obtienen en una prueba de VRS y la posible curva de error que se puede encontrar al ser efectuado mal la prueba.



### II.9.7. FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN II.9. 1 Materiales para prueba de VRS



IMAGEN II.9. 2 Pesado de los moldes



IMAGEN II.9. 3 Armado del molde



IMAGEN II.9. 4 Colocado de papel filtro



IMAGEN II.9. 5 Humedecimiento de material



IMAGEN II.9. 6 Colocado de material



IMAGEN II.9. 7 Compactación del material



IMAGEN II.9. 8 Compactación del material



IMAGEN II.9. 9 Colocado de filtros



IMAGEN II.9. 10 Colocado de filtros

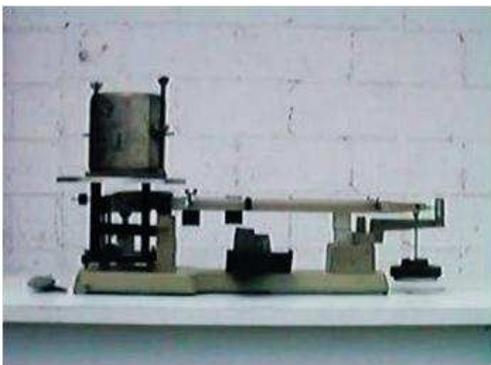


IMAGEN II.9. 11 Pesado de la muestra



IMAGEN II.9. 12 Colocado de equipo de medición para la expansión



**IMAGEN II.9. 13** Vista del equipo para expansión



**IMAGEN II.9. 14** Tanque de saturación



**IMAGEN II.9. 15** Vista de escurrimiento de agua superficial del molde.



**IMAGEN II.9. 16** Preparación de muestra para carga



**IMAGEN II.9. 17** Colocación del pistón de carga



**IMAGEN II.9. 18** Prueba de carga



## **II.10. DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DE LOS ÁNGELES.**

### **II.10.1.DESCRIPCION.**

Este método fue realizado en los estados unidos el cual tiene como característica el de evaluar la resistencia, el desgaste y la degradación que sufren los materiales en la máquina de los ángeles cuando sobre este se aplican cargas abrasivas de acero (esferas).

Este método nos ayuda a simular la capacidad y la resistencia al esfuerzo - deformación que llegan a tener los materiales a la hora de su producción, colocación, compactación y vida de servicio del pavimento.

Esto es que debido a las condiciones en las que son sometidas la superficie de rodamiento por las cargas del tránsito produciendo una continuidad de esfuerzos verticales a la carpeta asfáltica que se van distribuyendo de mayor a menor intensidad hacia las capas posteriores.

Por esta razón es que los materiales que se localizan cerca de la superficie como en la capa base y carpeta asfáltica deberán tener mayor resistencia que los agregados usados en las capas inferiores.

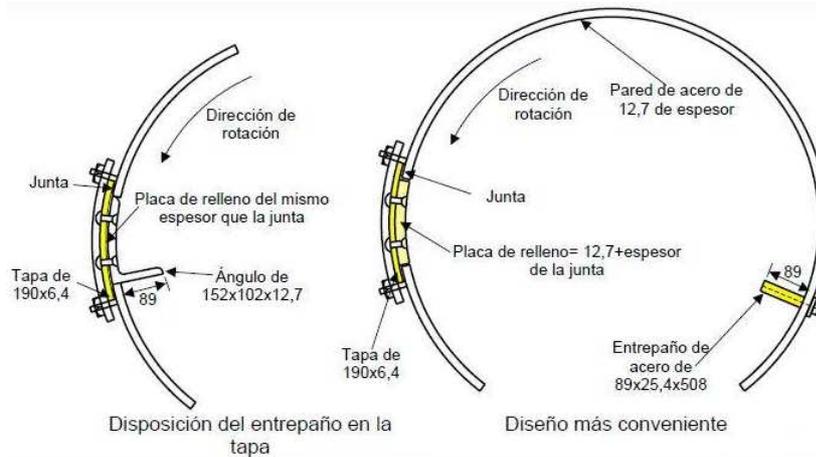
### **II.10.2.OBJETIVO.**

El objetivo es conocer la resistencia en los materiales granulométricos ante el desgaste y degradación en los que serán sometidos por medio de impactos con esferas metálicas o de acero dentro de un cilindro giratorio en un tiempo determinado.

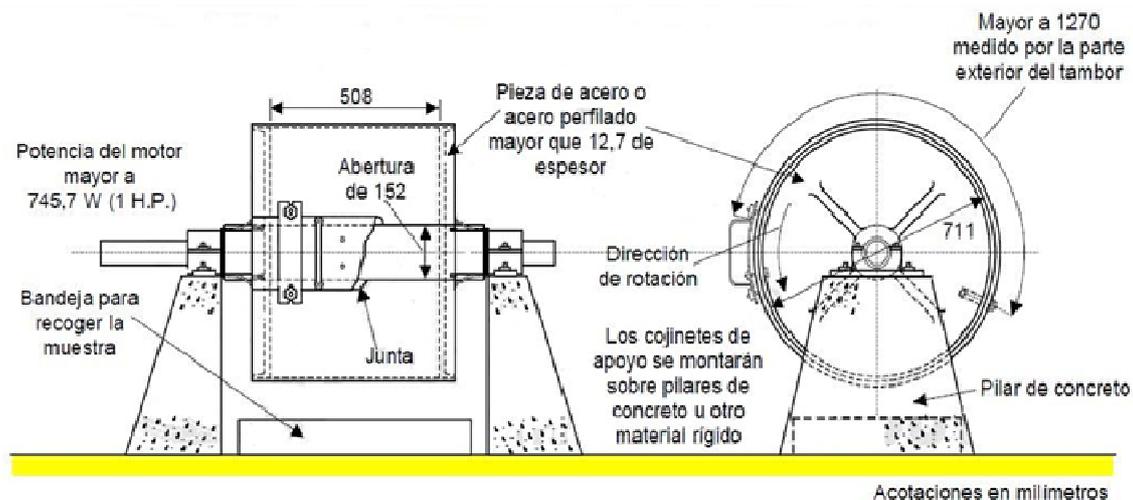
### **II.10.3.MATERIAL Y EQUIPO.**

- ✓ Máquina de los ángeles
- ✓ Mallas o tamices (ver tabla)
- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Esferas metálicas o de acero
- ✓ Cucharón
- ✓ Charolas metálicas
- ✓ Máquina agitadora de mallas

En las siguientes figuras se muestran la características de la máquina de los ángeles conforme a la norma SCT.



**Figura II. 19 Características del cilindro de acero conforme a las norma SCT M.MMP. 4.04.006.02**



**Figura II. 20 Características de la máquina de los ángeles conforme a la norma SCT.**

El tamaño de mallas que se utilizaran en la prueba son las siguientes con forme a la norma de la SCT M.MMP 4.04.006/02.

Designación	Abertura (mm)	Designación	Abertura (mm)	Designación	Abertura (mm)
2"	50	3/8"	9.5	Nº12	1.7
1 1/2"	37.5	1/4"	6.3	En la malla no.12 solo se utilizara para el lavado del material posterior al tratamiento de desgaste por lo que no se incluye en la obtención de la granulometría del material	
1"	25	Nº4	4.75		
3/4"	19	Nº4	2		
1/2"	12.5	Nº10	1.7		

**TABLA II. 31 Tipo de mallas a utilizar en la prueba conforme a la norma SCT.**



## II.10.4.MATERIAL Y CARGAS ABRASIVAS.

Como se muestran en las siguientes tablas la cantidad de de material recomendado para ensayar, como el numero de esferas revoluciones y tiempo de rotación conforme lo especificado en la norma de la SCT M.MMP 4.04.006/02, ASTM C.131 y ASTM C-535.

Cabe mencionar que el material a utilizar en esta prueba deberá ser representativo del material suministrado en la exploración.

Tipo de composición de la muestra	Rango de tamaños		Masa de la fracción (g)	Carga abrasiva	
	mm	Designación		Num de esferas	Masa total (g)
A	37.5 – 25	1 ½" – 1"	1250 ± 25	12	5000±25
	25 – 19	1" – ¾"	1250 ± 25		
	19 – 12.5	¾" – ½"	1250 ± 25		
	12.5 – 9.5	½" – 3/8"	1250 ± 25		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ±10		
B	19 -12.5	¾" – ½"	2500 ±10	11	4584±25
	12.5 – 9.5	½" – 3/8"	2500 ±10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ±10		
C	9.5 – 6.3	3/8" – ¼"	2500 ±10	8	3330±25
	6.3 4.75	¼" – Nº4	2500 ±10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ±10		
D	4.75 – 2	Nº4 – Nº10	5000 ±10	6	2500±25

**TABLA II. 32 Composición de la prueba y cargas abrasivas norma SCT**

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 ½"	1"	1250 ± 25			
1" "	¾"	1250 ± 25			
¾"	½"	1250 ± 10	1250 ± 10		
½"	3/8"	1250 ± 10	1250 ± 10		
3/8"	¼"			1250 ± 10	
¼"	Nº4			1250 ± 10	
Nº4	Nº8				5000 ± 10
Peso total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Nº de esferas		12	11	8	6
Nº de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (minutos)		15	15	15	15

**TABLA II. 33 Composición de la prueba y cargas abrasivas norma ASTM C-131**



Método		1	2	3
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)		
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz			
3"	2 ½"	2500 ± 50		
2 ½"	2"	2500 ± 50		
2"	1 ½"	5000 ± 50	5000 ± 50	
1 ½"	1"		5000 ± 25	5000 ± 25
1" "	¾"			5000 ± 25
Peso total		10 000±100	10 000±75	10 000±50
Nº de esferas		12	12	12
Nº de revoluciones		1000	1000	1000
Tiempo de rotación (minutos)		30	30	30

TABLA II. 34 Composición de la prueba y cargas abrasivas norma ASTM C-535.

## II.10.5. DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Se colocara el material en charolas metálica.
- ✓ El material deberá realizarse un proceso de secado esto será a temperatura ambiente o a horno a una temperatura menor a 60°c durante 24 hr.
- ✓ Si el material presenta materiales sementados se disgregaran los grumos en forma manual.
- ✓ Realizado el paso anterior el material se le realizara un lavado para eliminar partículas de polvo que hayan quedado adheridos al material.
- ✓ Se cuarteara el material y se tomara la cantidad de 40kg.
- ✓ A continuación se realizara pruebas granulométricas para conocer su clasificación y curva granulométrica, cabe mencionar que las mallas a utilizar será como se menciona en la tablas anteriores conforme a las especificaciones de proyecto a la norma a utilizar
- ✓ Cabe mencionar que para una mejor calidad en los resultados es conveniente realizar por separado las granulometrías con respecto en tamaños de partículas en suelos granulares y finos ya que al realizar su clasificación o caracterización se tiene mejores resultados y con respecto a la prueba podremos tener una mejor visión al tipo de abrasión en la que será sometida, el numero de revoluciones y el tiempo en que estará en la maquina.
- ✓ Con el material una cribada, cuarteadada se realizaran el siguiente paso para la prueba de los Ángeles.
- ✓ El material a utilizar deberá conocerse su peso y se registrara como (P1) conforme al rango como se muestran en las tablas anteriores.
- ✓ Se colocara la muestra en la máquina de los Ángeles



- ✓ Se colocaran el numero de esferas como lo indica las tablas anteriores conforme a las especificaciones de proyecto y norma.
- ✓ Se hará funcionar la máquina de los Ángeles y sus revoluciones deberán estar conforme a las especificaciones de norma a utilizar
- ✓ Concluido el tiempo de funcionamiento de la maquina se retirar el material del interior de esta y será colocado en charolas.
- ✓ El material se volverá a para por las mallas correspondientes y se retirar el material que pase por la malla N°12 y menor.
- ✓ El material obtenido del cribado se volverá a realizar un lavado para retirar el polvo o partículas que se hayan adherido al material granulado.
- ✓ Se colocara el material al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 24hr.
- ✓ Transcurrido el tiempo del material del horno se retirar y se dejara enfriar a temperatura ambiente y se tomara su peso y se registrara como  $P_{\text{final}}$ .

#### II.10.6. CALCULO DE LA PRUEBA.

Para calcular la pérdida por desgaste se utilizara la siguiente fórmula:

Donde:

$P_a$ = Desgaste los Ángeles (%)

$P_i$ =Masa inicial de la muestra (g).

$P_f$ =Masa final de la muestra de prueba mayor a 1.7 mm (malla N°12) (g).

$$P_a = \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

#### II.10.7. OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- ✓ Deberá mantener el material en un sitio libre de agentes que llegaran hacer un factor de contaminación de las muestras lo que es recomendable tenerlo en un sitio cerrado fuera de corrientes de aire.
- ✓ El material deberá estar libres de materiales cementados.
- ✓ El equipo de laboratorio deberá estar en perfectas condiciones de limpieza y calibración.
- ✓ Para agregados gruesos de tamaños mayores a  $\frac{3}{4}$ " se puede determinar la pérdida después de 200 revoluciones. Al efectuar ésta determinación no será necesario lavar el material retenido en el tamiz N°12. La relación de pérdida después de 200 revoluciones a pérdida después de 1 000 revoluciones, no debería exceder en más del 20% para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice éste paso se evitará perder todo tipo de material, incluido el polvo, porque éste será devuelto a la máquina para concluir con el ensayo.



## II.10.8. FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN II.10. 1** Vista de la máquina de los ángeles



**IMAGEN II.10. 2** Vista de la máquina de los ángeles



**IMAGEN II.10. 3** Lavado del material



**IMAGEN II.10. 4** Vista del material a utilizar en la prueba



**IMAGEN II.10. 5** Pesado del material



**IMAGEN II.10. 6** Secado del material en el horno



**IMAGEN II.10. 7** Muestra de material y esferas de acero.



**IMAGEN II.10. 8** Vaciado del material a la máquina de los ángeles



**IMAGEN II.10. 9** Colocado de esferas de acero



**IMAGEN II.10. 10** Sellado de la máquina de los ángeles



**IMAGEN II.10. 11** Proceso de la máquina de los ángeles



**IMAGEN II.10. 12** Resultado de la prueba de abrasión



IMAGEN II.10. 13 Cribado del material



IMAGEN II.10. 14 Cribado del material



IMAGEN II.10. 15 Lavado del material cribado



IMAGEN II.10. 16 Pesado del material resultante.

## II.11 PENETRACIÓN DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFALTICOS.

### II.11.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo es medir la dureza o consistencia de los cementos asfálticos y emulsiones, mediante la penetración de una aguja normalizada de 100 g, se introduce en forma vertical en un recipiente con material de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C por un tiempo de 5seg, con lo que se medirá la penetración de la aguja en decimas de milímetro (0.1mm) mediante el equipo del penetrómetro.

### II.11.2 EQUIPO Y MATERIAL.

- ✓ Aguja de  $\theta 1 \pm 0.2$ mm y 100g peso
- ✓ Penetrometro de asfalto
- ✓ Espátula.
- ✓ Malla #50



- ✓ Termómetro de 0 a 50°C
- ✓ Cronometro
- ✓ Capsula de penetración
- ✓ Recipiente

### II.11.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Se calentará a baja temperatura el cemento asfáltico hasta que permita vaciarlo a la capsula de penetración o bien el residuo obtenido por la destilación de asfalto rebajado, se vaciará en forma directa hasta llenar la capsula de penetración, procurando evitar la acumulación de aire.
- ✓ Se cubrirá la muestra para evitar que se contamine y se dejará enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Se colocará a baño maría por aproximadamente 2 horas hasta alcanzar la mezcla asfáltica una temperatura de 25°C.
- ✓ Se tomará el penetrómetro y se acoplará la aguja de penetración.
- ✓ Se retira del recipiente de baño maría, el cual contiene la muestra.
- ✓ Se colocan el recipiente y la capsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la aguja.
- ✓ Se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra,
- ✓ Se ajustará la caratula del penetrómetro a ceros.
- ✓ Una vez colocado y calibrado el equipo se dejará caer libremente la aguja durante 5 segundos observando y registrando la caratula del penetrómetro que mide la distancia penetrada (0.1mm).
- ✓ Se realizarán entre 4 y 6 pruebas por toda el área de la muestra, tomando en cuenta que la aguja deberá limpiarse entre punto y punto para evitar alguna variación en las lecturas de penetración.

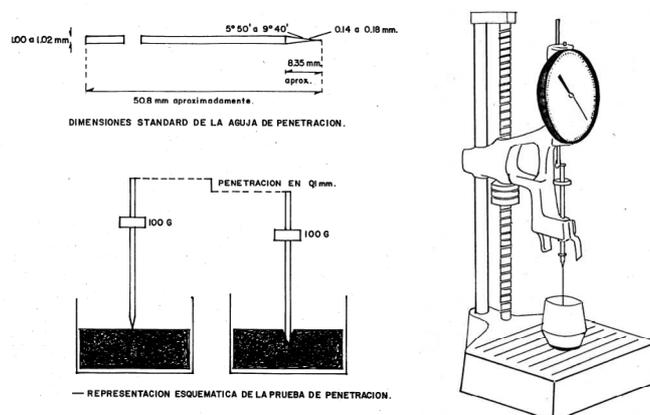


Figura II. 21 Características de la máquina de los ángeles conforme a la norma SCT.



#### **II.11.4 CÁLCULO DE LA PRUEBA.**

El resultado de la prueba, es el promedio de las lecturas registradas de las penetraciones de la aguja.

Cabe mencionar que si obtenemos más de 2 lecturas difieren notablemente deberá de repetirse la prueba.

Los valores expresados serán en decimos de milímetro y tienen por nombre como grado de penetración.

#### **II.11.4 OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.**

- ✓ Deberá de tenerse cuidado con el aire atrapado en la masa del asfalto ya que esto nos arroja penetraciones superiores
- ✓ Deberá agitarse lentamente la mezcla asfáltica caliente con el objeto de eliminar el aire atrapado y obtener una mezcla homogénea.
- ✓ Deberá tenerse cuidado que la aguja no esté en contacto con la superficie al momento del ajuste de la caratula del aparato.
- ✓ Deberá de estar limpia la aguja cada vez que se realice una penetración en la mezcla asfáltica.



### II.11.5 FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN II.11 1 Calentamiento de muestra**



**IMAGEN II.11 2 Vaciado de material asfáltico a recipiente**



**IMAGEN II.11 3 Sellado de muestra**



**IMAGEN II.11 4 Muestra colocado en baño María**



**IMAGEN II.11 5 Colocado de material en penetrometro**



**IMAGEN II.11 6 Penetración de producto asfáltico**



## II.12 PUNTO DE INFLAMACIÓN EN CEMENTOS ASFALTICOS.

### II.12.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

Esta prueba nos permitirá conocer el punto de ignición en el cual el producto asfáltico puede ser manejado con seguridad, evitando producir flamas instantáneas, así como el de conocer la temperatura crítica en que se inicia su combustión y tomar las precauciones necesarias para eliminar los peligros de incendio durante la manipulación de este producto.

### II.12.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- ✓ Copa de Cleveland
- ✓ Cronometro.
- ✓ Dispositivo que proporcione una flama
- ✓ Mechero de gas
- ✓ Termómetro de inmersión parcial
- ✓ Guantes industriales

La copa de Cleveland deberá de ser de un material resistente a altas temperaturas, puede ser de latón, bronce o acero inoxidable.

Como se muestra en la siguiente figura la copa de Cleveland deberá tener las siguientes dimensiones como lo marca la norma SCT M.MMP.4.05.006/00

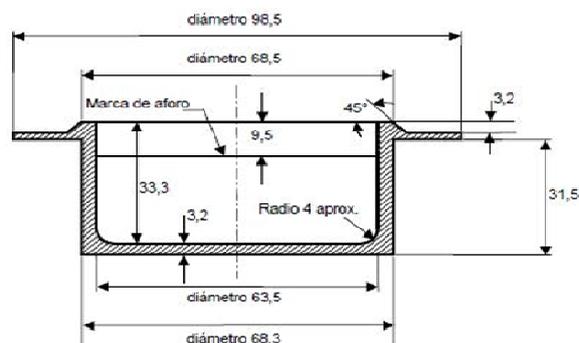


Figura II. 22 Dimensiones de la copa de Cleveland conforme a la norma SCT.

### II.12.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Antes de iniciar la prueba se colocaran los siguientes instrumentos.
- ✓ Se colocará y montara el termómetro de tal forma que no tenga algún movimiento y quede el extremo inferior del bulbo a 6 a 7 mm del fondo de la copa de Cleveland.



- ✓ Se montará el aplicador de flama, esta deberá tener movimientos de tal forma que tenga movimiento suave y continuo.
- ✓ Una vez colocado los instrumentos se deposita en la copa de Cleveland la muestra de ensayo hasta la marca de llenado, cabe mencionar que el cemento asfáltico deberá haber pasado por un proceso de calentamiento para que la fluidez permita su manejo.
- ✓ Se colocara la copa con el material de prueba en el centro del calentador.
- ✓ Una vez colocado en el calentador se le aplicará calor inicialmente en una proporción tal que la temperatura se incremente de 14 a 17°C por minuto hasta que alcance una temperatura aproximada de 60°C por debajo del punto de inflamación probable.
- ✓ Se reducirá gradualmente la temperatura aplicado en la copa de manera que al llegar la muestra a 28°C abajo del punto de inflamación, el incremento vaya aumentando de 5 a 6 °C/min.
- ✓ Se agitará la muestra con el termómetro a intervalos durante la prueba para hacer uniforme su temperatura.
- ✓ Cuando la temperatura de la prueba sea de 28°C aproximadamente por abajo del punto de inflamación, se inicia la aplicación de la flama esta se irá realizando por cada aumento de 2 °C.
- ✓ La flama se irá pasando en ángulos rectos con un movimiento suave y continuo.
- ✓ Aplicando la flama sea en la última recta o a lo largo de una circunferencia de un círculo que tendrá un radio de por lo menos  $150 \pm 1$  mm el centro de la llama de ensayo, deberá moverse en un plano horizontal a no menos de 2 mm por encima del plano del borde superior de la copa y pasando primero en una dirección y a la vez siguiente en la dirección opuesta la duración del paso de la flama sobre la copa sea de 1 segundo aproximadamente.
- ✓ Se registrará como punto de inflamación ( $t_1$ ) la lectura de temperatura al instante que la flama de ensayo cause una flama instantánea o destello en el interior de la copa.
- ✓ Se continúa aplicando calor de manera que el incremento de la temperatura sea a razón de 5 a 6 °C/min, hasta producir flamas que duren por lo menos 5 segundos, registrando en este momento la temperatura alcanzada ( $t_2$ ), dato que será el punto de combustión

#### II.12.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

Se debe corregir el dato del termómetro si la presión barométrica del lugar donde se efectúa la muestra, no es de 101.3 KPa (760mm de mercurio), aplicando las siguientes formulas:



Donde:

$t_n'$  = Temperatura  $t_1$  o  $t_2$  corregida por presión barométrica

$t_n$  = Temperatura  $t_1$  o  $t_2$  registrada por presión barométrica

P = Presión barométrica del lugar en que se efectuó la prueba

$$t_n' = t_n + 0.25(101.3 - P)$$

$$t_n' = t_n + 0.033(760 - P)$$

### II.12.5 OBSERVACIONES DURANTE LA PRUEBA.

- ✓ El material deberá estar limpia y en perfectas condiciones.
- ✓ La prueba deberá realizarse en un sitio cerrado donde no hayan corrientes de aire.
- ✓ El equipo deberá estar en una superficie plana y sólida para evitar vibraciones o movimientos para que el material pueda liberar los vapores que se desprenden al aplicar la flama.

Que la flama que produce la flama instantánea se pase a intervalos mayores a 2°C cuando está este cercana al punto de ignición ya que podrían haber errores de apreciación de la temperatura.

### II.12.6 FOTOGRAFÍAS.



IMAGEN II.12 1 Copa de Cleveland



IMAGEN II.12 2 Vaciado de material en la Copa de Cleveland



IMAGEN II.12 3 Vista del equipo para la prueba



IMAGEN II.12 4 Colocación de la flama en la copa



IMAGEN II.12 5 Vista del punto de ignición de la muestra.

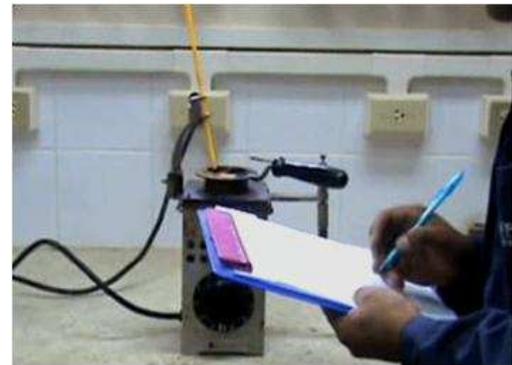


IMAGEN II.12 6 Registro de temperatura

## II.13 VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL EN MATERIALES ASFALTICOS.

### II.13.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo de esta prueba se refiere al procedimiento para determinar el estado de consistencia y fluidez de un asfalto líquido a una determinada temperatura e indirectamente el grado de manejabilidad del producto.

La norma SCT M.MMP.4.05.004/00 menciona diferentes temperaturas con respecto al tipo de producto a utilizar como se ve en la siguiente tabla:

Tipo de producto	Temperatura recomendada conforme a norma SCT.
Cementos asfálticos	135°C
Emulsiones asfálticas	25 – 50°C.
Asfaltos rebajados	50 – 60°C

TABLA II. 35 Características del tipo de producto asfáltico

## II.13.2 MATERIAL Y EQUIPO.

- ✓ Viscosímetro Saybolt-Furol
- ✓ Matraz de vidrio aforado
- ✓ Equipo para filtrado
- ✓ Vaso de precipitado
- ✓ Termómetros
- ✓ Parrilla eléctrica o fuente de calor
- ✓ Cronometro
- ✓ Liquido para llenar el baño

En la siguiente imagen se muestra las características del tubo de viscosidad Saybolt y la boquilla Furol como lo indica la norma SCT M.MMP.4.05.004/00.

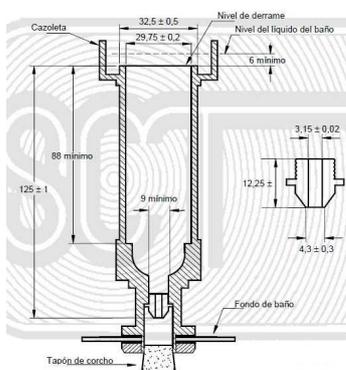


FIGURA II. 23 Características equipo Salbot-Furol

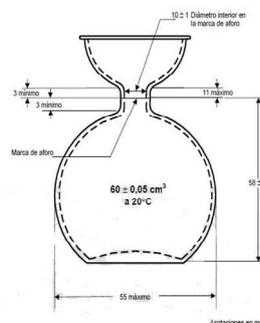


FIGURA II. 24 Matraz aforado



## II.13.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Para el desarrollo de la prueba se tienen algunas características de cantidad y temperatura dependiendo del tipo de cemento y emulsión como se muestra en la tabla según la norma SCT M.MMP. 4.05.004/00:

Tipo de material	Cantidad en gramos	Temperatura inicial
Cementos asfálticos	450g	15°C
Emulsiones asfálticas	450g	15°C
Asfaltos rebajados	150g	2°C

TABLA II. 36 Características del tipo de producto asfáltico

- ✓ El material y el equipo deberá tenerse en buenas condiciones de limpieza y calidad antes de realizar la prueba deberá constatar que cumpla con los requisitos de calidad conforme a la norma SCT.



- ✓ Se calentara el baño de aceite si se trata de un cemento asfáltico o agua si se trata de un asfalto rebajado o emulsión asfáltica a una temperatura de  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  mayor que la temperatura de prueba.
- ✓ Se colocara un vaso de precipitado 150g, aproximadamente del producto asfáltico y se calentara hasta una temperatura de  $1^{\circ}\text{C}$  mayor que la prueba. Se utilizara el termómetro para el agitado durante el calentamiento hasta que la temperatura sea uniforme cabe mencionar que los movimientos deberán realizarse en forma muy cuidándose y lenta para evitar la formación de burbujas.
- ✓ Se vaciara el producto en la copa del viscosímetro hasta el nivel de derrame, se tapara y se mantendrá durante 15 min, o hasta alcanzar la temperatura de prueba.
- ✓ Se verificara la temperatura con el termómetro y se ubicara la tapa en posición que permita la ingreso del aire.
- ✓ En seguida se abrirá el obturador o tapón de corcho y se iniciara a utilizar el cronometro para la toma del tiempo en la que tarda el producto en llenar el matraz de  $60\text{ cm}^3$ , pasando por el orificio de Furol.
- ✓ El resultado que se obtiene del tiempo con respecto al llenado del matraz en segundos expresara la viscosidad del producto ensayado.

### **II.13.5 OBSERVACIONES DURANTE DE LA PRUEBA.**

- ✓ Se deberá de tener la temperatura especifica en el proceso de la prueba.
- ✓ El material y el equipo deberá estar limpio y seco antes de su utilización.
- ✓ Se deberá evitar regular la temperatura con el vaciado de mas producto del producto frio o caliente ya que esto puede influir en los resultados.
- ✓ Deberá evitarse que los movimientos de homogenización para la temperatura sean rápidos o bruscos ya que esto podrá ocasionar la formación de burbujas o golpear el equipo
- ✓ Deberá de colocarse el matraz con respecto al orificio de caída y evitar derrames y pérdida de material.
- ✓ Deberá tenerse cuidado en la toma de datos de tiempo desde la abertura del orificio hasta el llenado de matraz.



# **CAPITULO III**

## **PRUEBAS EN CONCRETO**



### **III.1 INTRODUCCIÓN.**

El concreto es una mezcla homogénea moldeable, constituida por la combinación de cemento Portland, agregados gruesos (grava), agregados finos (arena), agua y en ocasiones aditivos. La selección y el proporcionamiento de estos, son causales de las características que puedan llegar a tener.

Esta mezcla al endurecer se convierte en una roca la cual tiene una alta resistencia a los esfuerzos de compresión pero ante otro tipo de esfuerzos no posee muy buen comportamiento, es habitual en combinación con otros materiales para en la construcción de obras de ingeniería como puentes, edificaciones, obras hidráulica, pavimentos, entre muchas otras.

#### **III.1.1 CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO.**

El concreto hidráulico se puede clasificar conforme a la elaboración de la mezcla y colocación en la obra, clasificándolo de la siguiente manera:

<b>Tipo de Concreto</b>	<b>Características del tipo de concreto.</b>
Normal	Es elaborado con agregados pétreos, agua, cemento y aditivos.
Ligero	Es elaborado con agregados pétreos de baja densidad, agua, cemento y aditivos
Mortero	Es una mezcla de cemento, agua y arena, utilizado normalmente en acabados.
Pretensado y Postensado	Es aquel que tiene una estricta selección en sus componentes además de tener una gran resistencia y esta combinado con otros elementos de acero los cuales se someten a tensión antes o después del colado de la estructura.
Lanzado	Es aquel que mediante la fuerza controlada a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compactada, homogénea y resistente.
Armado	Es aquel con el cual se forman estructuras y se considera armado debido a que se junta con el acero para tener mayor resistencia.
Ciclopeo	Es aquel que está formado por una mezcla cuyos pétreos se componen hasta de un 60% por fragmentos de roca, con una masa máxima de 30 kg por pieza, que se colocan a mano embebidos en el concreto normal.

**TABLA III. 1 Tipos de concreto según su elaboración y colocación.**

#### **III.1.2 ALGUNAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.**

**Trabajabilidad:** Es la propiedad del concreto que determina la facilidad con la cual se le puede mezclar, colocar, compactar y terminar hasta alcanzar una condición homogénea. Combina la movilidad relativa o la capacidad del concreto recién mezclado para fluir, con la consistencia plástica en donde el esfuerzo aplicado traerá como resultado una deformación continua sin llegar a la ruptura.



**Tiempo de fraguado:** El fraguado representa la rigidización de la pasta fresca de cemento. Parte inicial del proceso de endurecimiento el cual es el indicativo de que se está desarrollando una resistencia benéfica y cuantificable. Siendo el fraguado y el endurecimiento resultado de la reacción progresiva entre el material cementante (Cemento Portland) y el agua.

Los principales factores que intervienen en el tiempo de fraguado son la composición del cemento, la relación entre agua y el material cementante (a/c), la temperatura y los aditivos. Cuando el cemento se hidrata más rápidamente, el tiempo de fraguado se reduce por lo tanto a mayor relación (a/c), mayor tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado disminuye a medida que la temperatura aumenta. Cabe mencionar que los aditivos influyen dependiendo su tipo ya que pueden aumentar o disminuir el tiempo.

**Calor de hidratación:** Debido al endurecimiento, se generan reacciones exotérmicas, es decir la liberación de calor. Este calor de hidratación es un factor importante en el concreto masivo, siendo este cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen medidas para hacer frente a la generación de calor producido por la hidratación del cemento y al cambio volumétrico a fin de minimizar el agrietamiento.

Las grietas con frecuencia se forman cuando el gradiente térmico es demasiado elevado. Las altas temperaturas se pueden controlar colocando concreto con una temperatura inicial baja y sustituyendo una parte del cemento portland por materiales cementantes de reacción más lenta o reduciendo el contenido de cemento mediante el empleo de aditivos, químicos, o recurriendo a ambas soluciones.

**Resistencia:** Es el resultado del endurecimiento de la mezcla de los agregados pétreos, cemento, agua y aditivos. Alcanzando su resistencia conforme transcurre el tiempo, comenzando a fraguar entre los primeros 50 min, el cual va adquiriendo una mayor resistencia conforme transcurren los días; teniendo así que a los 3 días alcanza el 40% de su resistencia total, a los 7 días el 65-70% aproximadamente y a 28 días alcanza entre 100-110% llegando así a su completa madurez.

La resistencia es una propiedad que se determina según sean las necesidades del proyecto, realizando el diseño y dosificación en base de esta.

En la actualidad el concreto puede diseñarse para alcanzar una resistencia rápida, con la ayuda de aditivos que permiten alcanzar en forma eficiente la resistencia total en horas. El cemento junto con el resto de los componentes que conforman el concreto, soportan en gran medida los esfuerzos de compresión, por lo cual los ensayos realizados son con muestras representativas sometida a carga axial, en



la cual se miden las deformaciones, además de determinar el modulo de elasticidad estático y la relación de Poisson, por medio de la grafica esfuerzo-deformación.

En la Tabla II.2 se muestran las resistencia a la compresión que podrá tener el concreto dependiendo el tipo de resistencia (normal o rápida).

CLASE RESISTENTE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm <sup>2</sup> )		
	EDAD 3 DÍAS	EDAD 28 DÍAS	
	Valor mínimo	Mínimo	Máximo
20	-	20	40
30	-	30	50
30R	20	30	50
40	-	40	-
40R	30	40	-

TABLA III. 2 Resistencia a la compresión conforme a la edad del concreto. (Referencia 1)

**Permeabilidad:** Es la indicativa de la capacidad de los líquidos o gases para fluir bajo presión a través del concreto. Una baja permeabilidad es un requisito fundamental para el concreto expuesto a la intemperie.

**Durabilidad:** Es la capacidad que tiene de resistir de buena manera ante las acciones físicas y químicas, durante su tiempo de vida útil, y esta se garantiza al realizar la dosificación y colocación de la manera correcta, cumpliendo con los estándares de calidad.

### III.1.3 COMPONENTES BÁSICOS DEL CONCRETO.

#### III.1.3.1 CEMENTO PORTLAND

El cemento es un polvo fino producto de la cocción y molienda de diversos materiales arcillosos y calcáreos, mediante el cual se obtiene el **clinker**. Este polvo aunado con otros elementos constituye el cemento el cual al interactuar con el agua, adquiere una consistencia plástica que endurece al secarse. En la fabricación del cemento se pueden incluir otros materiales que modifican sus propiedades y resistencia.

Materiales	Características del material	Obtención del Material
<b>Puzolanas</b>	Materiales naturales, artificiales o subproductos industriales silíceos o silicoaluminosos,	De tierras diatomáceas, horstenos, opalinos, pizarras, tobas y pómez, así como diferentes productos de calcinación y de algunas de las arcillas más comunes como la montmorillonita y la caolinita.
<b>Escoria granulada de alto horno</b>	Compuesto principalmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos.	Residuo no metálico que se obtiene en el alto horno por la fusión de minerales de hierro, enfriado bruscamente con agua o vapor y aire
<b>Humo de sílice</b>	Puzolana muy fina constituida esencialmente por sílice amorfa	Subproducto de la fabricación de cilicio o aleaciones con arco eléctrico de ferro-silicio.
<b>Caliza</b>	Compuesto principalmente por carbonatos de calcio en forma de calcita	Material de naturaleza inorgánica de origen mineral carbonatado

TABLA III. 3 Materiales para fabricación del cemento.



✓ **Composición química.**

El cemento en su composición química cuenta con un porcentaje de los siguientes componentes y cada uno le proporciona ciertas características:

- ✓ **El silicato tricálcico  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$** , el cual realiza el fraguado inicial y el endurecimiento rápido.
- ✓ **El silicato dicálcico  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$** , este componente puede ocasionar el endurecimiento lento y contribuye a que el concreto adquiera mayor resistencia conforme a su edad.
- ✓ **El aluminato tricálcico  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$** , es el componente que hace que haya una gran liberación de calor
- ✓ **El alúminoferrito tetracálcico  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$ .**

El porcentaje contenido es variable y con ello las características que puede adoptar el concreto, y así satisfacer las necesidades y o especificaciones para lo cual se requiere.

✓ **Tipos de cemento**

En México los cementos se encuentra clasificados por el tipo de materiales y componentes químicos que conforman su estructura siendo la siguiente: **Cemento Portland Ordinario (CPO)**, **Cemento Portland Puzolanico (CPP)**, **Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno (CEPG)**, **Cemento Portland Compuesto (CPC)**, **Cemento Portland con Humo de Sílice (CPS)** y **Cemento con Escoria Granulada de alto horno (CEG)**.

Asimismo cuenta con características especiales tales como: **Resistente a los Sulfatos (RS)**, **Baja reactividad álcali agregado (BRA)**, **Bajo calor de hidratación (BCH)** y **Blanco (B)**.

✓ **Nomenclatura o identificación.**

La identificación de un cemento estará dada de la siguiente forma: **clase del cemento + tipo de resistencia + característica especial**, por ejemplo: CPP 30 BRA/BCH: Cemento portland puzolanico, con una resistencia normal, de baja reactividad álcali agregado y de bajo calor de hidratación.

### III.1.3.2 AGREGADOS PETREOS.

Son materiales granulares o rocas trituradas y cribadas que conforman entre el 60 y 80 % del volumen total del concreto. Los agregados deberán tener una buena resistencia al desgaste y deberán estar libres de materiales que pudieran contaminarlos y evitar su correcta hidratación y adherencia.

Estos materiales se obtienen por explotación de una mina. y puede ser seleccionados desde su origen o por la trituración de las rocas, seleccionándolos conforme a su tamaño de partícula según lo requiera la fabricación del concreto.



TIPO DE AGREGADO	CARACTERÍSTICAS
<b>Agregado fino</b>	Es la arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre 75 micrómetros (malla No. 200) y 4.75 milímetros (malla No. 4), pudiendo contener finos de menor tamaño.
<b>Agregado grueso</b>	Es la grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, escorias de alto hornos enfriadas en aire o combinación de dichos materiales con partículas de tamaño máximo generalmente comprendido entre 19 milímetros (3/4") y 75 milímetros (3"), pudiendo contener fragmentos de roca y arena.
<b>Fragmentos de roca</b>	Son los agregados con tamaño mayor de 75 milímetros (3") y una masa máxima de 30 kilogramos como boleos y piedra braza, entre otros, que se utilizan comúnmente para fabricar concreto ciclópeo.
<b>Agregado Ligero</b>	Son los agregados finos o gruesos que por su baja densidad, se utilizan en la fabricación de concreto estructural ligero, de baja masa volumétrica y resistencia limitada a la compresión, constituidos predominantemente por materiales inorgánicos de estructura celular, preparados por expansión, calcinación o fusión incipiente de productos tales como escorias de altos hornos, arcillas comunes, diatomitas, cenizas volantes, lutitas y pizarras, o bien, mediante otros tratamientos de materiales naturales tales como piedra pómez, perlitas, tezontles, escorias y tobas.

TABLA III. 4 Tipos de agregados pétreos.

Los agregados finos y gruesos deben cumplir con una granulometría como lo muestra la grafica de abajo cumpliendo con la cantidad de % retenido en las mallas, además de que para la selección del material se realizan pruebas que permitan conocer más de sus propiedades índice tales como: contenido de humedad, peso volumétrico, clasificación o caracterización y propiedades mecánica, desgaste entre otros para la verificación de la calidad de los materiales.

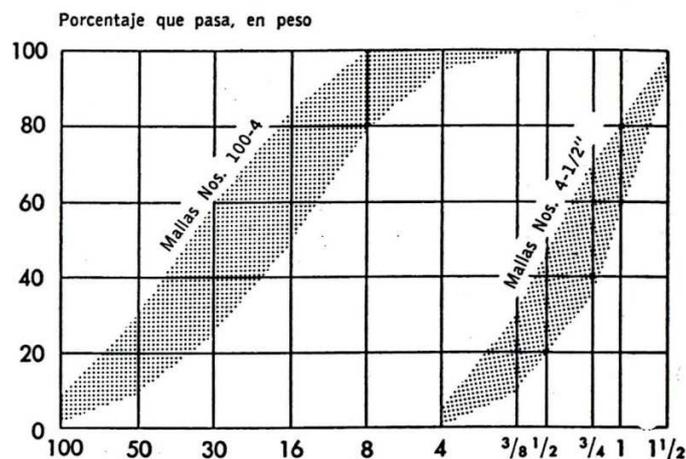


FIGURA III. 1 Curvas que indican los límites especificados en la ASTM C33 y la CSA A23.



TAMAÑO DE LA MALLA	% MATERIAL RETENIDO PARA ARENA
3/8"	100
No.4	95 A 100
No. 16	45 A 80
No. 50	10 A 30
No. 1000	2 A 10

TAMAÑO DE LA MALLA	% MATERIAL RETENIDO PARA GRAVA
1 1/2"	100
1"	90 A 100
1/2"	25 A 60
No. 4	0 A 10

TABLA III. 5 Tamices y porcentajes para aceptar el material que deben pasar por las mallas.

### III.1.3.3 AGUA.

El agua es el componente que se utiliza para la hidratación del cemento y generar las reacciones químicas que permiten el endurecimiento. Para la fabricación del concreto se utiliza agua potable y en caso de no serlo debe cumplir con las propiedades deseadas y se le deben realizar las pruebas necesarias de calidad que nos indiquen su alcalinidad, contenido de materia orgánica, minerales, entre otras. Debido a que la impureza del agua afecta el tiempo de fraguado, la resistencia e incrementa la degradación, inestabilidad volumétrica, además de manchar la mezcla.

### III.1.3.4 ADITIVOS.

Un aditivo es una sustancia o material que al incorporarse a la mezcla modifica las propiedades del concreto para dar una mejor eficiencia según sean las necesidades del proyecto.

Existen gran variedad de aditivos hoy en día la combinación de varios de ellos permite que el concreto tenga una mejor función dentro de la ingeniería, estos son algunos:

- ✓ **Inclusores de aire:** Este aditivo desarrolla un sistema de burbujas de aire microscópicas en la pasta de cemento durante el mezclado, generalmente se utiliza para aumentar su resistencia al congelamiento, deshielo y mejora su trabajabilidad.
- ✓ **Reductores de agua:** Se usan para aumentar la resistencia y trabajabilidad del concreto. Están formados por ciertos compuestos orgánicos o por mezclas de compuestos orgánicos e inorgánicos para reducir los requerimientos de agua de la mezcla para un cierto revenimiento.
- ✓ **Aditivos para controlar el fraguado:** Se usan para modificar el tiempo de fraguado, los retardantes extienden el tiempo de fraguado, se emplean en climas cálidos para compensar los efectos de las altas temperaturas.



- ✓ **Acelerantes:** reducen el tiempo de fraguado y aceleran el desarrollo de la resistencia temprana. Se usan en climas fríos para compensar los efectos de las bajas temperaturas.
- **Diversos aditivos:** Existen otros tipos de aditivos como para reducir la corrosión usados en la protección del acero de refuerzo, los reductores de la contracción, para generar gas, para inyecciones de mortero, para producir expansión, floculantes, fungicidas, a prueba de humedad, reductores de permeabilidad, fluidizantes, niveladores, para reducir la expansión entre muchos otros.

## III.2 DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO.

### III.2.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo es diseñar una mezcla con características específicas como manejabilidad, resistencia y economía. Existen una gran cantidad de métodos para su diseño y para este caso se utilizara la norma 211-1-70 ACI (Asociación Concrete Institute).

Es importante mencionar que previo al realizar la dosificación se debe poseer con cierta información, la resistencia, tamaño máximo del agregado, revenimiento y otras especificaciones para lo cual se empleará.

### III.2.2 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

1. **Determinación del control de calidad.** Se determinará la resistencia del concreto, conforme al nivel de calidad en el proceso de mezclado en obra, se utilizan los valores de la siguiente tabla:

CONTROL DE CALIDAD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR ( $\sigma$ )
<b>Muy bueno:</b> dosificación de mezclas al peso, se tiene control de la humedad antes del mezclado, utilizan agregados seleccionados y controlan la trabajabilidad del concreto fresco	0.07 $f_m$ (resistencia media)
<b>Bueno:</b> se controla el revenimiento, mecanizando la producción de mezclas al peso, realizan corrección de dosificaciones por la humedad, emplean agregados de calidad.	0.14 $f_m$ (resistencia media)
<b>Regular:</b> volumétricas y control frecuente de la cantidad de agua.	0.21 $f_m$ (resistencia media)
<b>Deficiente</b>	0.28 $f_m$ (resistencia media)

TABLA III. 6 Control de calidad del premezclado.

2. **Obtención de la cantidad de agua y aire atrapado.** La cantidad de agua y el porcentaje del volumen de aire atrapado que se requiere por  $m^3$  de mezcla, se encuentra en función del tamaño máximo del agregado y del revenimiento con el que se dosificará. Como se indica en la tabla III.7:



TRABAJABILIDAD	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO	CONTENIDO DE AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	% DEL CONTENIDO DE AIRE
REVENIMIENTO 3 A 5 cm	10 mm	205	3
	12.5 mm	200	2.5
	12.5 mm	185	2
	25 mm	180	1.5
	40 mm	160	1
	50 mm	155	0.5
	70 mm	145	0.3
	150 mm	125	0.2
REVENIMIENTO 8 A 10 cm	10 mm	225	3
	12.5 mm	215	2.5
	12.5 mm	200	2
	25 mm	195	1.5
	40 mm	175	1
	50 mm	170	0.5
	70 mm	160	0.3
	150 mm	140	0.2
REVENIMIENTO 12 A 18 cm	10 mm	240	3
	12.5 mm	230	2.5
	12.5 mm	210	2
	25 mm	205	1.5
	40 mm	185	1
	50 mm	180	0.5
	70 mm	170	0.3
	150 mm	140	0.2

TABLA III. 7 Cantidad de agua en función del revenimiento y el tamaño máximo del agregado

3. **Obtención de la cantidad de cemento.** Se calculará el contenido de cemento mediante el valor obtenido en la siguiente grafica de relación **agua/cemento** ingresando con resistencia media **f<sub>m</sub>** (ordenadas) trazando una línea hasta tocar la curva.

La obtención de la resistencia media **f<sub>m</sub>** se calcula sustituyendo  $\sigma$  (desviación estándar) de la siguiente fórmula:

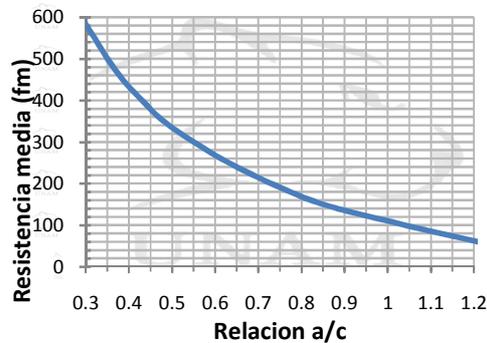
DONDE

$f^c$  = resistencia del concreto

$f_m$  = resistencia media

$\sigma$  = desviación estándar

$$f^c = f_m - 1.65 \sigma$$



**FIGURA III. 2** Grafica para obtener la relación a/c (Referencia tomada del libro Propiedades del concreto de A.M. Neville).

Una vez obtenido el valor de la grafica anterior se calcula el contenido del cemento:

DONDE

c= Cantidad de cemento, en kg.

A= Cantidad de Agua, en kg.

Relación a/c = es el valor obtenido de la grafica

$$c = \frac{a}{\text{relacion } (a/c)}$$

**4. Obtención de la cantidad de agregado grueso.** Para la obtención del volumen del agregado grueso, se deberá conocer el modulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo del agregado grueso. Y se ingresa a la tabla ubicando en el lado izquierdo el tamaño máximo del agregado y en la parte superior en la segunda fila el modulo de finura de la arena.

Tamaño máximo del agregado	Volumen de agregado grueso compactado con varilla, por volumen de concreto para módulo de finura de la arena.				
	2.40	2.60	2.80	3.00	Modulo de finura
(mm)					
10	0.50	0.48	0.46	0.44	m <sup>3</sup>
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53	m <sup>3</sup>
20	0.66	0.64	0.62	0.60	m <sup>3</sup>
25	0.71	0.69	0.67	0.65	m <sup>3</sup>
40	0.75	0.73	0.71	0.69	m <sup>3</sup>
50	0.78	0.76	0.74	0.72	m <sup>3</sup>
70	0.82	0.80	0.78	0.76	m <sup>3</sup>
150	0.87	0.85	0.83	0.81	m <sup>3</sup>

**TABLA III. 8** Volumen aparente del agregado grueso, en función del modulo de finura del agregado fino.



El volumen será la intersección de ambos y a este volumen se multiplicara por su peso específico aparente y así obtener el peso de la grava.

DONDE

$W_g$ = peso de la grava

$\gamma_m$ = peso volumétrico de la grava

$v$ = valor obtenido de la tabla.

$$W_g = v * \gamma_m$$

**5. Obtención de la cantidad de agregado fino.** Para la obtención del volumen de la arena se realizará primero el cálculo de los volúmenes efectivos del cemento, agua, grava y el aire atrapado.

DONDE

vol. efec. = volumen efectivo

$\gamma_m$ = peso volumétrico del material

$W_m$  = peso volumétrico del material

$$vol. efec = \frac{W_m}{\gamma_m}$$

Una vez obtenido cada uno de ellos se procede a lo siguiente:

$$vol. efec. arena = 1m^3 - vol. efec. cemento - vol. efec. agua - vol. efec. grava - vol. efec. aire$$

### III.2.3 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- ✓ El diseño sirve de base para iniciar pruebas de comprobación en laboratorio que permitan su ajuste.
- ✓ Este proceso de dosificación, es el más empleado en el medio, ya que es fácil de obtener.
- ✓ Para evitar errores es necesario conocer las propiedades de los agregados pétreos y evitar con ello alteraciones en la mezcla.
- ✓ Para corroborar nuestra mezcla debemos hacer pruebas tales como la prueba de revenimiento, elaboración de cilindros y resistencia a la compresión y tensión.

### III.3 PRUEBA DE REVENIMIENTO.

#### III.3.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El revenimiento es una prueba que tiene como objetivo principal el indicarnos la consistencia del concreto, y para ciertas mezclas es indicativa de la trabajabilidad. Es la primera prueba que se le practica a un concreto en estado fresco permitiéndonos realizar una evaluación rápida para la aceptación o el rechazo de la mezcla ya que en apariencia se puede observar lo siguiente:

- La relación agua-cemento
- La granulometría





del borde superior del molde, antes de concluir la penetración se agrega un poco de concreto para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.

- ✓ Concluido el llenado se enrasa el molde con la varilla mediante un movimiento de rodamiento sobre el borde superior del cono.
- ✓ Se limpia la superficie exterior de la placa de asiento e inmediatamente se levanta con cuidado el molde en dirección vertical, sin movimientos laterales o torsiones realizando esta acción en un tiempo no mayor a 5 segundos.
- ✓ Retirado el cono se coloca a un costado de la muestra, y sobre él se coloca la varilla previamente limpia de tal forma que pase por encima de la muestra de concreto.
- ✓ Se procede a medir la distancia entre la parte inferior de la varilla y el centro de la parte superior de la muestra de concreto aproximando la lectura al centímetro.

### III.3.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- Antes de comenzar la prueba, tanto la placa de apoyo como el interior del cono se deben encontrar húmedos a fin de evitar que la muestra pierda agua.
- Las muestras de concreto bajo prueba deben estar uniformemente mezclada y dentro del tiempo de aceptación del suministro el cual es de 1 hora y media según las normas, ya que después de este tiempo el concreto presenta una segregación en sus componentes.
- La placa de base debe estar perfectamente asentada en una superficie plana en donde se eviten los movimientos o posibles vibraciones.
- Si al momento de retirar el molde del espécimen presenta una inclinación es necesario realizar nuevamente la prueba tomando una nueva porción de la muestra. Cabe mencionar que si existen dos eventos en los que se manifiesten los mismos resultados, se tiene la posibilidad de que el concreto en estudio no presente el cementante necesario que permita la cohesión y plasticidad.
- En caso de que el revenimiento sea inferior al de proyecto, será considerando dentro de la tolerancia, y podrá ser aceptado si no existen dificultades para su colocación.
- En campo esta prueba en el concreto tendrá una vigencia de 30 minutos medidos a partir de que llegue a la obra.
- Las tolerancias en el revenimiento son las siguientes

Revenimiento (cm)	Tolerancia (cm)	Consistencia
Menor de 5	± 1.5	Baja
Entre 5 y 10	± 2.5	Media
Mayor de 10	Mayor de 10	Alta

TABLA III. 9 Tolerancia en el revenimiento según la norma N.CMT.2.02.005/04 de la S.C.T.



### III.3.5 FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN III.3. 1** Equipo previamente humedecido y colocado en sitio para ejecución de la prueba



**IMAGEN III.3. 2** Muestra obtenida de la entrega en sitio.



**IMAGEN III.3. 3** Llenado de la tercera capa de molde



**IMAGEN III.3. 4** Compactación mediante 25 penetraciones de la varilla punta de bala.



**IMAGEN III.3. 5** Enrasado del molde



**IMAGEN III.3. 6** Limpieza de la placa.



IMAGEN III.3. 7 Levantamiento del cono



IMAGEN III.3. 8 Obtención del revenimiento

### III.4 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.

#### III.4.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.

Para conocer el comportamiento y resistencia del concreto ante los esfuerzos de compresión, flexión y en ocasiones de tensión, se elaboran especímenes que adquirida la edad de 3, 7, y 28 días, se ensayarán bajo carga.

El objetivo es obtener una porción representativa de mezcla de concreto fresco tal y como es entregado o fabricado, mediante la elaboración de especímenes cilíndricos y rectangulares cuya finalidad será:

- ✓ Conocer la resistencia del concreto ante los esfuerzos de flexión, compresión y en ocasiones de tensión, por medio de la grafica esfuerzo-deformación.
- ✓ Obtener el modulo de elasticidad
- ✓ Obtener la relación de Poisson

#### III.4.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- ✓ Charola o recipiente de metal
- ✓ Cucharon
- ✓ Moldes cilíndricos de acero
- ✓ Moldes rectangulares de acero
- ✓ Varilla de compactación punta de bala.
- ✓ Aceite quemado o disel
- ✓ Estopa

#### III.4.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

##### III.4.3.1 DESARROLLO PARA CILINDROS DE CONCRETO.

- ✓ Se humedecerá la estopa con aceite o disel y se aplicara en el interior de los moldes cuidando de no dejar acumulaciones, posteriormente se colocarán



sobre una superficie plana, en un lugar libre de movimientos y en donde el sol no sea directo.

- ✓ Con el recipiente de metal se toma una porción de concreto para elaborar los cilindros, pudiendo utilizar la misma muestra que sirvió para la prueba del revenimiento.
- ✓ Con el cucharón se toma una porción de concreto depositándolo dentro del molde, esta capa tendrá un espesor de  $1/3$  y compactando el material con la varilla mediante 25 penetraciones distribuidas en el área del molde.
- ✓ Procediendo de la misma forma se vierte una segunda capa con la misma porción que la primera, compactándola de igual manera con 25 penetraciones, se debe tener cuidado que la varilla penetre la capa anterior aproximadamente 2 cm.
- ✓ La tercera y última capa de concreto se vierte hasta llenar el molde y se compacta de la misma forma que en el punto anterior, retirando finalmente el excedente de material, enrasando el molde pasando la varilla de compactación de manera horizontal por el borde superior.
- ✓ Se dejarán en el sitio alrededor de 24hr como mínimo, para posteriormente desmoldarlos e identificarlos.

#### **III.4.3.2 DESARROLLO PARA VIGAS DE CONCRETO.**

- ✓ Se humedecerá la estopa con aceite o diesel y se aplicará en el interior de los moldes cuidando de no dejar acumulaciones, posteriormente se colocarán sobre una superficie plana, en un lugar libre de movimientos y en donde el sol no sea directo.
- ✓ Con el recipiente de metal se toma una porción de concreto para elaborar los cilindros, pudiendo utilizar la misma muestra que sirvió para la prueba del revenimiento.
- ✓ Con el cucharón se toma una porción de concreto depositándolo  $1/2$  de esta dentro del molde y compactando el material con la varilla mediante 25 penetraciones distribuidas en el área del molde.
- ✓ Procediendo de la misma forma se vierte una segunda porción, compactando mediante 25 penetraciones de la varilla punta de bala, distribuidas uniformemente de tal forma que la varilla penetre la capa anterior aproximadamente 2 cm., retirando finalmente el excedente de material, enrasando el molde pasando la varilla de compactación de manera horizontal por el borde superior.
- ✓ Se dejarán en el sitio alrededor de 24hr como mínimo, para posteriormente desmoldar los especímenes obtenidos y realizar el curado a estos.



### III.4.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- ✓ En obra es recomendable realizar la obtención de muestras por cada día de colado, además de que en cada 20 m<sup>3</sup> suministrados se deberán realizar la obtención de muestras para el control de calidad.
- ✓ El tiempo límite para el llenado de cilindros o vigas no deberá exceder de 15 minutos.
- ✓ Los moldes deben permanecer sin movimiento por lo menos de 24hr .mientras se realiza el fraguado de la mezcla.
- ✓ Se deben dejar cubiertos durante el primer día para evitar la evaporación de agua, y con ello generar grietas que alteren los resultados de las pruebas siguientes.
- ✓ Es importante desmoldar los especímenes después de 24 horas y colocarlos en una pila de agua.
- ✓ El número de capas para llenar y compactar el molde deben estar de acuerdo con el tamaño y la forma del espécimen como se muestra en la siguiente tabla:

Número de capas requeridas para los especímenes			
Altura del Especimen (cm)	Forma de compactación	Numero de capas	Espesor aproximado de la capa (cm)
<b>CILINDROS</b>			
30	Varillado	3 iguales	10
Más de 30	Varillado	Las que se requieran	10 o fracción
De 30 a 45	Vibrado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen.
Más de 45	Vibrado	3 o más	20 o más cercano posible
<b>VIGAS</b>			
De 15 a 20	Varillado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen.
Más de 20	Varillado	3 o más	10 o fracción
De 15 a 20	Vibrado	1	Profundidad del espécimen
Más de 20	Vibrado	2 o más	20 o lo más cercano posible

**TABLA III. 10 Número de capas requeridas para los especímenes**

- En el caso de que los especímenes sean cilíndricos las penetraciones con la varilla punta de bala, variaran dependiendo del tamaño del molde.

Diámetro del cilindro (cm)	No. De penetraciones por capa
15	25
20	50
25	75

**TABLA III. 11 Número de penetraciones de la varilla para el moldeado de especímenes cilíndricos.**



### III.4.5 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



**IMAGEN III.4. 1** Toma de la porción de concreto para elaboración de las muestras



**IMAGEN III.4. 2** Se mezcla antes de depositar la primer parte a los moldes



**IMAGEN III.4. 3** Llenado de la primera capa de molde



**IMAGEN III.4. 4** Compactación mediante 25 penetraciones de la varilla punta de bala.



**IMAGEN III.4. 5** Colocación de la tercer capa del molde y su compactación.



**IMAGEN III.4. 6** Enrasado de los moldes.



IMAGEN III.4. 7 Enrasado de los moldes



IMAGEN III.4. 8 Obtención de las muestras cilíndricas de concreto

### III.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN.

#### III.5.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.

En el diseño del concreto se considera un porcentaje de aire incluido, el cual ayuda a que su comportamiento sea resistente a los daños que puede sufrir por el congelamiento y deshielo. La utilidad de un concreto con aire incluido será en la construcción de elementos en donde la temperatura sea extremadamente baja o que su condición de trabajo esté sujeta a procesos de congelación y deshielo.

El objetivo de la prueba es determinar el contenido de aire en el concreto fresco, por la observación del cambio de volumen al efectuarse un cambio de presión. La operación del equipo consiste en igualar un volumen conocido de aire con una presión conocida en una cámara de aire cerrada, con un volumen desconocido de aire en la muestra de concreto; la carátula del medidor de presión (manómetro) se calibra en términos de porcentaje de aire para la carátula del medidor de presión (manómetro) se calibra en términos de porcentaje de aire para la presión observada, la cual se iguala.

#### III.5.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- ✓ Medidor de aire incluido
- ✓ Mazo de goma
- ✓ Varilla punta de bala
- ✓ Perilla
- ✓ Cucharón
- ✓ Regla metálica

El medidor de aire tiene una capacidad 6.0 litros aproximadamente cuenta con un manómetro en el que pueda medirse los % de aire. Y para su correcto funcionamiento debe estar provista de la válvula de purga de agua, válvula de escape de aire del recipiente, válvula del escape de aire en la cámara de presión

esta válvula nos permite ajustar el manómetro y para el paso de aire de la cámara de presión al recipiente.



FIGURA III. 4 Aparato tipo Washington

### III.5.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Se humedece el recipiente en el que se tomará una porción del concreto mezclado, ya sea fabricado en laboratorio o recibido en la obra.
- ✓ Se homogeniza de tal manera que quede uniforme la mezcla de concreto.
- ✓ Se coloca el equipo de medición en una superficie plana, y previo a esto se humedece sin dejar acumulaciones de agua.
- ✓ Se procede a llenar el recipiente de metal con la muestra de concreto, realizándolo de la misma forma en la que se elaboran las muestras cilíndricas de concreto, teniendo precaución en retirar el excedente de material, y enrasar el molde pasando la regla metálica por el borde superior.
- ✓ Se limpian el recipiente principalmente el borde superior cuidando que al colocarse la cubierta, tenga un cierre hermético.
- ✓ Se cierra la válvula de aire y se abre la válvula de purga para inyectar agua.
- ✓ Se inyecta agua por la válvula de purga hasta que salga por la válvula de escape de aire, golpeando suavemente el recipiente hasta que todo el aire se expulse del mismo.
- ✓ Se cierra la válvula de purga y se bombea aire dentro de la cámara hasta que el indicador este en la posición inicial de presión.
- ✓ Se espera unos segundos hasta que se estabilice el manómetro en la presión inicial y en caso de ser necesario se purga el equipo.
- ✓ Se cierran ambas válvulas y se abre la válvula de paso de aire entre la cámara y el recipiente.
- ✓ Se golpean los lados del recipiente rápidamente para distribuir las presiones internas y se espera hasta que se estabilice el indicador.
- ✓ Se toma lectura el cual representa el contenido en % de aire contenido **(AI)**, es necesario liberar la presión abriendo, las válvulas A y B antes de quitar la cubierta.
- ✓ Se determina el factor de corrección y se obtendrá el resultado.

### III.5.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

Se calcula el contenido de aire del concreto colocado en el recipiente de medición de con la siguiente expresión:

Donde:

Ca = contenido de aire incluido

Lai = lectura del aire aparente de la muestra.

Fca = factor de corrección de los agregados

$$Ca = Lai - Fca$$

### III.5.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- **Factor de Corrección de los agregados.**

Para su determinación se colocan los agregados en distintos recipientes y por espacio de 5 min en inmersión de agua, en proporción igual de arena y grava. Se quita la espuma y se mantiene el agregado dentro del recipiente aproximadamente una hora, antes de proceder con la determinación del contenido de aire, de la misma forma en que se realiza la del concreto. El factor del agregado **FC<sub>a</sub>** es igual a la lectura del contenido de aire menos el volumen de agua eliminada del recipiente, expresada en porcentaje de volumen del recipiente.

### III.5.6 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



**IMAGEN III.5. 1** Colocación del concreto fresco tal como se realiza una muestra cilíndrica..



**IMAGEN III.5. 2** Compactación del concreto fresco tal como se realiza una muestra cilíndrica.



**IMAGEN III.5. 3** Enrase del concreto fresco tal como se realiza una muestra cilíndrica.



**IMAGEN III.5. 4** Limpieza de los bordes del molde



**IMAGEN III.5. 5** Montaje del aparato y cierre de la cubierta y se abre la válvula de purga de agua



**IMAGEN III.5. 6** Inyección de agua, y golpeteo del recipiente de manera suave



**IMAGEN III.5. 7** Se abre la válvula y se golpean los lados para liberar las presiones y estabilizar el indicador



**IMAGEN III.5. 8** Se toma la lectura obtenida



## III.6 DETERMINACIÓN DEL SANGRADO EN EL CONCRETO.

### III.6.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El sangrado es una forma de segregación en la cual una parte del agua mezclada tiende a elevarse a la superficie de un concreto recién colado. Y se debe a que los agregados de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan. La pérdida de agua provoca que el concreto no sea tan resistente y durable.

El objetivo principal de la prueba es obtener las cantidades relativas de agua que se liberaran de una muestra de concreto fresco bajo las condiciones de ensaye.

### III.6.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| ✓ Recipiente de metal                   | ✓ Pipeta                         |
| ✓ Bascula                               | ✓ Recipiente de cristal graduado |
| ✓ Varilla de compactación punta de bala | ✓ Charola                        |
| ✓ Cucharon                              | ✓ Molde para la muestra          |

### III.6.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- ✓ Previo a iniciar la prueba se deberá pesar el recipiente de metal con la báscula registrando este dato.
- ✓ Se humedece el recipiente en el que se tomara una porción del concreto mezclado, ya sea fabricado en laboratorio o recibido en la obra.
- ✓ Se coloca el equipo de medición en una superficie plana, y previo a esto se humedece sin dejar acumulaciones de agua.
- ✓ Se procede a llenar el recipiente depositando la muestra de concreto realizando el procedimiento de elaboración especímenes de concreto para muestras cilíndricas, enrasando el molde y limpiando la parte superior.
- ✓ Después de lleno el molde se pesará la muestra con la báscula registrando el peso y la hora.
- ✓ Se colocará el espécimen sobre una superficie lisa, protegiendo el contenido del recipiente cubriendo la superficie adecuadamente para evitar la pérdida del agua.
- ✓ Debido a que el concreto liberará una cantidad de agua conforme sufre el proceso de endurecimiento, por lo cual durante los primeros 40 min después de la hora registrada se deberá recolectar el agua de la superficie de la muestra con la ayuda de la pipeta, y depositándola en el recipiente de cristal graduado en intervalos de 10 min y posteriormente se extraerá el agua en intervalos de 30 minutos hasta que el sangrado termine.
- ✓ En cada extracción se debe depositar el agua en el recipiente de cristal graduado. Registrando la cantidad de agua acumulada y el intervalo de tiempo.



- ✓ Con los registros obtenidos se calcula el volumen por área y el porcentaje del sangrado.

### III.6.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

Para obtener el volumen del agua de “sangrado” por la unidad de área de la superficie, se emplea la siguiente expresión:

Donde:

Volumen de sangrado

$V_o$  = Volumen obtenido de la prueba ( $\text{cm}^3$ )

$A_e$  = Área de la superficie del espécimen.  
( $\text{cm}^2$ )

$$\text{Volumen de sangrado} = \frac{V_o}{A_e}$$

Y la obtención del porcentaje del agua en el espécimen de ensaye será:

Donde:

$A_c$  = Superficie de la cara superior del concreto ( $\text{cm}^2$ )

$C$  = peso del agua por sangrado acumulado hasta la última medición.

Calculo para determinar el valor del peso del agua por sangrado final.

Donde:

$C$  = peso del agua por sangrado acumulado hasta la última medición

$W$  = Peso del concreto por  $\text{m}^3$  en kg

$w$  = peso del agua que contiene el concreto por  $\text{m}^3$  en kg

$W_e$  = Peso de la muestra en kg.

$$\text{Tasa de sangrado} = \frac{A_c}{C} * 100$$

$$C = \frac{w}{W} * W_e$$

### III.6.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- ✓ Para facilitar la extracción del agua de sangrado, se recomienda inclinar el espécimen cuidadosamente colocando un bloque de aproximadamente 5 cm (2") de espesor bajo un costado del recipiente 2 minutos antes de que se saque el agua. Volviendo a colocar el recipiente a su posición original cuidando de no golpearlo.
- ✓ Con respecto al tiempo podrá compararse la velocidad de sangrado, ya que en cada periodo de registro se obtiene el volumen desplazado.
- ✓ Es importante mantener la, muestra a una temperatura que oscile entre los 18 y 24°C.
- ✓ El volumen de sangrado difiere según los agregados empleados así como la dosificación de los elementos que lo conforman.



- ✓ Al realizar el enrasado de la muestra se debe tener cuidado de hacerlo con el mínimo de movimientos, para evitar la pérdida de agua y modificar los resultados de la muestra.

### III.7 CURADO DE ESPECÍMENES

#### III.7.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.

Debido a la reacción del cemento con el agua se genera la liberación de calor y con ello la evaporación de agua, este efecto provoca una contracción en el concreto, teniendo como resultado esfuerzos de tensión en la superficie que se seca. Si el concreto alcanza su resistencia pueden surgir grietas, siendo necesario que durante su fraguado se mantenga húmedo y en algunos casos con una temperatura favorable. A este proceso se le conoce curado o curación y se pueden realizar de varias formas:

- ✓ Incrementando la humedad en la superficie al inicio del endurecimiento, por medio de inundaciones, riego o uso de cubiertas mojadas.
- ✓ Evitar la pérdida de humedad cubriendo la superficie herméticamente, con la ayuda de plásticos, compuestos líquidos que forman membranas.
- ✓ Acelerar el endurecimiento con la aplicación de calor y humedad.

El objetivo es mantener en un ambiente húmedo y con una temperatura que favorezca la hidratación del concreto para lograr lo siguiente:

- Alcance las características y resistencia de diseño.
- Se minimice la fisuración, agrietamiento.
- Y ayudar a disminuir las características de desgaste y extiende la vida útil.

#### III.7.2 EQUIPO Y MATERIALES

##### Curado inicial.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| ✓ Yute o Plástico | ✓ Cajón de madera |
| ✓ Agua            | ✓ Arena           |

##### Curado Laboratorio.

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| ✓ Cuarto de curado | ✓ Pila de agua con cal |
| ✓ Agua             |                        |

#### III.7.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

##### Curado Inicial (Curado en Campo)



1. Los especímenes elaborados en campo se desmoldan a las 24hr de haber sido elaborados.

2. Por lo que se deben mantener húmedos para no alterar dichas muestras, utilizando diversos métodos de curado, hasta su traslado al laboratorio. Tales como:

- Almacenamiento de los especímenes en cajas de madera herméticamente cerradas,
- Colocación de las muestras en pozos con arena húmeda.
- Cubiertas de yute húmedos en climas favorables, o en bolsas de plástico cerrados.

#### Curado en Laboratorio

1. Al llegar los especímenes al laboratorio se almacenan de inmediato en una condición húmeda, a la temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta el momento de la prueba ya sea en la pila de agua o en el cuarto de curado.

### III.7.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- Los especímenes no deben exponerse al goteo o corrientes de agua ya que se altera su estructura original perdiendo resistencia.
- En las vigas, se debe prevenir el secado de la superficie del espécimen, entre el momento del retiro de su curado hasta que se termine la prueba, ya que al secarse la muestra se provocan esfuerzos de tensión en las fibras externas, que marcadamente reducen la resistencia.
- Se debe considerar las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, el viento, y climas extremos que aceleren la pérdida de humedad e incrementando las posibilidades de fisuras y fracturas en el concreto.
- Las temperaturas bajas retrasan el proceso de endurecimiento, haciendo que se produzca un congelamiento y deshielo que pueden provocar daños, como medidas para evitar los daños, se pueden calentar el agua y los aditivos previo al realizar la mezcla evitando que se produzca una fijación instantánea, se le puede aplicar calor a la estructura colada, se puede colocar aditivos que ayuden a evitar este problema. Además de que se puede acelerar el proceso de curado e incrementar la resistencia del concreto.

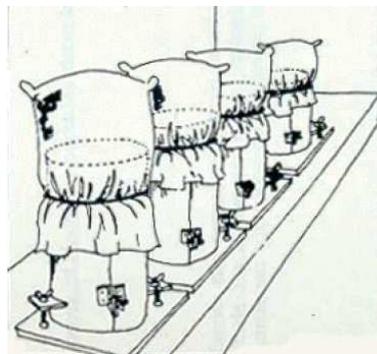
Procedimiento	Moldes	Medio de curado acelerado	Temperatura de curado acelerado $^\circ\text{C}$	Edad a la que comienza el curado	Duración del curado acelerado	Edad al momento de la prueba
Agua caliente	Reutilizables o para usarse una sola vez.	Agua	$35^\circ\text{C}$	Inmediatamente después de colar	$23.5\text{hr} \pm 30\text{ min}$	$24\text{hr} \pm 30\text{ min}$
Agua en ebullición	Reutilizables o para usarse una sola vez.	Agua	Uno o dos grados debajo de la temperatura de ebullición.	$23\text{h} \pm 15\text{ min}$ después de colar.	$3.5\text{hr} \pm 5\text{ min}$	$28.5\text{hr} \pm 15\text{ min}$

Autógeno	Para usarse una sola vez.	Calor de Hidratación.	Temp inicial del concreto incrementada por el calor de hidratación.	Inmediatamente después de colar	48hr $\pm$ 15 min	49hr $\pm$ 15 min
----------	---------------------------	-----------------------	---	---------------------------------	-------------------	-------------------

**TABLA III. 12 Procesos para el curado acelerado.**

Las temperaturas altas aceleran el fraguado del concreto, y con ello la pérdida excesiva de agua por evaporación, dejando una cantidad de agua insuficiente para la correcta hidratación del concreto.

- Se producen cambios volumétricos en el concreto, ya que tiende a encogerse cuando se evapora el agua y se dilata a medida que aumenta el contenido de humedad, experimentando una dilatación térmica con el aumento de la temperatura, en obra se puede resolver este problema utilizando juntas de expansión.
- En la obra el curado de las estructuras que se cuelean se protegen para que alcancen su resistencia, realizando el curado con la ayuda de los compuestos líquidos que forman una membrana que impiden la evaporación del agua y pueden ser: claros o traslucidos, con pigmentos blancos, gris y negro. Y se aplican normalmente a una sola mano con una escoba, brocha o por aspersión.



**FIGURA III. 5 Curado de inicio realizado comúnmente en campo.**

### **III.8 CABECEO DE ESPÉCIMEN**

#### **III.8.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.**

Para realizar el ensaye de las muestras obtenidas con la elaboración de especímenes, deben tener la una superficie plana de tal manera que al aplicar la carga los resultados no se vean alterados por alguna inclinación. El cabeceo consiste prácticamente en proporcionarle a las muestras la superficie correcta para la aplicación de carga.



El objetivo es poder darle a las bases de los especímenes una textura lisa y completamente nivelada para:

- No generar un error en el ensayo de las muestras.
- Y la alteración de los resultados de resistencia.

### III.8.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| ✓ | Dispositivo de alineamiento                    | ✓ | Fuente de calor                         |
| ✓ | Placas Cabeceadoras                            | ✓ | Instrumento para agitar                 |
| ✓ | Enrasador                                      | ✓ | Soporte para el recipiente de fundición |
| ✓ | Recipiente para fundir el mortero de azufre    | ✓ | Regla rígida de bordes rectos           |
| ✓ | Campana para extracción de gases ó ventilación | ✓ | Cemento                                 |
| ✓ | Mortero de azufre                              |   |   |

### III.8.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

#### Cabeceo con Cemento Portland (En campo)

1. Se elabora con una mezcla con agua y -cemento (lechada).
2. Se retira el agua de sangrado antes de aplicar la pasta de cemento.
3. Se coloca la pasta haciendo capas tan delgadas como sea posible. Dichas capas se aplicaran sobre el extremo expuesto entre 2 y 4 h después de la elaboración de las muestras.
4. Se enrasa colocando la placa cabeceadora aproximadamente 30 min después de su aplicación.
5. Una vez retirada la placa, se debe cubrir con un paño húmedo para evitar el secado.
6. La otra forma se realiza al elaborar los especímenes de concreto, con el enrasador se da la textura lisa en la superficie.

#### Cabeceo con Mortero de Azufre (En laboratorio)

1. Se retiran los especímenes de la pileta o del cuarto de curado y cubriéndolos con una franela mojada antes y después del cabeceo, para evitar que pierdan agua, hasta el inicio de la prueba.
2. Se medirá la altura del espécimen y se verificara tomando otra opuesta a esta . De igual se medirá el diámetro del espécimen, tomando la segunda medida en forma perpendicular a la primera.
3. Se deposita mortero de azufre en el recipiente y se coloca en el fuego hasta que tenga una temperatura de  $140 \pm 10^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, se recomienda



colocar la cantidad de azufre necesaria para los especímenes por cabecear. Ya que cada vez que se llena se debe eliminar el material sobrante.

4. Se montará en la mesa o superficie plana el equipo de cabeceo alineando las barras con las placas cabeceadoras, se recomienda calentarlos ligeramente antes de ser empleados para disminuir la velocidad de enfriamiento y permitir la formación de capas delgadas.
5. Una vez caliente el azufre con un recipiente se vierte una cantidad suficiente sobre las placas, y se coloca inmediatamente el cilindro de concreto. Para asegurar que la capa se ha adherido a la superficie del espécimen, la base de este debe estar libre de aceite o cualquier elemento que lo impida.
6. Se retira el cilindro una vez frío el azufre y se repite la operación para la otra cara del espécimen.

#### **III.8.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.**

- ✓ En la obra al realizar el cabeceo con cemento es necesario tener cuidado en hacerlo antes de que el concreto fragüe ,ya que los especímenes de concreto absorben agua de la pasta de cemento y no puede lograrse la adherencia entre ellas, además de que se corre el riesgo de que haya presencia de grietas.
- ✓ El mortero de azufre debe estar completamente seco, así como el molde para fundirlo, ya que de contener agua se produce espuma, que pueden provocar oquedades al realizar el cabeceo.
- ✓ Para evitar que el mortero de azufre pierda la resistencia y fluidez se recomienda utilizar el material como máximo de 10 veces
- ✓ Para evitar que las muestras queden inservibles se debe cuidar lo siguiente:
  - Al transportar los especímenes de la obra al laboratorio se evitará que las muestras no se golpeen o dañen por medio de una caja de transporte o contención.
  - En caso de trasladar muestras de concreto fresco se deberá efectuar de manera en que no se derramen los moldes, debido a las vibraciones de igual manera se evitará la segregación del concreto,
  - No se deberán estibar las muestras, para evitar daños considerables.



### III.8.5 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



IMAGEN III.8 1 Colocación del cilindro sobre la placa cabeceadora



IMAGEN III.8 2 Colocación de azufre liquido en la placa de cabeceo



IMAGEN III.8 3 Colocación y alineación de la muestra cilíndrica sobre la placa cabeceadora



IMAGEN III.8 4 Verificación del secado del azufre.



IMAGEN III.8 5 Desmolde del cilindro.

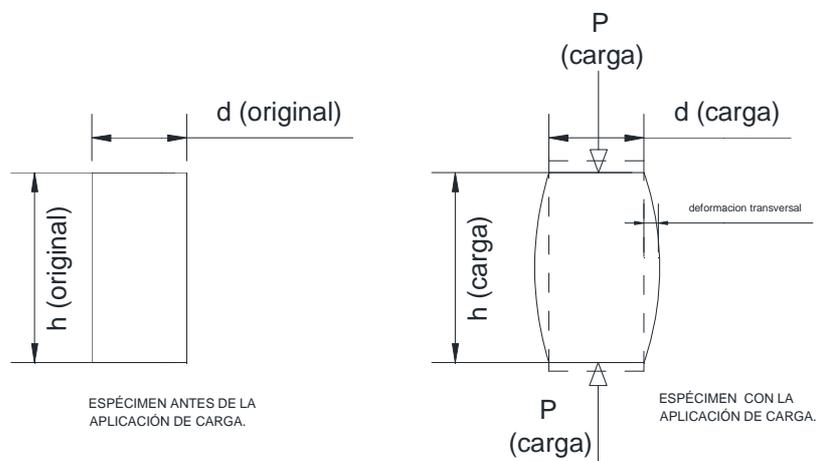


IMAGEN III.8 6 Cilindro cabeceado.

## III.9 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.

### III.9.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.

La resistencia del concreto es un requisito fundamental para el soporte de las cargas y durabilidad. El concreto resiste ampliamente los esfuerzos de compresión, para la obtención de este dato a los especímenes se les aplica una carga axial con una velocidad constante, hasta llegar a la falla del elemento.



**FIGURA III. 6 Cilindro de concreto sometido a compresión axial.**

Con el ensayo se obtienen los esfuerzos y las deformaciones, graficando estos datos nos permiten analizar el comportamiento debido a la carga y la descarga. El concreto no es un material elástico por lo que conserva una deformación permanente.

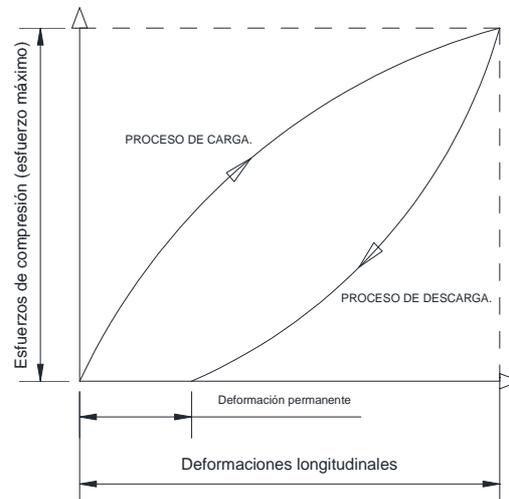


FIGURA III. 7 Gráfica esfuerzo-deformación del concreto a compresión.

Al llevar la muestra ensayada a la ruptura las deformaciones del concreto tienden a incrementarse más que los esfuerzos aplicados, en la grafica esfuerzo-deformación se pueden observar cuatro etapas del crecimiento y propagación de las grietas.

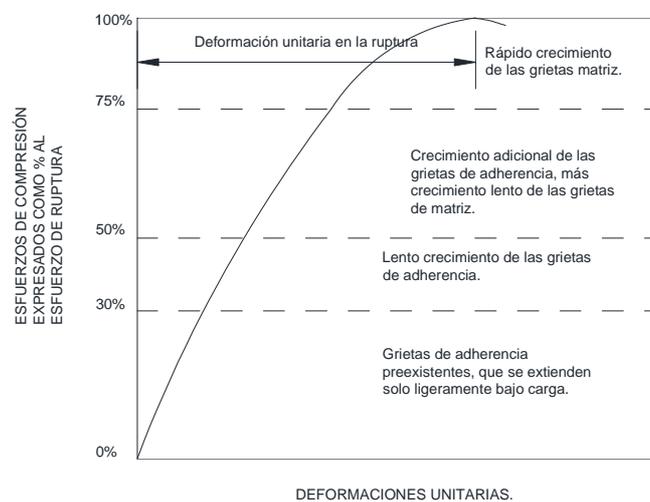


FIGURA III. 8 Curva Esfuerzo- Deformación del concreto y evolución de las grietas.

El objetivo principal de la prueba es comprobar la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto sometiéndolos a una carga axial, calculando los esfuerzos de dividir la carga de ruptura entre el área de la sección, con los datos recabados durante el proceso de la prueba se realizarán los cálculos graficando



los esfuerzos en las ordenadas y las deformaciones en las abscisas, con ellos podremos comprobar y conocer lo siguiente:

- ✓ Verificar la resistencia del concreto
- ✓ Analizar el comportamiento ante la carga aplicada
- ✓ La obtención de otros datos importantes como el modulo de elasticidad (E)
- ✓ Conocer la relación de Poisson.

### III.9.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| ✓ Máquina para prueba        | ✓ Dispositivo de lectura de carga |
| ✓ El apoyo inferior          | ✓ Micrómetro                      |
| ✓ La placa superior de carga | ✓ Flexómetro                      |
| ✓ Cronometro                 |                                   |

### III.9.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

1. Previo al ensaye se debe realizar el cabeceo de los especímenes para lograr la distribución de la carga uniformemente en los cilindros de concreto y evitar alteraciones en los resultados, siendo recomendable realizarlo con 2 horas de anticipación, aunque es recomendable que sea un día antes.
2. Se medirá la altura del espécimen y se verificara tomando otra opuesta a esta de igual se medirá el diámetro del espécimen, tomando la segunda medida en forma perpendicular a la primera y se registraran los datos.
3. Se limpian las superficies de las placas superior e inferior de la prensa y los extremos de los especímenes de prueba. Cabe mencionar que la maquina debe tener como una capacidad de 122'000 kg., además de contar con sistema de control de velocidad., verificando que cumpla con las especificaciones que marca la norma vigente.
4. Se colocará el espécimen en la maquina sobre las placas para posteriormente comenzar con la aplicación de la carga.
5. Una vez colocado el espécimen en la maquina se comienza con la aplicación de carga con una velocidad que no sea superior a 3.5 kg/cm<sup>2</sup>/seg en forma uniforme y continua.
6. Se aplican las cargas en un tiempo igual o mayor que 1.7 min, hasta alcanzar la máxima permisible haciendo los registros correspondientes.
7. En caso de ser necesario, se podrá llevar hasta la ruptura a fin de observar el tipo de falla y apariencia del concreto.

### III.9.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

Se calcula y se reporta la resistencia a compresión simple soportada por el espécimen, utilizando la siguiente expresión:

Donde:

$\sigma_c = \frac{P}{A}$



Rc = resistencia a la compresión simple  
A= área de la sección transversal del espécimen  
P= carga máxima registrada.

### III.9.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- No se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba por eso se recomienda mantener su humedad envolviéndolo en una franela húmeda.
- La resistencia de los especímenes de concreto se determina por su edad, por lo que se deberá tener como tolerancia para su ensayo  $\pm 12$  horas para 14 días de edad y  $\pm 24$  horas a los 28 días de edad.
- La maquina se debe calibrar antes de ser utilizada, en el caso de que en el laboratorio utilice con frecuencia la máquina para este tipo de ensayos se debe calibrar cada 2, 000 pruebas.
- .Debido a que la altura promedio del espécimen es menor que 1.75 veces el diámetro, y el resultado de la resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo con lo siguiente:

Relación altura/diámetro del espécimen	Factor de corrección la resistencia
2.0	1.00
1.75	0.99
1.5	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

TABLA III. 13 Factor de corrección por esbeltez de las muestras.

- Se efectuará la realización de dos pruebas con 2 especímenes, elaboradas con la misma muestra de concreto y edad. Promediando el resultado de entre ambas para obtener el resultado final, el promedio deberá oscilar entre el. 2 a 3 % aproximadamente de la resistencia Cabe mencionar que si la diferencia sobrepasa del 8%, o el 9.5% se realizará el ensaye de un tercer espécimen con las mismas características para evaluar y rectificar los procedimientos de ensayo en el laboratorio.
- En el caso de que las pruebas sean realizadas por diferentes laboratorios las diferencias en los resultados no deberán ser mayores al 13%.
- Si al ensayarse los especímenes 1 o 2 de cilindros se fracturan a una resistencia menor que la de diseño se evalúa los posibles problemas para lo cual no se desechan.
- . Al observar la fractura de la muestra se pueden detectar las fallas al realizarla, tales como: el mal cabeceo, la incorrecta aplicación de la carga o el mal montaje del cilindro en el equipo.
- En la elaboración de cilindros se realizan tres especímenes y un cuarto que servirá como testigo. que ayudara a la verificación de los datos en la prueba.
- Una prueba a los 3 o 7 días puede ayudar a detectar problemas potenciales relacionados con la calidad del concreto o con los procedimientos de las pruebas en el laboratorio.

- La falla de un espécimen de concreto en donde se aplico la carga debidamente será en forma de reloj de arena como se muestra en la siguiente figura.



Esta falla se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.

**FIGURA III. 9** Falla de los cilindros de concreto.

### III.9.5 FOTOGRAFÍAS DE PRUEBA.



**IMAGEN I.9. 11** Colocación de la muestra en la máquina.



**IMAGEN I.9. 12** Comienzo de la aplicación de carga



**IMAGEN I.9. 13** Carga máxima



**IMAGEN I.9. 14** Fractura del espécimen



IMAGEN III.9 1 Colapso del espécimen



IMAGEN III.9 2 Retiro del espécimen de la maquina

### III.10 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON.

#### III.10.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.

En los ensayos de los cilindro sometidos a compresión, se miden las deformaciones longitudinales que se utilizan para determinar el modulo de elasticidad y deformaciones transversales se aplican al cálculo de la relación de Poisson.

##### III.10.1.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial, al estar sometido el concreto esfuerzo de compresión del comportamiento elástico. Es la pendiente de la secante definida por dos puntos de curva del esfuerzo – deformación, dentro de esta zona elástica.

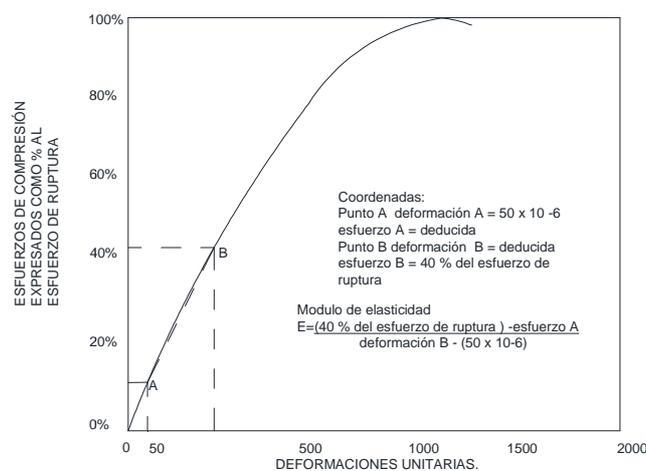


FIGURA III. 10 Modulo de elasticidad en el concreto.



### III.10.1.2 RELACIÓN DE POISSON.

Cuando se somete un espécimen a una carga axial se produce una distribución de esfuerzos sobre su sección transversal deformando simultáneamente al espécimen en forma longitudinal y transversal. La porción en que se deforma transversalmente con respecto a lo que se deforma longitudinalmente se conoce como Relación de Poisson,

Donde:

$\mu$  = relación de Poisson

$\epsilon_B$  = Deformación longitudinal producida al 40% del esfuerzo de ruptura

$\epsilon_{tA}$  = Deformación transversal producida al 0.00005

$\epsilon_{tB}$  = Deformación transversal producida al 40% del esfuerzo de ruptura.

$$\mu = \frac{\epsilon_{tB} - \epsilon_{tA}}{\epsilon_B - 0.000050}$$

El objetivo es determinar el módulo de elasticidad (Modulo de Young) y la relación de Poisson, en un espécimen cilíndrico de concreto, sometiéndolo a esfuerzos de compresión longitudinal.

### III.10.2 EQUIPO Y MATERIALES

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| ✓ Máquina para prueba        | ✓ Dispositivo de lectura de carga |
| ✓ El apoyo inferior          | ✓ Micrómetro                      |
| ✓ La placa superior de carga | ✓ Flexómetro                      |
| ✓ Cronometro                 |                                   |

### III.10.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

1. Se colocará el equipo de medición en el espécimen, teniendo precaución que los anillos queden en la parte central en forma fija, junto con los anillos de punta, para evitar deslizamientos.
2. Verificar que los micrómetros queden perfectamente verticales y paralelos al eje longitudinal del espécimen, asegurándose que el micrómetro funcione correctamente.
3. Se retiran cuidadosamente las barras que separan los anillos, y verificando que los micrómetros no registren movimientos importantes, ya que al haber registro será un indicativo que los anillos no se fijaron adecuadamente, y deberá desarmar y montar nuevamente.
4. Se coloca el espécimen con el equipo de deformación sobre la base de la maquina, centrándolo adecuadamente.
5. Se coloca la caratula de los micrómetros en cero (0.0)
6. Se aplica la primer precarga de 10 al 15% del promedio de la resistencia de ruptura obtenida conforme a los resultados de los ensayos a compresión.



7. Se aplica una segunda precarga hasta el mismo nivel que la anterior, registrando la carga y deformación cada tonelada hasta llegar a la quinta, después será a cada 5 t. Se retira la carga y se observa si las agujas de los micrómetros regresaron a 0.0 y si la deformación leída en ellos es similar, en caso contrario se deben ajustar hasta lograrlo.
8. Una vez que se logro el paso anterior se procede a la aplicación de la carga, registrando las deformaciones cada tonelada hasta una carga de 5 a una velocidad de 1 min. En caso de que se pueda tomar en las 2 t, se registran las deformaciones cada 0.5t, de no ser así, las lecturas deben registrarse cada tonelada hasta 5.
9. Después de las 5 toneladas, las deformaciones se registraran cada 5 toneladas a un tiempo de 20 seg, hasta llegar al 60% del esfuerzo máximo obtenido en los ensayos de a compresión.
10. Al llegar al 60% del esfuerzo máximo, es importante reducir la velocidad de aplicación de la carga para permitir que se aflojen los tornillos que fijan los anillos y micrómetros para evitar el posible daño a el equipo.
11. Una vez retirado el equipo se proseguirá con la aplicación de carga hasta llegar a la carga máxima o falla del espécimen.

**Es importante que para determinar la relación de Poisson, se deben registrar la deformación transversal en los mismos puntos en que se registra la deformación longitudinal.**

### III.10.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

#### Modulo de Elasticidad.

- a) Para el procedimiento de cálculo de los esfuerzos se deben tener los datos registrados durante la ejecución de la prueba.:
  - Diámetro del espécimen.
  - Altura del espécimen.
  - Cargas aplicadas
  - Lecturas de deformación
- b) Con los datos anteriores se traza la curva Esfuerzo-Deformación.
- c) Se determina el primer esfuerzo ( $\sigma_1$ ) en  $\text{kg/cm}^2$  el cual corresponde a la deformación unitaria ( $\epsilon_1$ ) de 0.000050.
- d) Se determinar el segundo esfuerzo ( $\sigma_2$ ) el cual será el 40% el esfuerzo máximo y con esto determinar la deformación unitaria " $\epsilon_2$ ", .
- e) Se procede a calcular el modulo de elasticidad empleando la formula siguiente:

Donde:

E=Modulo de elasticidad

$\sigma_2$  = esfuerzo longitudinal producida al 40% del esfuerzo de ruptura

$\sigma_1$  = esfuerzo producida al 0.00005 de la

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$



deformación.

$\varepsilon_2$  = Deformación longitudinal producida al 40% del esfuerzo de ruptura.

### Relación de Poisson.

Calcular la relación de Poisson se procede con la fórmula siguiente:

Donde:

$\mu$  = relación de Poisson

$\varepsilon_B$  = Deformación longitudinal producida al 40% del esfuerzo de ruptura

$\varepsilon_{tA}$  = Deformación transversal producida al 0.00005

$\varepsilon_{tB}$  = Deformación transversal producida al 40% del esfuerzo de ruptura.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{tB} - \varepsilon_{tA}}{\varepsilon_B - 0.000050}$$

### III.10.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- Cabe señalar que para esta prueba es necesario que se realice la compresión a dos cilindros para la obtención del esfuerzo máximo.
- Los micrómetros deberán estar en buen estado y calibrados.
- Los anillos rígidos, se colocaran en forma separada que permitan centrarlos perfectamente al espécimen permitiendo la sujeción de los micrómetros empleados para registrar las deformaciones longitudinales.
- Para tomar las lecturas de la deformación y obtener la Relación de Poisson, se coloca un tercer anillo en la parte central a la mitad de los anillos del dispositivo (dos anillos y un micrómetro). Este se sujeta al espécimen en dos puntos diametralmente opuestos y deben tener elementos que permitan la colocación del segundo micrómetro para leer la deformación transversal.

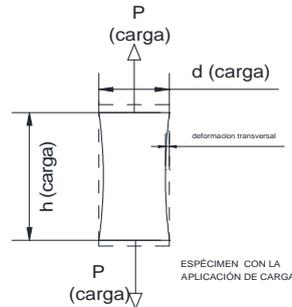
## III.11 RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.

### III.11.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA.

La tensión es una fuerza externa que aplicada a un cuerpo nos permite conocer su elasticidad, el concreto no es un material ampliamente elástico.

Esta prueba se puede realizar de tres formas, dependiendo de la aplicación de la fuerza de tensión.

**Tensión Directa.-** En esta se aplica la carga axial al espécimen cilíndrico o prismático.



**FIGURA III. 11 Tensión directa aplicada a un espécimen de concreto.**

Donde:

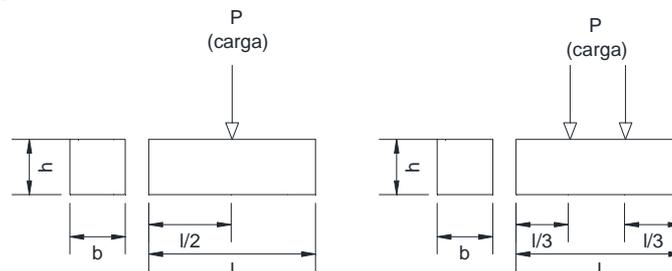
$f_t$ =fuerza de tensión

$P$  = carga aplicada

$A$ = área del espécimen

$$f_t = \frac{P}{A}$$

**Tensión Indirecta en prismáticos.-** Este ensaye se realiza en vigas de concreto, sujetos a una fuerza de compresión aplicada en el centro del claro o bien pueden ser dos cargas iguales ubicadas en los tercios del claro.



**FIGURA III. 12 Tensión indirecta en prismas de concreto.**

Donde:

$f_t$ =fuerza de tensión

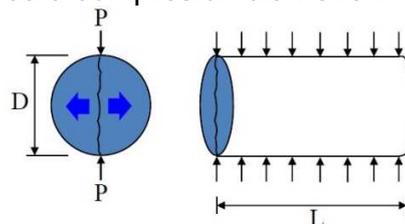
$P$  = carga aplicada

$h$ =longitud del espécimen

$b$  = base del espécimen

$$f_t = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

**Tensión Indirecta en cilindros.-** Este ensaye se realiza en cilindros de concreto, sujetos a una fuerza aplicada a compresión diametral.



**FIGURA III. 13 Tensión indirecta en cilindros de concreto.**



Donde:

$f_t$  = fuerza de tensión

P = carga aplicada

l = longitud del espécimen

d = diámetro del espécimen

$$f_t = \frac{2P}{\pi ld}$$

El objetivo principal de la prueba es obtener la resistencia a la tensión de los especímenes cilíndricos de concreto, y valorar las propiedades y su durabilidad.

### III.11.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| ✓ Máquina para prueba                     | ✓ Dispositivo de lectura de carga |
| ✓ El apoyo inferior                       | ✓ Micrómetro                      |
| ✓ La placa superior de carga              | ✓ Flexómetro                      |
| ✓ Barras para distribución de las cargas. |                                   |

### III.11.3 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

1. Se limpian las superficies de las placas superior e inferior de la prensa y los extremos de los especímenes de prueba.
2. En cada extremo del espécimen se dibuja una línea diametral que sirva como referencia, verificando que las líneas coincidan.
3. Se colocan las tiras de carga de forma opuesta en la longitud del espécimen alineadas con las marcas de los extremos y centrando una de las tiras sobre la base de la maquina, para la colocación del cilindro en posición horizontal y la segunda tira queda sobre este.
4. Se verifica que todo el conjunto, una vez ensamblado, cumpla con los requisitos de alineamiento.
5. Después de montado el espécimen se aplicara la carga verificando que esta sea en forma continua y con una velocidad constante, la carga aplicada sobre el área nos arroja esfuerzos de tensión por compresión diametral de 490 a 1475 kPa/min (5 a 15 kg/cm<sup>2</sup>/min), hasta la falla del espécimen. Para cilindros de 15 x 30 cm el rango de esfuerzos de tensión es de aproximadamente 4.90 a 15 kg/cm<sup>2</sup>/min, conforme a la norma S.C.T. M.MMP.2.02.059.04
7. Se registra la carga máxima aplicada (P), indicada por la máquina de prueba en el momento de la falla, observando y registrando el tipo de falla y apariencia del concreto.

### III.11.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA.

Se calcula y se reporta la resistencia a la tensión por compresión diametral de los especímenes, utilizando la siguiente expresión:

Donde:

$f_t$  = fuerza de tensión

P = carga aplicada (kg)

$$f_t = \frac{2P}{\pi ld}$$

$l$  = longitud del espécimen  
 $d$  = diámetro del espécimen

### III.11.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- El cabeceo con azufre se debe aplicar como mínimo 2 horas antes y preferiblemente un día antes de la prueba.
- No se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.
- Se obtiene el diámetro promedio a partir de la medición del diámetro superior inferior y central del cilindro.
- Se determina la longitud  $l$  del espécimen por la medición de por lo menos dos medidas tomadas en el plano, que contienen las líneas marcadas en los extremos.
- Es importante que no se reacomode o mueva el espécimen después de haber iniciado la aplicación de la carga.

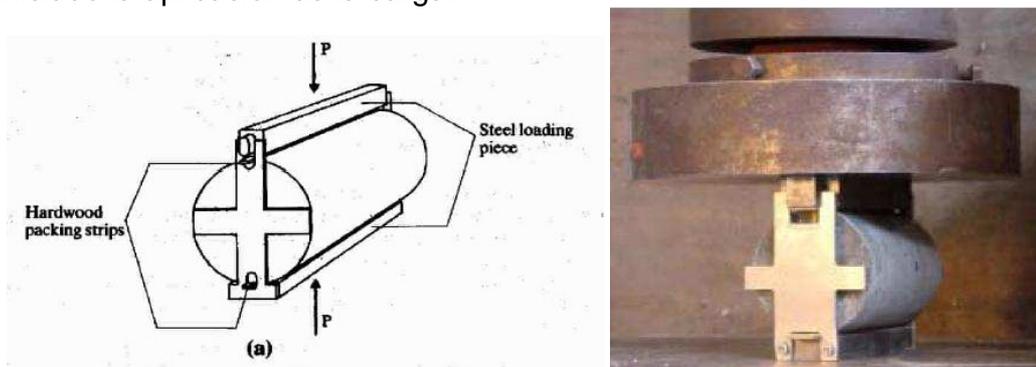


FIGURA III. 14 Cilindro sujeto a la prueba de tensión.

## III.12 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN EL CONCRETO

### III.12.1 DESCRIPCIÓN.

Existen pruebas que permiten evaluar las condiciones del concreto sin llegar a afectar su funcionamiento estructural y se realizan de manera simple, rápida y con la posibilidad de realizar el mismo método numerosas veces.

### III.12.2 TIPO DE PRUEBAS

Las pruebas que se obtienen dependiendo de la aplicación, teniendo conocimiento de ellas para así saber diferenciar e identificar en donde se pueden aplicar.



En la obra se emplean este tipo de pruebas para la evaluación del control de calidad en obras nuevas, para la evaluación de estructuras ya existentes o viejas y para verificación de la resistencia final de las estructuras.

Las pruebas no destructivas se han clasificado de la siguiente manera:

Tipo de Prueba	Características	Equipo
Inspección Visual.	Estas se realizan por medio de personal con experiencia y amplios conocimientos en materiales e ingeniería estructural.	No requiere equipo
Medición de grietas	Es un complemento de la inspección visual además de se idéntica mejor las zonas problemáticas.	Aparto que permite medir el espesor y profundidad. Además de la colocación de testigos.
Esclerómetro o martillo de rebote	Es un aparato que por medio de un pistón, realiza un rebote que se mide y permite calcular la resistencia del concreto.	Esclerómetro o martillo de rebote
Velocidad de transmisión de ultrasonido	Consiste en medir la velocidad de una onda de ultrasonido a través de una masa de concreto.	Ultrasonido
Prueba de rayos x	Sirve para la detección y ubicación de acero así como la determinación de las dimensiones de este	Máquina de Rayos X
Extracción de corazones	Es la obtención de pequeñas porciones cilíndricas de la estructura que se ensayan posteriormente a compresión o tensión según se requiera	Extractor de corazones.

**TABLA III. 14 Pruebas no destructivas en el concreto**

### III.12.3 PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO.

En obra es una de las pruebas que más se utiliza ya que no es difícil el manejo del martillo, además de que resulta económica y permite corroborar los resultados de resistencia.

1. Se determina la zona en donde se realizara la prueba, identificando los cadenamientos, la estructura y la resistencia del concreto.
2. Se limpia la zona perfectamente para evitar que se afecte el rebote del martillo y con ello alterar los resultados obtenidos.
3. El martillo debe estar calibrado y listo para utilizarse. Una vez realizado esto se colocara el martillo en la posición que se requiera esta se encuentra en función de la estructura.
4. Se libera el pistón que se ubica dentro del equipo el cual genera el rebote, una vez hecho esto se toma la lectura la cual nos indica la resistencia
5. Se realiza este proceso las veces que se crea necesario.
6. Se registran los datos obtenidos

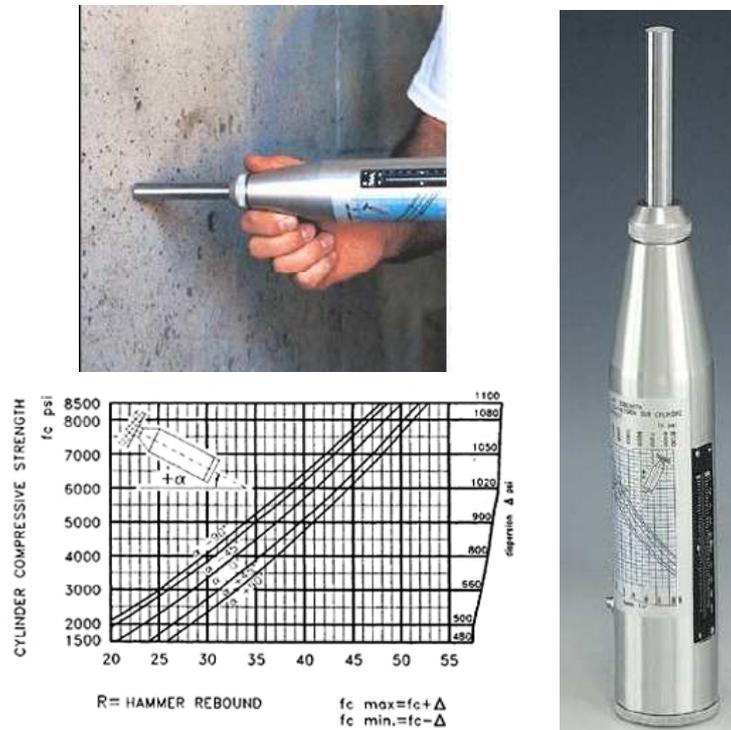


IMAGEN III .12 1 Esclerómetro y aplicación.

### III.12.4 PRUEBA DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.

Con esta prueba se puede determinar el grado de homogeneidad, la presencia de fisuras, los huecos, los cambios por diferentes acciones externas causadas por intemperie, impactos entre otros. El equipo empleado puede variar hoy en día, pero lo esencial de estos son los traductores que marcan el tiempo de propagación de la onda emitida. El funcionamiento de este se determina por medio de dos transductores, la onda es captada por el transductor de receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Obteniendo el tiempo de propagación y junto con la distancia entre transductores nos permite calcular la velocidad del pulso.

La Clasificación de la calidad depende de la velocidad de la onda.

Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad de pulso	
Velocidad de la onda longitudinal m/seg	Estado
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Bueno
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy Pobre

TABLA III. 15 Calidad del concreto por medio de la velocidad de la onda



Para determinar la profundidad de una fisura, se cuentan dos tiempos y dos distancias, las cuales se sustituyen en la siguiente fórmula:

Donde:

g=profundidad de la grieta.

d= distancia inicial

t<sub>1</sub>= tiempo inicial

t<sub>2</sub><sup>2</sup>=tiempo del doble de la distancia inicial.

$$g = \sqrt{d \left( \frac{4(t_1^2 + t_2^2)}{(t_2^2 - t_1^2)} \right)}$$

Para la obtención del modulo de elasticidad dinámico a partir de la velocidad de pulso utilizando las siguientes expresiones:

Tipo de estructura.	Formula
Especímenes de laboratorio ecuación. 1	
En losas Ecuación 2	
Estructuras solidas de concreto ecuación 3	
En donde :	$Ed = 1.02 * v^2 * w * 10^5$
Ed= modulo de elasticidad dinámico del concreto	$Ed = 0.961 * v^2 * w * 10^5$
v = Velocidad de pulso	$Ed = 0.866 * v^2 * w * 10^5$
w = peso volumétrico del concreto	

### III.12.4.1 DESARROLLO DE LA PRUEBA.

1. Se determina la zona en donde se realizara la prueba, identificando los cadenamientos, la estructura y la resistencia del concreto.
2. Se limpia la zona perfectamente para evitar que se afecte el rebote del martillo y con ello alterar los resultados obtenidos.
3. Se coloca el equipo de tal manera que se emita de manera correcta la onda y se registren los datos obtenidos.
4. Se debe realizar tres lecturas como mínimo, registrando el tiempo de propagación así como la distancia entre los propagadores.
5. Se registran los datos obtenidos y se realizan las graficas y tablas.

### III.12.4.2 CÁLCULO DE LOS DATOS.

$$Velocidad\ pulso = \frac{Distancia\ entre\ transductores\ (cm) * 10}{Lectura\ de\ tiempo\ (micro\ seg)}$$

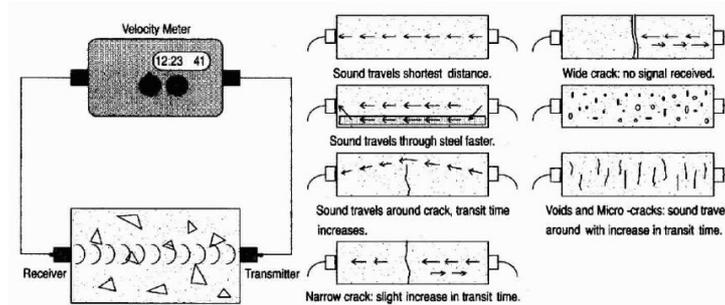


FIGURA III. 15 Ejemplo del empleo del equipo para la medición de la onda.

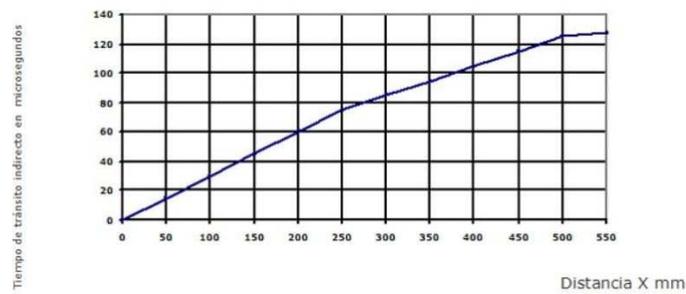


FIGURA III. 16 Grafica de resultados.



# **CAPITULO IV**

## **PRUEBAS EN ACERO**



## IV.1 INTRODUCCIÓN.

El acero en el área de la ingeniería se ha convertido en un importante material debido a sus propiedades y resistencia a la tensión.

- El acero estructural para la construcción forma parte importante del soporte de la estructura y su forma puede variar según sea su sección transversal.
- El acero de refuerzo, es un conjunto de varillas que tienen como función resistir los esfuerzos internos de tensión que se generan por la aplicación de cargas. Este acero en conjunto con el concreto hidráulico conforman estructuras resistentes a los esfuerzos de compresión y tensión.

El acero de refuerzo se clasifica, según el esfuerzo de fluencia que puede resistir:

Esfuerzo de fluencia MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Grado
294(3000)	30
412(4200)	42
510(5200)	52
412(4200)	42 baja aleación

**TABLA IV. 1 Clasificación del acero**

La calidad y las propiedades mecánicas del acero pueden variar y verse afectadas por el método de fabricación, su composición química, el tratamiento térmico y su trabajo mecánico.

### ✓ **COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO**

En la composición química del acero empleado en la fabricación de varillas intervienen varios elementos químicos; en donde cada uno de estos aporta propiedades para la obtención de las características finales del acero. En la siguiente tabla se muestra los componentes que conforman el acero.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS EN LA COMPOSICIÓN DEL ACERO.
<b>HIERRO</b>	Es el principal componente
<b>CARBONO</b>	Es importante ya que sobre el hierro afecta su condición, resistencia, dureza, fragilidad y rigidez.
<b>MANGANESO</b>	Elimina los componentes perjudiciales retirándolos, incorporándolos a la escoria.



<b>SILICIO</b>	Tiende a disminuir las burbujas aumenta la resistencia última y el límite elástico sin disminuir la ductilidad.
<b>ALUMINIO</b>	Facilita el escape de los gases del acero derretido
<b>AZUFRE</b>	Provoca la fragilidad, pero se neutraliza en forma parcial por el manganeso produciendo un acero maquinable.
<b>CROMO</b>	Produce que el acero sea inoxidable, resistente al calor.
<b>MOLIBDENO</b>	Es otro elemento que al igual que el carbono produce endurecimiento facilitando el tratamiento térmico
<b>VANADIO</b>	Le proporciona al acero una alta resistencia elástica y a la tensión.

**TABLA IV. 2 Elementos que componen el acero.**

En la siguiente tabla se muestra los contenidos máximos de elementos químicos, conforme a la norma N.CMT.2.03.001.07 S.C.T. tales como:

Elemento	Acero			
	Grados 30, 42 y 52		Grado 42 baja aleación	
	Análisis de cada colada	Análisis del producto	Análisis de cada colada	Análisis del producto
Fosforo	0.50	0.62	0.035	0.043
Carbono	---	---	0.30	0.33
Manganeso	---	---	1.50	1.56
Azufre	---	---	0.045	0.053
Silicio	---	---	0.50	0.55

**TABLA IV. 3 Composición química (Unidades en % en masa, máximo)**

## **IV.2 VARILLAS DE ACERO DE REFUERZO EMPLEADAS EN EL CONCRETO ARMADO.**

El acero de refuerzo es también conocido como varillas, los materiales para su fabricación pueden obtenerse de lingotes, o padecería de productos cuya composición sea uniforme y esté en las condiciones apropiadas para su fabricación.



La formación de estas barras se realiza en caliente o frío, en el primer caso se produce una alta resistencia a la cedencia, tensión y ductilidad. En el segundo caso se disminuye la plasticidad y la deformabilidad debido a que se reduce la ductilidad.

### ✓ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS VARILLAS.

Los diámetros de las varillas de refuerzo se encuentran en octavos de pulgada partiendo del diámetro de 3/8" incrementando 1/8" hasta llegar a 1 1/8", siendo estos diámetros los comerciales aunque cabe mencionar que se fabrican varillas #14 y #18 para casos especiales.

La masa y el área de las varillas varían según el diámetro, para el cálculo del diámetro de la sección transversal y la masa nominal por metro, se emplearan las siguientes expresiones:

Donde:

A= Área de la sección transversal de la varilla.

D= Diámetro nominal del acero en cm

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

Donde:

M= Masa nominal de la varilla por metro (kg/m).

D= Diámetro nominal del acero en cm

$\gamma$  = Peso específico del acero.

$$M = \frac{\gamma \pi D^2}{40}$$

En la siguiente tabla se muestra el número de la varilla, su masa y dimensiones nominales.

Número de diámetro (pulgadas)	Masa nominal kg/m	Dimensiones nominales		
		Diámetro cm	Área de la sección transversal cm <sup>2</sup>	Perímetro cm
3/8"	0.556	0.95	0.71	2.98
4/8"	0.993	1.27	1.27	3.99
5/8"	1.557	1.59	1.99	5.00
6/8"	2.223	1.91	2.87	6.00
7/8"	3.035	2.22	3.87	6.97
8/8"	3.973	2.54	5.07	7.98
9/8"	5.037	2.86	6.42	8.98
10/8"	6.227	3.18	7.94	9.99
11/8"	7.500	3.49	9.57	10.96
12/8"	8.938	3.81	11.40	11.97

TABLA IV. 4 Número, masa y dimensiones nominales de las varillas

### Corrugaciones

Las corrugaciones de las varillas permiten que exista una mejor adherencia con el concreto hidráulico en la construcción de estructuras. Estas corrugaciones deben



de estar distribuidas a lo largo de la varilla, y su posición formará un ángulo de 45 a 70° partiendo del eje longitudinal.

En la siguiente tabla se marcan las características de las corrugaciones que debe tener la varilla según su diámetro, conforme a la norma N.CMT.2.03.001.07 S.C.T

Número de diámetro (pulgadas)	Espaciamiento máximo (e)cm	Altura máxima (a)mm	Separación máxima entre extremos de corrugaciones transversales (cuerda) (s)mm
3/8"	0.67	0.4	3.7
4/8"	0.89	0.5	5.0
5/8"	1.11	0.7	6.3
6/8"	1.33	1.0	7.5
7/8"	1.55	1.1	8.7
8/8"	1.78	1.3	10.0
9/8"	2.00	1.4	11.2
10/8"	2.23	1.6	12.5
11/8"	2.44	1.7	13.7
12/8"	2.67	1.9	15.0

**TABLA IV. 5 Requisitos de corrugación de varillas de acero**

Donde:

P = Perímetro nominal

D = Diámetro nominal

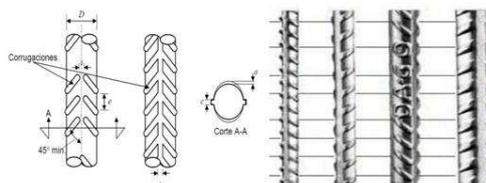
C = Ancho de costilla

a = Altura

s = Separación entre extremos de corrugaciones

e = Espaciamiento

$\alpha$  = Ángulo entre el eje longitudinal de la corrugación, con respecto al eje longitudinal de la varilla



**FIGURA IV. 1 Corrugaciones en la varilla.**

### ✓ COMPORTAMIENTO ELÁSTICO.

La propiedad principal del acero es la elasticidad, una probeta sometida a un esfuerzo de tensión presenta deformaciones como:

- 1) Deformaciones Elásticas: Son aquellas que desaparecen al retirar la carga aplicada recuperando su forma inicial.
- 2) Deformaciones Plásticas: Son aquellas también conocidas como inelásticas o permanentes que permanecen después de aplicar la carga

Para conocimiento del comportamiento elástico y plástico se grafican las curvas de esfuerzo deformación. Las deformaciones se basan en los cambios acumulados en la longitud con respecto a la longitud original.

En la curva esfuerzo deformación se observan las propiedades mecánicas del acero como:

**Limite de proporcionalidad:** Es el esfuerzo máximo el cual es proporcional a la deformación y se determina al trazar una línea recta tangente al origen y observando la primer desviación de la línea.



**Limite elástico:** Es el esfuerzo que soporta el material para no sufrir deformarse permanentes recuperando su forma original al repetir una nueva carga, es difícil de medir ya que requiere de mediciones precisas.

**Esfuerzo de cedencia:** Es el esfuerzo que produce una deformación permanente para su obtención se traza una línea recta paralela al origen de la curva de esfuerzo y deformación del material. Este esfuerzo indica en que se realiza una acción inelástica.

**Punto de cedencia:** Es el punto donde por primera vez se genera un incremento notable de la deformación.

**Resistencia a la tensión:** Es conocida también como resistencia máxima o final y se calcula dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen entre el area original de la sección transversal.

Resistencia a la ruptura: Es el momento de la fractura y se calcula dividiendo la carga existente en el momento de la ruptura entre el área original de la sección transversal.

**Modulo de elasticidad:** Es la constante de proporcionalidad que relaciona el esfuerzo con la deformación. El modulo en tensión de elasticidad se denomina modulo de Young.

**Ductilidad:** Es la capacidad que tiene para deformarse permanentemente antes de la ruptura y se indica por medio de las mediciones de alargamiento y la reducción del área.

Porcentaje de alargamiento se define:

Donde:

% de alargamiento

Lo= longitud inicial

Lf= longitud final

$$\% \text{ de alargamiento} = \frac{100(Lf - Lo)}{Lo}$$

Reducción del área,

Donde:

% de reducción del área

Ao= longitud inicial

Af= longitud final

$$\% \text{ de areduccion del area} = \frac{100(Af - Ao)}{Ao}$$

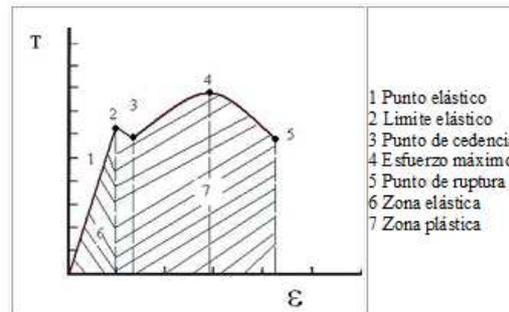


FIGURA IV. 2 Grafica esfuerzo deformación del acero.

### IV.3 INSPECCIÓN METALÚRGICA MACROSCÓPICA.

#### IV.3.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DE LA PRUEBA

Debido a su fabricación y a las reacciones generadas por los componentes que constituyen el acero se puede tener defectos en las varillas como: grietas, traslapes, defectos superficiales con reducción de área, presencia de materia contaminante y porosidad

Este tipo de imperfecciones en el acero produce una alteración en la resistencia y su comportamiento no será el óptimo en condiciones de uso.

Para la detección de este tipo de problemas se realiza una inspección visual con la ayuda del microscopio metalográfico. El objetivo de este ensayo es la realización de una reseña de su microestructura y conocer el tipo de defectos con el fin de determinar si el material cumple con los requisitos para el cual ha sido diseñado, así como conocer las fases que componen la aleación y las inclusiones no metálicas.

#### IV.3.2 EQUIPO Y MATERIALES.

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| ✓ Lima                                    | ✓ Microscopio metalográfico |
| ✓ Cortadora de varillas de cualquier tipo | ✓ Horno                     |
| ✓ Agua                                    | ✓ Recipiente de cristal     |
| ✓ Acido Clorhídrico                       | ✓                           |

#### IV.3.3 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.

1. La prueba se realiza cortando un tramo de aproximadamente 1.5 cm de espesor de una de la varillas de muestra.
2. Se lijaron los extremos de tal manera que exista uniformidad en la cara de estos, se medirán y registrarán los diámetros del espécimen.
3. En el recipiente se depositará ácido clorhídrico, se rebaja para obtener una solución del 50%.



4. Dentro de la solución se colocará el trozo de varilla cuidando que la solución lo cubra y se introducirá al horno a una temperatura de 80°C, en un lapso de aproximadamente 30 min.
5. Transcurrido el tiempo se retira del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente para poder extraer la muestra de la solución
6. Se observa con la ayuda del microscopio la muestra y se detectan si existen defectos registrando las observaciones.
7. Con los datos obtenidos se escribe la reseña del material.

#### IV.3.4 OBSERVACIONES AL REALIZAR LA PRUEBA.

- ✓ Todos los defectos mencionados anteriormente son motivo de rechazo de las varillas siempre y cuando no superen lo siguiente:

Tipo de defecto	Criterio de aceptación
<b>Grietas de laminación</b>	La longitud no debe ser mayor al 5 % del diámetro y la longitud de todas grietas detectadas en el espécimen no debe sobrepasar el 10% del diámetro.
<b>Tubo de laminación o rechupe</b>	La dimensión máxima no será mayor del 10 % del diámetro nominal de la varilla y el área máxima del defecto no será mayor del 1 % de su área nominal
<b>Inclusión de materia contaminante</b>	La dimensión máxima no será mayor del 3% del diámetro nominal de la varilla, la suma de dichas dimensiones no excederá del 10% de dicho diámetro y la suma de las áreas de las inclusiones no será mayor del 1% del área nominal de la varilla. La separación entre inclusiones no será menor de 30% del diámetro nominal de la varilla
<b>Porosidad:</b>	La dimensión máxima de cada zona porosa no será mayor del 5% del diámetro nominal de la varilla, la suma de dichas dimensiones no excederá 20% de dicho diámetro y la suma de las áreas de las inclusiones no será mayor del 1% del área nominal de la varilla. La separación entre zonas porosas no será menor de 30% del diámetro nominal de la varilla

**TABLA IV. 6 Defectos observados en la varilla.**

- Como se indicó antes la presencia de este tipo de imperfecciones reduce la resistencia máxima ante los esfuerzos, pudiendo ser un serio peligro para la estabilidad de la estructura en obra.
- El muestreo debe ser cuidadoso y el ensaye correcto, es de primordial importancia para lograr obtener resultados que sean fieles representativos de la calidad del material que pretende emplearse.



#### IV.3.4 FOTOGRAFÍAS DE LA PRUEBA.



IMAGEN IV.3 1 Preparación de la solución con el ácido.



IMAGEN IV.3 2 Colocación de la muestra en el recipiente.



IMAGEN IV.3 3 Vaciado de la solución a la muestra.



IMAGEN IV.3 4 Muestra cubierta con la solución.



IMAGEN IV.3 5 Inspección visual.



IMAGEN IV.3 6 Observaciones con el microscopio



## IV.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

### IV.4.1 OBJETIVO DE LA PRUEBA.

El objetivo es determinar el comportamiento elástico de una muestra representativa la cual será sometida a esfuerzos de tensión para lo cual se obtienen y registran el largo del espécimen, diámetro. Para la obtención de las propiedades mecánicas como, modulo de elasticidad, limite plástico, resistencia, % de alargamiento, % de la reducción en el área fracturada.

### IV.4.2 EQUIPO

- |   |                     |   |              |
|---|---------------------|---|--------------|
| ✓ | Máquina para prueba | ✓ | Extensometro |
| ✓ | Mordazas            | ✓ | Marcado      |
| ✓ | Segueta             | ✓ | Micrómetro   |

### IV.4.3 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.

1. La prueba se realiza tomando de una de la varillas de muestra, un tramo de aproximadamente 60 cm de largo.
2. Se determina el área de la probeta obteniéndola de las siguientes formas:
  - De una de las varillas de muestras, se corta un tramo de 10cm de longitud; se cepilla perfectamente sus extremos y sobre un cojín entintada se coloca uno de los extremos con el fin de impregnarlo de tinta y sobre papel milimétrico colocamos dicho extremo para marcar el área completa y contar en este el numero de milímetros abarcados por el perímetro y conocer el área real. Registrando dicho dato en el formato.
  - Este tramo se sumerge en una probeta graduada en la que previamente se coloco agua hasta cierta marca (depende del diámetro analizado). El volumen desplazado por la varilla se obtiene por diferencia de lecturas al quedar ésta dentro de la probeta. Al dividir éste entre el largo promedio de la probeta nos dará el área de la sección con mayor exactitud
  - Cuando se conoce el peso por metro lineal de una varilla de determinado diámetro, el área se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Área de la sección} = \frac{\text{Peso de la muestra (kg/m)}}{\text{Largo de la muestra}}$$

5. Se mide el diámetro de la muestra sin corrugaciones, y posteriormente con una corrugación. La resta de éstas arrojará la altura que posee la corrugación y se registran los datos. Así mismo se determina el espaciado promedio entre las corrugaciones de la varilla contando la cantidad de corrugaciones presentes en un tramo medido de varilla.



6. Utilizando la segueta coloque dos marcas a una separación de 15cm del centro de la muestra.
- 7 Una vez calibrada la maquina se montará la probeta con la ayuda de las mordazas fijándola correctamente para evitar errores.
8. Se inicia con la aplicación de carga continuamente tomando las lecturas del alargamiento con ayuda del extensómetro o flexometro, registrando la carga aplicada, en intervalos de 250 kg y los alargamientos producidos.
9. Se continúa con la aplicación de carga hasta la falla y anote la carga de cedencia y máxima.
10. Se retira de la máquina de tensión la probeta, y sobre una superficie plana coloque los dos fragmentos de la varilla y mida entre las marcas para determinar la elongación total.
11. Calcule el % de reducción de área, el % de alargamiento, deformación unitaria de cada lectura, el esfuerzo en tensión de cada lectura.
12. Dibuje una gráfica de esfuerzo contra deformación unitaria y determine el módulo de Elasticidad.
13. Calcule los esfuerzos de cedencia y tensión máxima dividiendo cada uno de los valores de carga respectivos por el área nominal de la varilla.

#### IV.4.4 CÁLCULOS DE LA PRUEBA

##### Porcentaje de alargamiento se define:

Donde:

% de alargamiento

$$\% \text{ de alargamiento} = \frac{100(L_f - L_o)}{L_o}$$

$L_o$ = longitud inicial

$L_f$ = longitud final

##### Reducción del área.

Donde:

% de reducción del área

$$\% \text{ de reducción del área} = \frac{100(A_f - A_o)}{A_o}$$

$A_o$ = longitud inicial

$A_f$ = longitud final

##### Deformación unitaria para cada lectura.

Donde:

$\epsilon$ = Deformación unitaria

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$\Delta L$ =Alargamiento



L = Longitud de la probeta

### Esfuerzo para cada lectura.

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de tensión

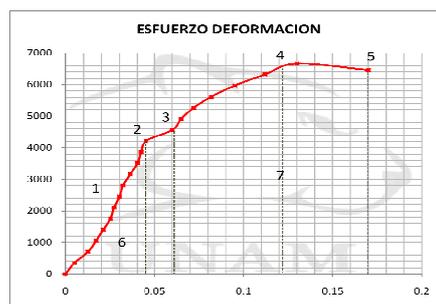
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

P = Carga aplicada

A = Área de la sección transversal de la probeta.

### IV.4.5 OBSERVACIONES.

- El muestreo se realizará en campo tomando 3 varillas de 1.5 m de largo cada uno por cada 100 varillas provenientes del mismo lote, por cada uno de los diámetros existentes.
- **Grafica esfuerzo deformación del ensayo de una probeta.**



- 1 Punto elástico
- 2 Limite elástico
- 3 Punto de cedencia
- 4 Esfuerzo máximo
- 5 Punto de ruptura
- 6 Zona elástica
- 7 Zona plástica

FIGURA IV. 3 Grafica obtenida de ensayo de la probeta.

La curva tiene una primera parte lineal llamada **zona elástica**, en donde la probeta se comporta como un resorte: si se quita la carga en esa zona, la probeta regresa a su longitud inicial.

Cuando la curva se desvía de la recta inicial, el material alcanza el punto de fluencia, desde aquí el material comienza a adquirir una deformación permanente. A partir de este punto, si se quita la carga la probeta quedaría más larga que al principio.

Luego de la fluencia sigue una parte inestable, que depende de cada acero, para llegar a un máximo, la probeta se alarga en forma permanente y repartida, a lo largo de toda su longitud mostrando su punto débil, concentrando la deformación en una zona en la cual se forma un cuello.

La deformación se concentra en la zona del cuello, provoca que la carga deje de subir. Al adelgazarse la probeta la carga queda aplicada en menor área, provocando la **ruptura**.



- Es importante mencionar que la norma mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2001 nos indica los siguientes requisitos, para su aceptación o rechazo de este material.

Resistencia a la tensión.											
Resistencia a la Tensión mínima en MPa (kg/cm <sup>2</sup> )				Esfuerzo de fluencia mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> )				Esfuerzo de fluencia máximo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> )			
30°	42°	52°	42° baja aleación	30°	42°	52°	42° baja aleación	30°	42°	52°	42° baja aleación
490(5000)	618(6300)	706(7200)	550(5600)	294(3000)	412(4200)	510(5200)	412(4200)	---	---	---	540(5500)

TABLA IV. 7 Resistencia a la tensión de las varillas de acero

Alargamiento	Número de designación	Alargamiento en 200 mm Mínimo en por ciento (%)			
		Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 42 baja aleación
	2.5	-	9	-	-
	3	11	9	-	14
	4	12	9	-	14
	5	12	9	-	14
	6	12	9	-	14
	7	-	8	-	12
	8	-	8	-	12
	9	-	7	-	12
	10	-	7	-	12
	11	-	7	5	12
	12		7	5	12

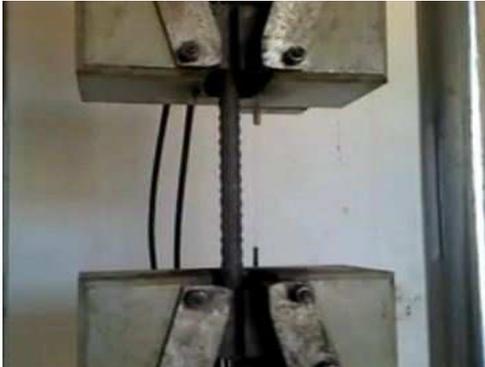
TABLA IV. 8 Alargamiento de las varillas de acero.

Número de las varillas	Doblado.		
	A 180 °		A 90°
	Grado 30	Grado 42	Grado 52
3	D=4d	D=4d	D=5d
4	D=4d	D=4d	D=5d
5	D=4d	D=4d	D=5d
6	D=4d	D=5d	D=6d
7	D=4d	D=6d	D=7d
8	D=4d	D=6d	D=7d
9	D=4d	D=8d	D=8d
10	D=5d	D=8d	D=8d
11	D=5d	D=8d	D=8d
12	D=5d	D=8d	D=8d

TABLA IV. 9 Requisitos del doblado (D=Diámetro del mandril, d=Diámetro de la varilla)



#### IV.4.6. FOTOGRAFÍAS.



**IMAGEN IV.4 1** Montaje de la probeta en la maquina y aplicación de la tensión.(Limite elástico)



**IMAGEN IV.4 2** Momento de la rotura de la probeta (Limite plástico).



**IMAGEN IV.4 3** Vista de la deformación de la probeta de acero.



**IMAGEN IV.4 4** Retiro de la probeta de la maquina



**IMAGEN IV.4 5** Obtención de las medidas de deformación de la probeta de acero.



**IMAGEN IV.4 6** Deformación de la muestra



## **CONCLUSIONES.**

### **CONCLUSIONES GENERALES.**

Este trabajo se realizó pensando en brindar apoyo a los técnicos de laboratorio, muestreadores, alumnos de la carrera de ingeniería civil y arquitectura, en el se explican las técnicas y métodos para la obtención y ejecución las pruebas de laboratorio.

Cabe mencionar que el campo de acción de la ingeniería es amplio, el reflejo de este trabajo es la compilación de pruebas que en nuestra experiencia laboral recurrimos con mayor frecuencia.

Es importante hacer notar como en todas las ingenierías, el tener un control de calidad de cada una de los materiales muestreados en campo, de las pruebas de laboratorio y de los trabajos de construcción realizados en cada etapa de las obras dependerá que sea segura, económica, funcional y acorde con la naturaleza.

### **CONCLUSIÓN DE LOS CAPÍTULOS.**

#### **CAPITULO I. PRUEBAS DE MECANICA DE SUELOS.**

En este apartado se podrán consultar las pruebas empleadas comúnmente para conocer las características y propiedades con las que cuenta el suelo, permitiendo ampliar la visión de los proyectistas y personal que se encuentra ejecutando cualquier obra civil.

#### **CAPITULO II. PRUEBAS EN TERRACERIAS Y PAVIMENTOS.**

En esta parte se podrán consultar las pruebas empleadas con mayor frecuencia en la construcción de vialidades, permitiendo conocer las características de los materiales a emplear en la construcción de terraplenes y las características del cemento asfáltico empleado en la fabricación mezcla asfáltica y riegos de impregnación, liga y sello.

#### **CAPITULO III. PRUEBAS EN CONCRETO.**

En este capítulo se podrán consultar las pruebas empleadas más comunes en el concreto, permitiéndonos conocer sus características y dar las soluciones en caso de ser necesarias para cada caso particular.

#### **CAPITULO IV. PRUEBAS EN ACERO.**

En este capítulo se podrán consultar las pruebas empleadas con mayor frecuencia para conocer la resistencia y comportamiento de este material empleado en la construcción de obra civil.





# **ANEXOS**

## **MECÁNICA DE SUELOS**





**POZO A CIELO ABIERTO**  
**FORMATO DE REGISTRO DE CAMPO.**

Universidad Nacional Autónoma de México  
 Facultad de Estudios Superiores Aragón

**POZO A CIELO ABIERTO**



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
 SONDEO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 OPERADOR: \_\_\_\_\_  
 CALCULO: \_\_\_\_\_

PROF.	CORTE	MUESTR A No.	CLASIFICACION SUCS	LEC. PENETROMETRO DE BOLSELO	CU

**LOCALIZACION SITIO**

**PERFIL ESTRATIGRAFICO**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



## SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR FORMATO DE REGISTRO DE CAMPO.

Universidad Nacional Autónoma de México.  
Facultad de Estudios Superiores Aragón.  
Laboratorio de Geotecnia.

### REGISTRO DE EXPLORACIÓN SPT.



PROYECTO: \_\_\_\_\_ EQUIPO: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_ BARRA: \_\_\_\_\_  
 SONDEO: \_\_\_\_\_ TIPO: \_\_\_\_\_ ADIENE: \_\_\_\_\_  
 FECHA DE INICIO: \_\_\_\_\_ FECHA DE TERM.: \_\_\_\_\_ MAP: \_\_\_\_\_

MUESTRA	PROFUNDIDAD m		MUESTRO AVANCE	No. DE GOLPES			RECUPERACION		LONG. AVANCE m	DESCRIPCION
	DE	A		15 cm	30cm	15cm	cm	%		
m - 1										
m - 2										
m - 3										
m - 4										
m - 5										
m - 6										
m - 7										
m - 8										
m - 9										
m - 10										
m - 11										
m - 12										
m - 13										
m - 14										
m - 15										
m - 16										
m - 17										
m - 18										
m - 19										
m - 20										
m - 21										
m - 22										
m - 23										
m - 24										
m - 25										
m - 26										
m - 27										
m - 28										
m - 29										
m - 30										
m - 31										
m - 32										
m - 33										
m - 34										
m - 35										
m - 36										
m - 37										
m - 38										
m - 39										
m - 40										
m - 41										
m - 42										
OBSERVACIONES: _____							OPERADOR: _____			
							SUPERVISOR: _____			





## LIMITES DE PLASTICIDAD FORMATO DE LABORATORIO

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Aragón  
Laboratorio de Geotecnia



OBRA: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
SONDEO: \_\_\_\_\_  
MUESTRA: \_\_\_\_\_

### LIMITE LIQUIDO

Tara No.	Tara + muestra húmeda g.	Tara + muestra seca g.	Numero de golpes.	Peso tara g.	Peso agua g.	Peso seco g.	Contenido de agua.

### LIMITE PLASTICO

Tara No.	Tara + muestra húmeda g.	Tara + muestra seca g.	Peso tara g.	Peso agua g.	Peso seco g.	Contenido de agua.

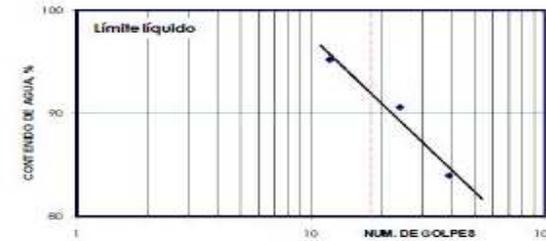
LL = \_\_\_\_\_  
LP = \_\_\_\_\_  
IP = \_\_\_\_\_  
CLASIF. S.U.C.S. **CH**

CONTRACCION LINEAL		
	1	2
LEC. INI.		
LEC. FIN.		
C. L.		

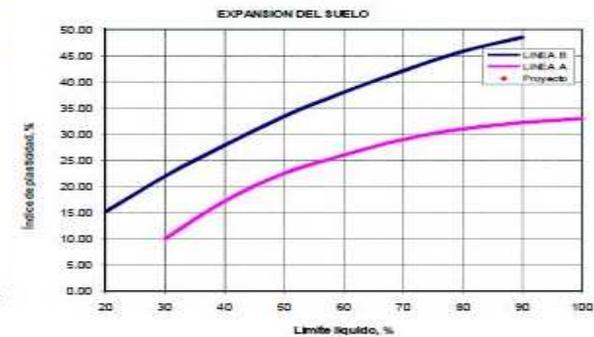
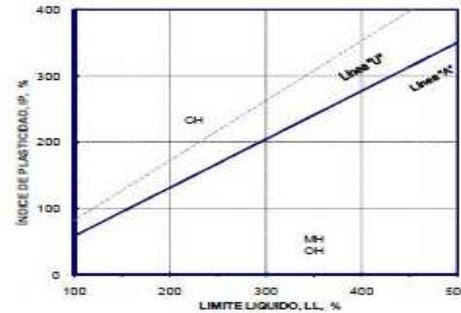
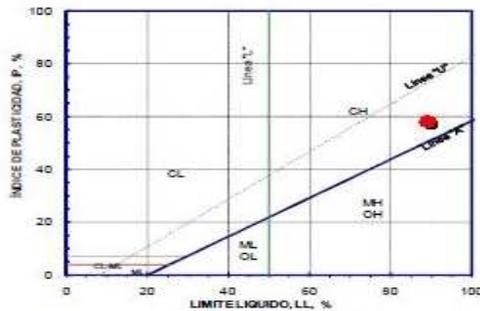
LL=LIMITE LIQUIDO  
LP=LIMITE PLASTICO  
IP=INDICE PLASTICO

## LIMITES DE PLASTICIDAD

PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_  
PROF. MEDIA: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_  
LABORATORISTA: \_\_\_\_\_



Descripción de la muestra: ARCILLA DE MUY ALTA PLASTICIDAD Y DE ALTA COMPRESIBILIDAD  
DE COLOR CAFÉ OSCURO





## GRANULOMETRÍA FORMATO DE LABORATORIO

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores.  
Laboratorio de Geotecnia

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



OBRA: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
SONDEO: \_\_\_\_\_

FECHA DE INICIO: \_\_\_\_\_  
MUESTRA: \_\_\_\_\_  
PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_

#### COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4

Análisis efectuado con la muestra total de \_\_\_\_\_ g

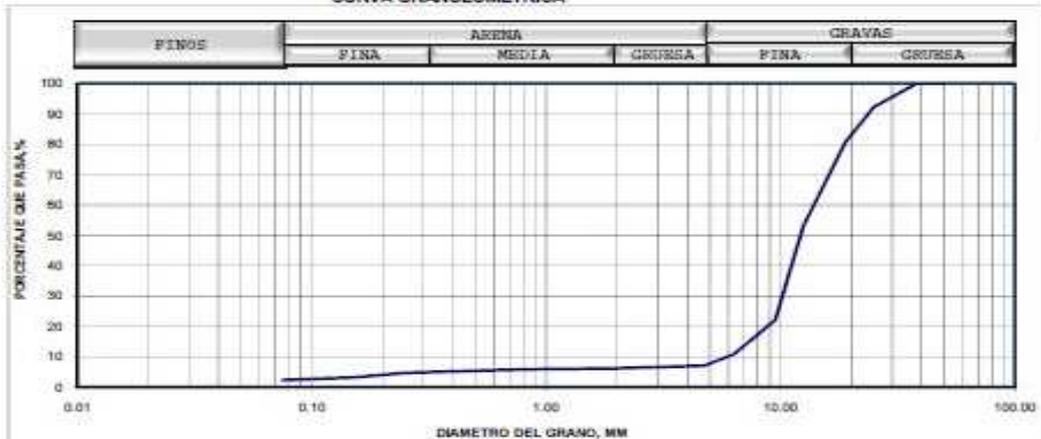
Malla No.	Abertura mm	Peso suelo retenido g.	Porcentaje retenido %.	Retenido acumulado %.	Porcentaje que pasa %.
2"	50.00				
1.5"	38.10				
1"	25.00				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				
3/8"	9.50				
1/4"	6.35				
N° 4	4.75				
Pasa N° 4	—				
Suma					

#### COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 4

Análisis efectuado con muestra parcial de \_\_\_\_\_ g

Malla No.	Abertura mm	Peso suelo retenido g.	Porcentaje retenido %.	Retenido acumulado %.	Porcentaje que pasa %.
10	2.000				
20	0.850				
40	0.425				
60	0.250				
100	0.150				
200	0.075				
Pasa 200	—				
Suma					

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



D10= \_\_\_\_\_  
D50= \_\_\_\_\_  
D60= \_\_\_\_\_

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2.17$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1.28$$

GRAVAS: \_\_\_\_\_  
ARENAS: \_\_\_\_\_  
FINOS: \_\_\_\_\_  
LAS PARTICULAS FINAS SON: \_\_\_\_\_

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: GRAVAS MAL GRADUADAS

CLASIFICACIÓN SUCS: GP



## PRUEBA DEL HIDRÓMETRO FORMATO DE LABORATORIO

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### PRUEBA DEL HIDROMETRO



PROCEDENCIA: \_\_\_\_\_ OPERADOR: \_\_\_\_\_  
 BANCADO: \_\_\_\_\_ PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_  
 PESO (Ws): \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

HIDROMETRO No. \_\_\_\_\_

HORA	TIEMPO	LECTURA HIDROMETRO	TEMP.	PESO SOLIDOS EN SUSPENSION Wd	% ACUMULATIVO w% = Wd/Ws 100	Velocidad de Caída (H/t)	Diametro D
	20 seg						
	40 seg						
	1.20 min						
	2.50 seg.						
	5.00 min						
	10.0 min						
	15.0 min						
	20.0 seg						
	25.0 seg						
	30.0 seg						
	1.00 h						
	1.50 h						
	2.00 h						
	3.00 h						
	24.00 h						

H= Altura  
T= Tiempo

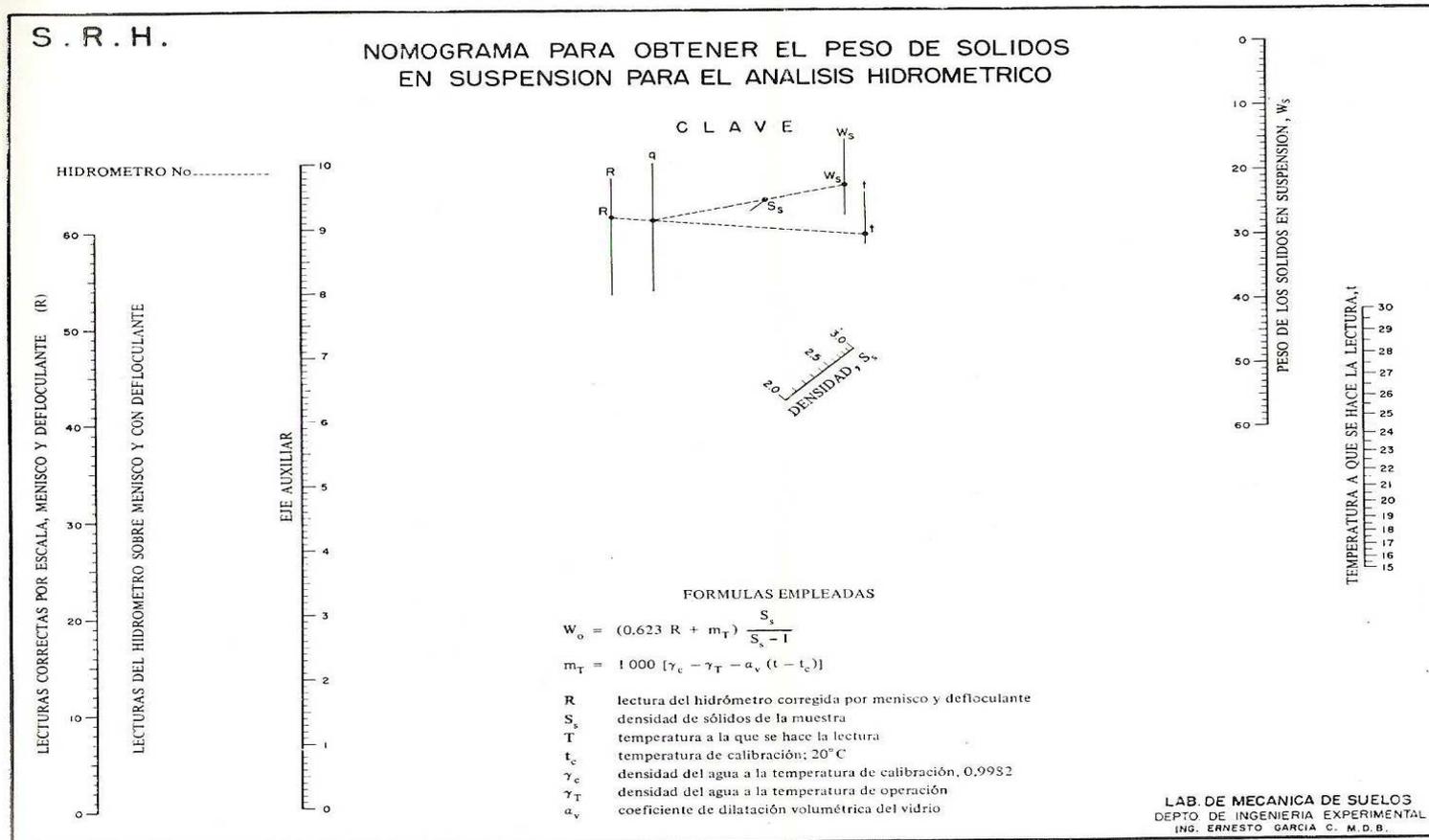
Ws= Peso total de los solidos  
Wd= peso de los solidos en suspensión

observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Conclusiones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

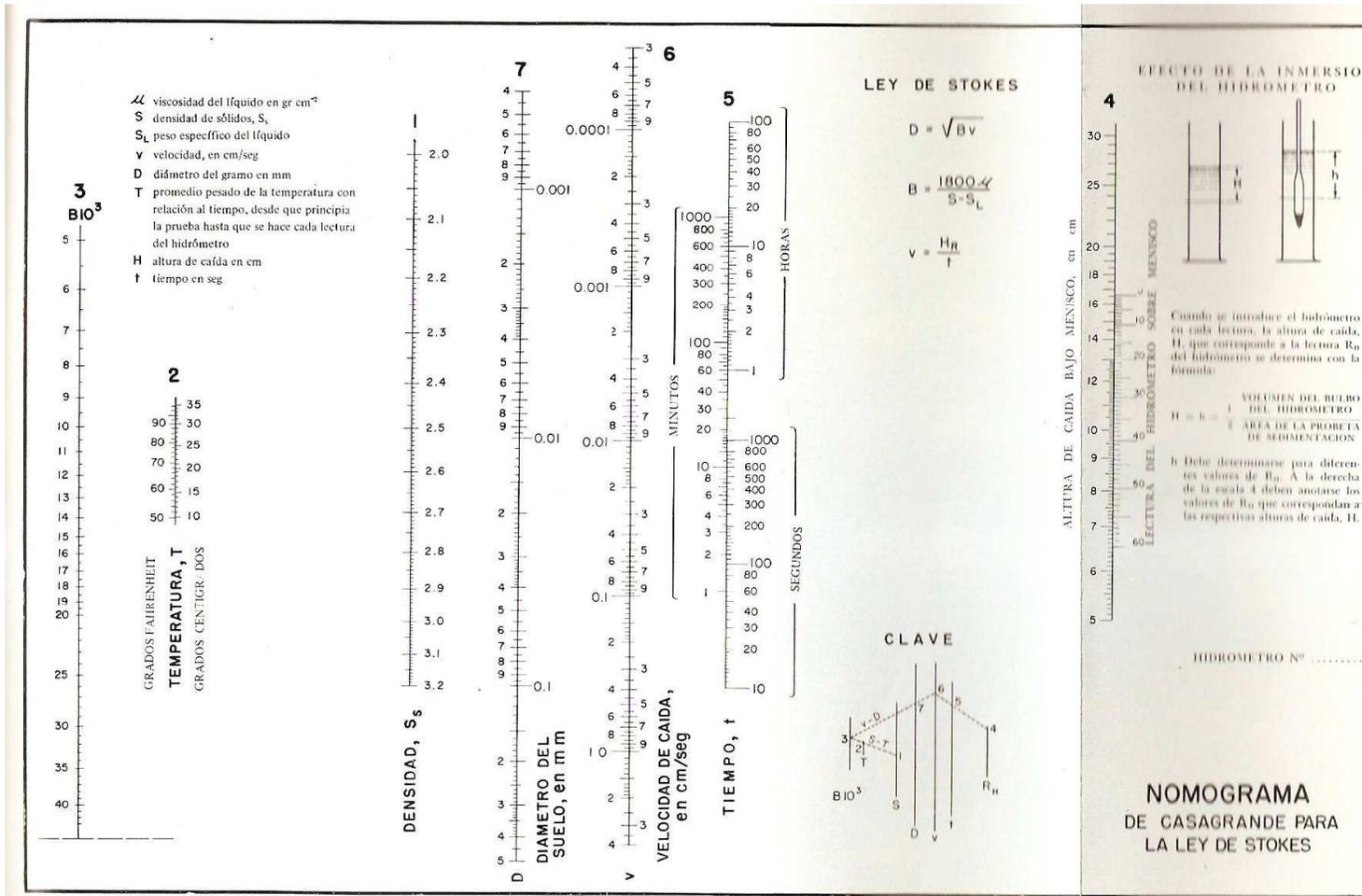


**PRUEBA DEL HIDRÓMETRO**  
**MONOGRAMA PARA OBTENER EL PESO DE LOS SÓLIDOS.**





**PRUEBA DEL HIDRÓMETRO  
MONOGRAMA DE CASAGRANDE.**





## CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO FORMATO DE LABORATORIO

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia



HIDROMETRO No. \_\_\_\_\_  
PROBETA No. \_\_\_\_\_  
PROBETA GRADUADA \_\_\_\_\_

### CALIBRACION DEL HIDROMETRO

OPERADOR: \_\_\_\_\_  
VH: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_

Matraz No.	Tara	Sal en gr.	Peso	Volumen de solución.	ym.	Lecturas hidrometro.	L.
AGUA DESTILADA	-	-	-	-	-		

Ri.	hi.	Hi.

Correccion por menisco.	
Correccion por menisco	
Lectura inferior	
Lectura superior	
	cm

Correccion por defloculante Cd (-).	
lectura de agua + defloculante	
lectura de agua	
	Cd
Defloculante:	

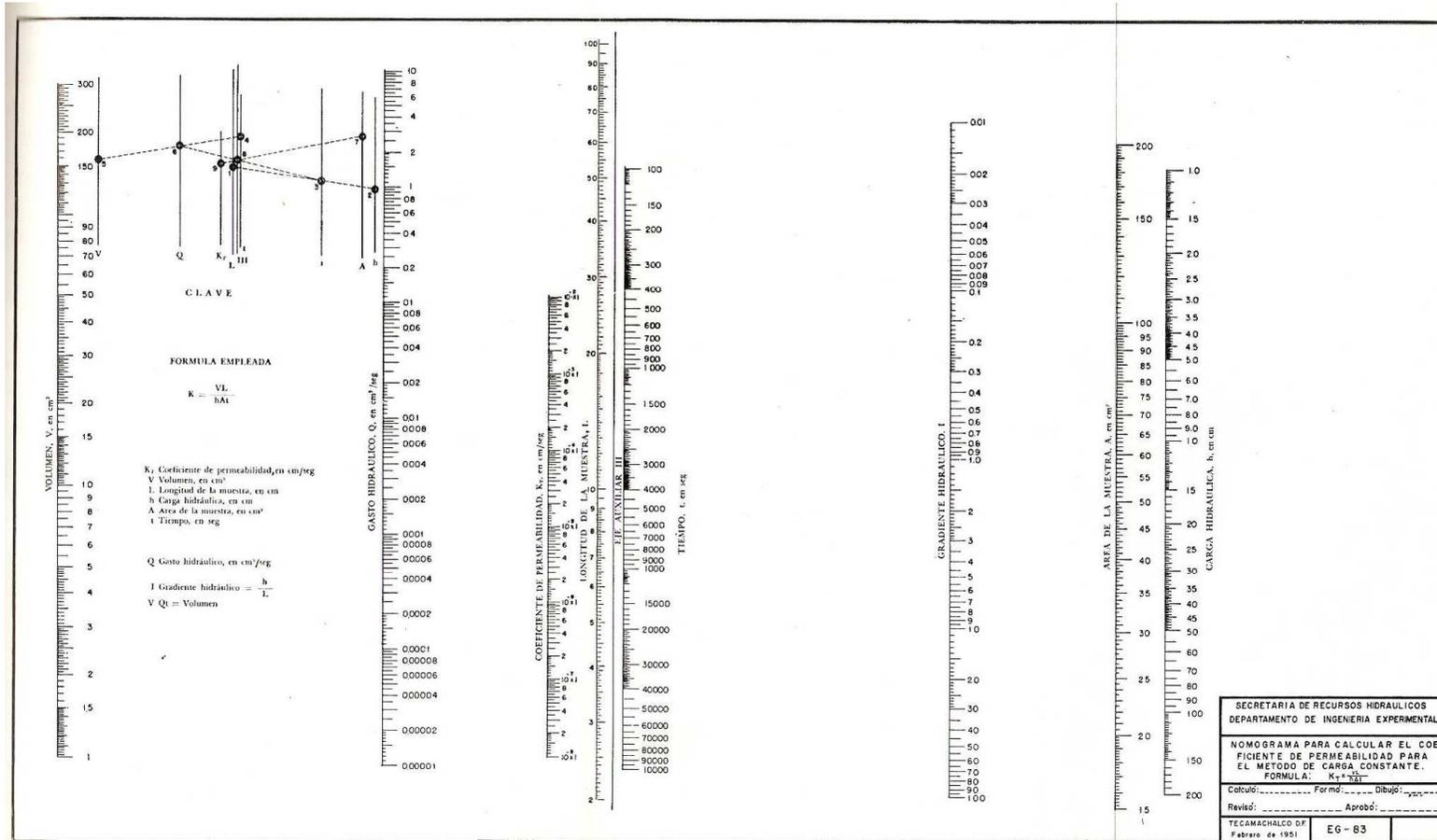
observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Conclusiones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_





**PRUEBA DE PERMEABILIDAD**  
**MONOGRAMA COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**





**PRUEBA PESO VOLUMÉTRICO.  
FORMATO DE LABORATORIO.**

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Aragón  
Laboratorio de Geotecnia

**PESO VOLUMETRICO**



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
SONDEO: \_\_\_\_\_ REALIZO: \_\_\_\_\_

Ensaye No.	Peso muestra (Wm)	Vol. muestra (Vm)	Peso suelo seco (Wss)	Peso agua (Ww)	Peso vol.seco (yd=ws/vm)	Volumen solidos (Vs=ws/yd)	Peso vol. solidos (ys=ws/vs)	Volumen vacios (Vv)	Peso agua sat. (Wwsat)	Peso Vol. saturado (ysat=(ws+wwsat)/vm)

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



## PRUEBA DE CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO DENSIDAD SÓLIDOS FORMATO DE LABORATORIO

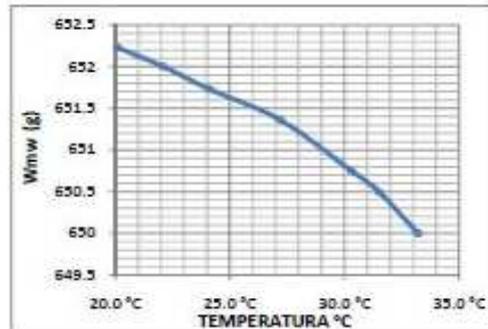
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### CALIBRACION DE PICNOMETRO

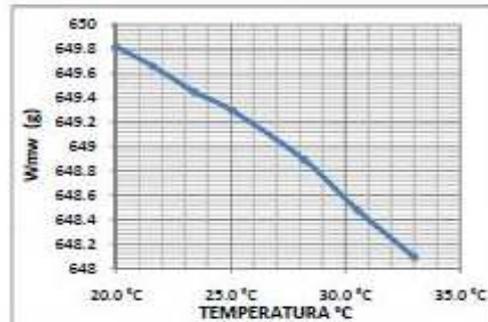


PROYECTO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACION: \_\_\_\_\_  
SONDEO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
OPERADOR: \_\_\_\_\_  
CALCULO: \_\_\_\_\_

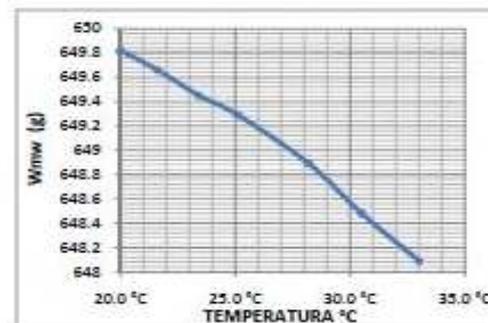
PRUEBA	PICNÓMETRO N°	
	T °C.	PESO
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
PESO PICNOMETRO		



PRUEBA	PICNÓMETRO N°	
	T °C.	PESO
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
PESO PICNOMETRO		



PRUEBA	PICNÓMETRO N°	
	T °C.	PESO
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
PESO PICNOMETRO		





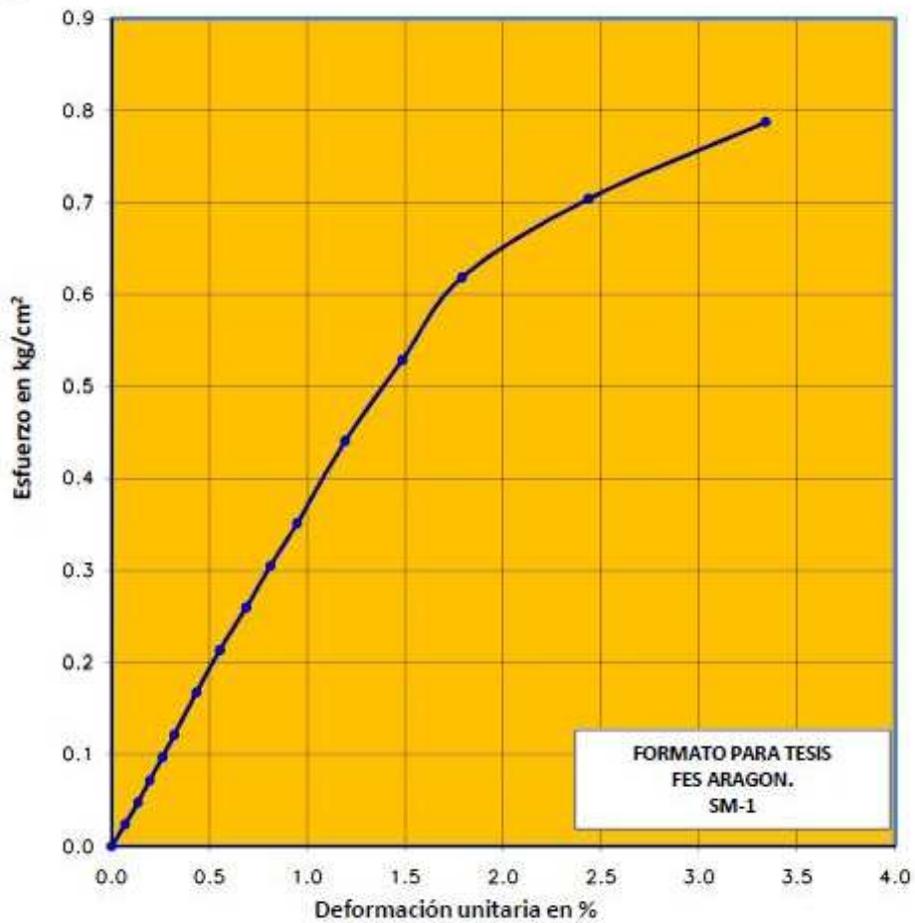




## PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE GRAFICA. FORMATO DE LABORATORIO



CURVA ESFUERZO-DEFORMACION  
COMPRESION SIMPLE (qu)



PRUEBA	MUESTRA	PROF	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	$\omega$	E	$\gamma$	$q_u$
No.		m		(%)	kPa (kg/cm <sup>2</sup> )	kN/m <sup>3</sup> (t/m <sup>3</sup> )	kPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$q_{u1}$							



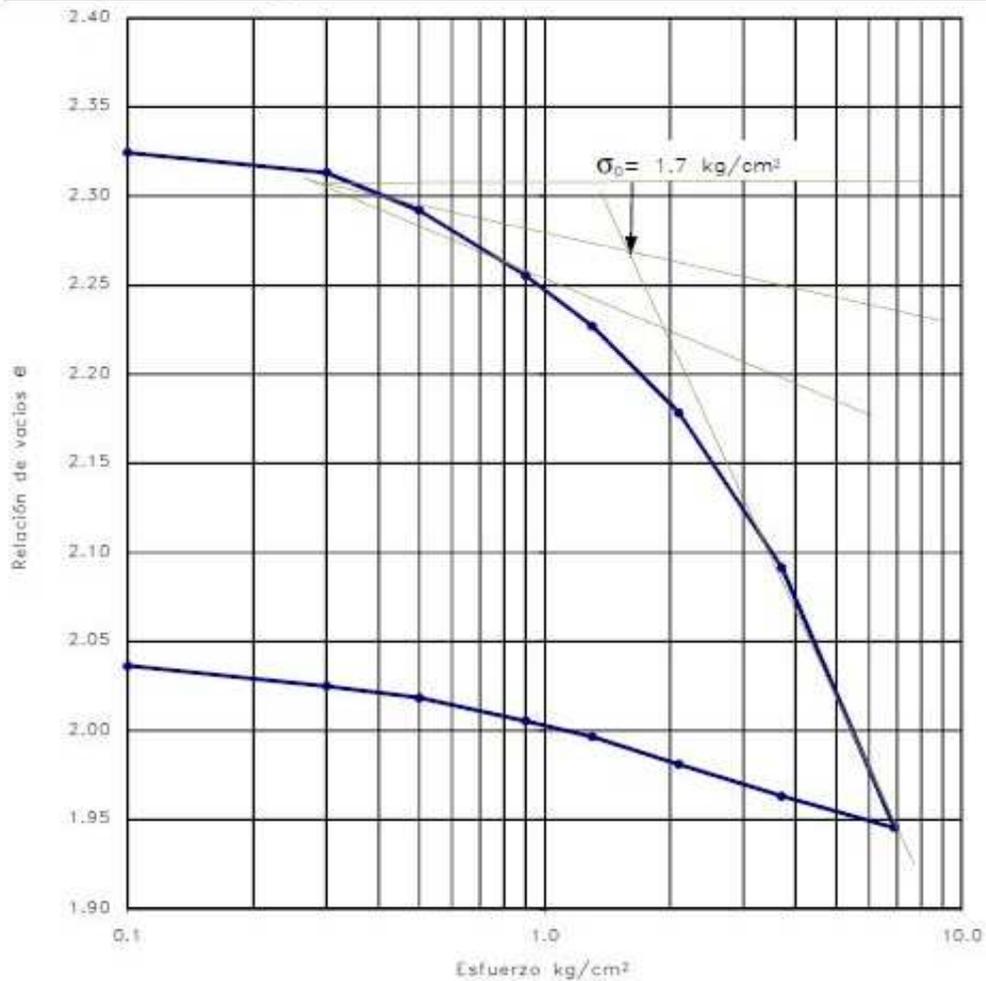


## PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL GRAFICA FORMATO DE LABORATORIO



### ENSAYE DE CONSOLIDACIÓN CURVA DE COMPRESIBILIDAD

Proyecto	Prueba	Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	W <sub>0</sub> (%)	S <sub>s</sub>	γ <sub>0</sub> (tn/m <sup>3</sup> )	e <sub>0</sub>	G <sub>w0</sub> (%)
Descripción: Limo gris oscuro									







## PRUEBA TRIAXIAL (UU) GRAFICA. FORMATO DE LABORATORIO

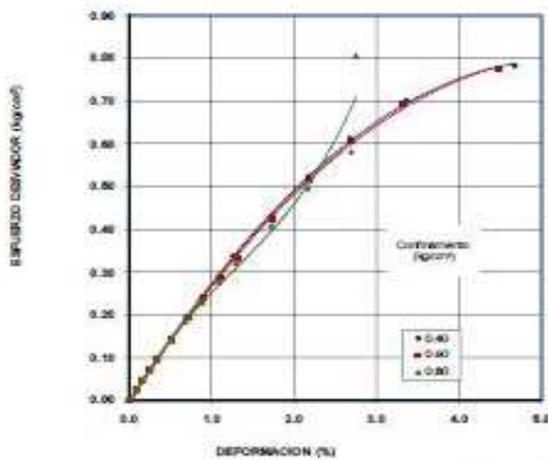
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### PRUEBA TRIAXIAL (UU)



OBRA: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_ PROF. MEDA: \_\_\_\_\_  
 SONDEO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 MUESTRA: \_\_\_\_\_ LABORATORISTA: \_\_\_\_\_  
 PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_ # \_\_\_\_\_

CURVA ESFUERZO DEFORMACION



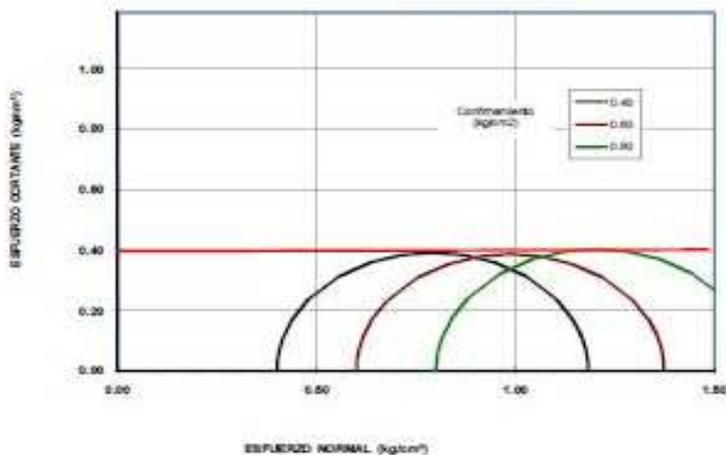
Parámetros promedio:

$\gamma_m =$  \_\_\_\_\_ Sistema Internacional  
 $\gamma_m =$  11.91 kN/m<sup>3</sup>  
 $w =$  \_\_\_\_\_

Parámetros de resistencia:

$c =$  \_\_\_\_\_ Sistema Internacional  
 $c =$  38.00 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi =$  \_\_\_\_\_

CIRCULO DE MOHR



Descripción de materia: Arcilla plástica de color café oscuro

$\gamma_m$  Peso volumétrico  
 $w$  Contenido de agua  
 $c$  Cohesión no drenada del suelo  
 $\phi$  Ángulo de fricción interna



# **ANEXOS**

## **TERRACERÍAS**

## **Y ASFALTOS.**



## LEVANTAMIENTO DE BANCO DE MATERIALES FORMATO DE CAMPO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### CARACTERISTICAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE BANCO DE MATERIALES



OBRA: \_\_\_\_\_  
TRAMO: \_\_\_\_\_  
SUBTRAMO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACION: \_\_\_\_\_

#### CROQUIS DE LOCALIZACION

#### LOCALIZACION DEL BANCO DE MATERIALES

BANCO #: \_\_\_\_\_ NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
UBICACION: \_\_\_\_\_  
DESVIACION: \_\_\_\_\_ A LA \_\_\_\_\_  
CARRETERA: \_\_\_\_\_ TRAMO: \_\_\_\_\_  
ESTADO ACTUAL \_\_\_\_\_  
REGIMEN DE PROPIEDAD:  
FEDERAL  PARTICULAR   
EJIDATARIO  COMERCIAL   
CONSESIONADO

#### CARACTERISTICA DE LOS MATERIALES DE BANCO.

CLASIFICACION: \_\_\_\_\_  
**I DIMENSIONES:**  
LARGO  VOLUMEN DISPONIBLE   
ANCHO  DESPALME   
ESPESOR   
**II UTILIZACION PROBABLE**  
TERRACERIAS  SUBRASANTE   
SUB-BASE  CARPETA   
BASE  CONCRETO   
**III TIPO DE TRATAMIENTO**  
DISGREGACION  TRITURACION PARCIAL   
ESTABILIDAD  TRITURACION TOTAL   
CRIBADO   
LAVADO

#### FACTIBILIDAD DE EXPLOTACION.

TRABAJABILIDAD A \_\_\_\_\_ B \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_  
**I CONDICIONES ECOLOGICAS**  
DISTANCIA DE POBLACION: \_\_\_\_\_  
LIMITACIONES DE EXPLORACION \_\_\_\_\_  
CONTAMINACION POLVO REDUCIDA \_\_\_\_\_ MODERADA \_\_\_\_\_ EXCESIVA \_\_\_\_\_  
CONTAMINACION RUIDO BAJO \_\_\_\_\_ MEDIO \_\_\_\_\_ FUERTE \_\_\_\_\_  
CONTAMINACION EFLUENTES NO EXISTE \_\_\_\_\_ PROBABLE \_\_\_\_\_ EVIDENTE \_\_\_\_\_  
**II USO DE EXPLOSIVOS**  
NO REQUIERE \_\_\_\_\_ CON ANTECEDENTES \_\_\_\_\_ RESTRINGIDO \_\_\_\_\_  
**III ESPECTOS ECONOMICOS**  
DISTANCIA DE ACARREOS \_\_\_\_\_  
**IV CAMINOS DE ACCESO**  
TERRACERIA  INTRANSITABLE   
REVESTIDO  TRANSITABLE EN ESTIAJE   
PAVIMENTO  TRANSITABLE

OBCERVACIONES: \_\_\_\_\_



## LEVANTAMIENTO DE BANCO DE MATERIALES PARA MEZCLA ASFÁLTICA. FORMATO DE CAMPO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### LEVANTAMIENTO DE MATERIALES DE BANCO PARA MEZCLAS ASFALTICAS



OBRA: \_\_\_\_\_  
TRAMO: \_\_\_\_\_  
SUBTRAMO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACION: \_\_\_\_\_

#### CROQUIS DE LOCALIZACION

#### LOCALIZACION DE LA PLANTA DE MEZCLA ASFALTICA

NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
DESVIACION: \_\_\_\_\_ A LA \_\_\_\_\_  
CARRETERA: \_\_\_\_\_ TRAMO: \_\_\_\_\_  
ESTADO ACTUAL \_\_\_\_\_  
REGIMEN DE PROPIEDAD:  
FEDERAL  PARTICULAR   
EJIDATARIO  COMERCIAL   
CONSESIONADO

#### CARACTERISTICA DEL MATERIAL.

CLASIFICACION: \_\_\_\_\_  
**I DESCRIPCION PLANTA**  
TIPO: \_\_\_\_\_  
CAPACIDAD: \_\_\_\_\_ t/hr.  
**II UTILIZACION PROBABLE**  
BASE ASFALTICA  RIEGO DE SELLO   
CARPETA  OPEN GRADED   
OTROS  OTRO \_\_\_\_\_  
**III TIPO DE TRATAMIENTO**  
CRIBADO  TRITURACION PARCIAL   
LAVADO  TRITURACION TOTAL

#### FACTIBILIDAD DE EXPLOTACION.

**I CONDICIONES ECOLOGICAS**  
DISTANCIA DE POBLACION: \_\_\_\_\_  
LIMITACIONES DE EXPLORACION \_\_\_\_\_  
CONTAMINACION POLVO REDUCIDA  MODERADA  EXCESIVA   
CONTAMINACION RUIDO BAJO  MEDIO  FUERTE   
CONTAMINACION EFLUENTES NO EXISTE  PROBABLE  EVIDENTE   
**II USO DE EXPLOSIVOS**  
NO REQUIERE \_\_\_\_\_ CON ANTECEDENTES \_\_\_\_\_ RESTRINGIDO \_\_\_\_\_  
**III ESPECTOS ECONOMICOS**  
DISTANCIA DE ACARREOS \_\_\_\_\_  
**IV CAMINOS DE ACCESO**  
TERRACERIA  INTRANSITABLE   
REVESTIDO  TRANSITABLE EN ESTIAJE   
PAVIMENTO  TRANSITABLE

OBCERVACIONES: \_\_\_\_\_



## FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE SUBBASE.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES SUB-BASE



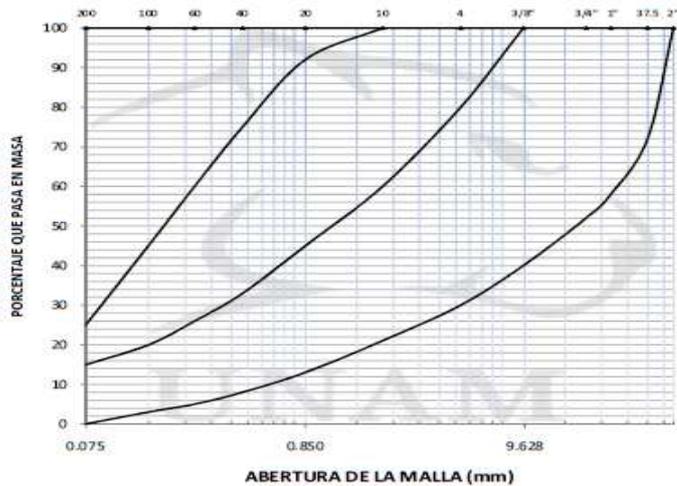
NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
DESVIACIÓN: \_\_\_\_\_ A LA \_\_\_\_\_  
CARRETERA: \_\_\_\_\_ TRAMO: \_\_\_\_\_  
ESTADO ACTUAL: \_\_\_\_\_

#### DATOS DE MUESTREO

MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE  BASE   
DESCRIPCIÓN PECTOGRÁFICA MATERIAL: \_\_\_\_\_  
CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO: \_\_\_\_\_  
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: \_\_\_\_\_

PROPIEDADES DEL MATERIAL	
y <sub>ss</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
y <sub>smax</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
w <sub>OPTIMA</sub> %	_____ %
y <sub>m sitio</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
w% sitio=	_____ %

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	MALLA		% RETENIDO
	EN 50.00		
	EN 37.00		18
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	MALLA		PRUEBA
	ABERTURA	DESIGNACIÓN	MATERIAL
	50.0	2"	
	37.5	1 1/2"	
	25.0	1"	
	19.00	3/4"	
	9.50	3/8"	
	4.75	4	
	2.00	10	
	0.850	20	
	0.425	40	
	0.250	60	
	0.150	100	
0.075	200		



N-CMT 4.02.00 1/04

CLASIFICACIÓN SCT.	PRUEBAS		RESULT	NORMA SCT
	_____	LÍMITE LÍQUIDO (LL) %	_____	25
_____	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP) %	_____	6	
TAMAÑO MÁXIMO _____ P <sub>ulg.</sub>	EXPANSIÓN (%)	_____		
DURABILIDAD _____	VRS (%)	_____	60	
ABSORCIÓN _____ %	EQUIV. DE ARENA (%)	_____	40	
DENSIDAD _____	DESGASTE DE LOS ANGELES	_____	40	
	GRADO DE COMPACTACIÓN	_____	100	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
LABORATORISTA

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
JEFE DE UNIDAD DE LABORATORIO



## FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE BASE HIDRÁULICA.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES BASE HIDRAULICA

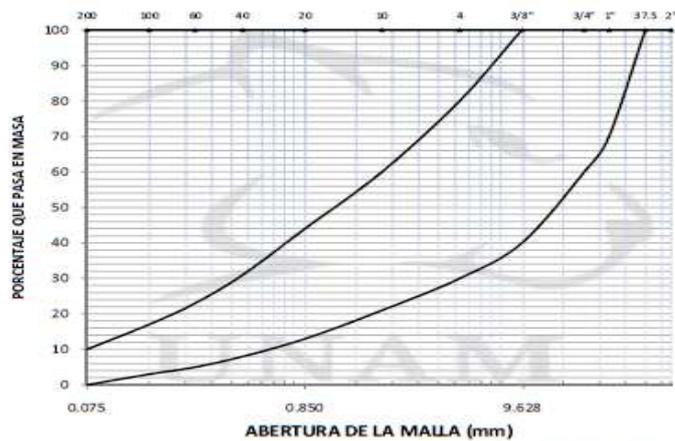


NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
DESVIACIÓN: \_\_\_\_\_ A LA \_\_\_\_\_  
CARRETERA: \_\_\_\_\_ TRAMO: \_\_\_\_\_  
ESTADO ACTUAL: \_\_\_\_\_

DATOS DE MUESTREO	
MATERIAL PARA CAPA DE:	SUB-BASE <input type="checkbox"/> BASE <input type="checkbox"/>
DESCRIPCION PECTOGRAFICA MATERIAL:	_____
CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	_____
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	_____

PROPIEDADES DEL MATERIAL	
y <sub>SS</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
y <sub>m</sub> max=	_____ kg/m <sup>3</sup>
w <sub>OPTIMA</sub> %	_____ %
y <sub>m</sub> sitio=	_____ kg/m <sup>3</sup>
w% sitio=	_____ %

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS	MALIA		PRUEBA
	ABERTURA mm	DESIGNACION	MATERIAL
	37.5	1 1/2"	
	25.0	1"	
	19.00	3/4"	
	9.50	3/8"	
	4.75	4	
	2.00	10	
	0.850	20	
	0.425	40	
	0.250	60	
	0.150	100	
	0.075	200	



N-CMT 4.02.002/04

	PRUEBAS	RESULT	NORMA SCT
CLASIFICACION SCT.	LIMITE LIQUIDO (LL) %		25
	INDICE DE PLASTICIDAD (IP) %		6
TAMAÑO MAXIMO _____ Pulg.	EXPANSIÓN (%)		
	PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS		40
DURABILIDAD _____	VRS (%)		80
ABSORCIÓN _____ %	EQUIV. DE ARENA (%)		40
DENSIDAD _____	DESGASTE DE LOS ANGELES		35
	GRADO DE COMPACTACION		100

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

\_\_\_\_\_  
LABORATORISTA

\_\_\_\_\_  
JEFE DE UNIDAD DE LABORATORIO



## FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE BASE MEZCLA ASFÁLTICA

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES BASE MEZCLA ASFALTICA



NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
 DESVIACIÓN: \_\_\_\_\_ A LA \_\_\_\_\_  
 CARRETERA \_\_\_\_\_ TRAMO: \_\_\_\_\_  
 ESTADO ACTUAL: \_\_\_\_\_

#### DATOS DE MUESTREO

Ensayes # \_\_\_\_\_  
 MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE  BASE   
 DESCRIPCION PECTOGRAFICA MATERIAL: \_\_\_\_\_  
 CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: \_\_\_\_\_  
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: \_\_\_\_\_

PROPIEDADES DEL MATERIAL	
y <sub>SS</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
y <sub>max</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
w <sub>OPTIMA</sub> %	_____ %
y <sub>m</sub> sitio=	_____ kg/m <sup>3</sup>
w% sitio=	_____ %

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS	MALLA		PRUEBA
	ABERTURA mm	DESIGNACIÓN	MATERIAL
	37.5	1 1/2"	
	25.0	1"	
	19.00	3/4"	
	9.50	3/8"	
	4.75	4	
	2.00	10	
	0.850	20	
	0.425	40	
	0.250	60	
	0.150	100	
	0.075	200	



N-CMT 4.02.002/04

	PRUEBAS	RESULT	NORMA SCT
CLASIFICACION SCT.	LIMITE LIQUIDO (LL) %		25
	INDICE DE PLASTICIDAD (IP) %		6
	EXPANSIÓN (%)		
TAMAÑO MAXIMO _____ Pulg.	PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS		35
DURABILIDAD _____	VRS (%)		100
ABSORCIÓN _____ %	EQUIV. DE ARENA (%)		50
DENSIDAD _____	DESGASTE DE LOS ANGELES		30
	GRADO DE COMPACTACION		100

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

\_\_\_\_\_

LABORATORISTA

JEFE DE UNIDAD DE LABORATORIO



## FORMATO PARA ENSAYE EN MATERIALES DE BASE DE CONCRETO HID.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES BASE PAVIMENTO ASFALTICOS Y PAV. DE CONCRETO HIDRAULICO.

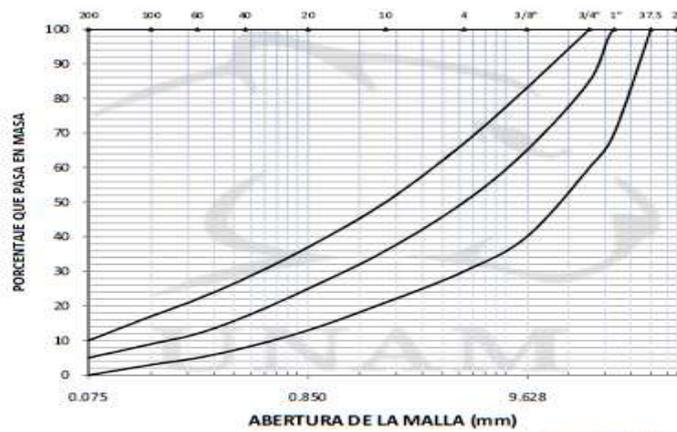


NOMBRE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
DESVIACION: \_\_\_\_\_ A LA \_\_\_\_\_  
CARRETERA \_\_\_\_\_ TRAMO: \_\_\_\_\_  
ESTADO ACTUAL: \_\_\_\_\_

DATOS DE MUESTREO	
Ensayes #	_____
MATERIAL PARA CAPA DE:	SUB-BASE <input type="checkbox"/> BASE <input type="checkbox"/>
DESCRIPCION PECTOGRAFICA MATERIAL:	_____
CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:	_____
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:	_____

PROPIEDADES DEL MATERIAL	
y <sub>SS</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
y <sub>smax</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
w <sub>OPTIMA</sub> %	_____ %
y <sub>m sitio</sub> =	_____ kg/m <sup>3</sup>
w% sitio=	_____ %

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS	MALLA		PRUEBA
	ABERTURA mm	DESIGNACION	MATERIAL
	37.5	1 1/2"	
	25.0	1"	
	19.00	3/4"	
	9.50	3/8"	
	4.75	4	
	2.00	10	
	0.850	20	
	0.425	40	
	0.250	60	
	0.150	100	
	0.075	200	



N-CMT 4.02.002/04

	PRUEBAS	RESULT	NORMA SCT
CLASIFICACION SCT.	LIMITE LIQUIDO (LL) %		25
	INDICE DE PLASTICIDAD (IP) %		6
	EXPANSIÓN (%)		
TAMAÑO MAXIMO _____ Pulg.	PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS		35
DURABILIDAD _____	VRS (%)		100
ABSORCIÓN _____ %	EQUIV. DE ARENA (%)		50
DENSIDAD _____	DESGASTE DE LOS ANGELES		30
	GRADO DE COMPACTACION		100

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

\_\_\_\_\_  
LABORATORISTA

\_\_\_\_\_  
JEFE DE UNIDAD DE LABORATORIO



## PRUEBA DE COMPACTACIÓN EN CAMPO FORMATO DE CAMPO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION EN EL LUGAR



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
SUBTRAMO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
ORIGEN: \_\_\_\_\_  
CAPA: \_\_\_\_\_  
PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_

#### CARACTERISTICAS DEL SITIO PARA LA PRUEBA

SONDEO: \_\_\_\_\_ Capa # \_\_\_\_\_  
ESTACION: \_\_\_\_\_ Tipo de material: \_\_\_\_\_  
LUGAR: \_\_\_\_\_

#### DATOS DE LA PRUEBA

Wi de arena (g)				
Wf de arena (g)				
W de arena en cala (g)				
Vde la cala (cm <sup>3</sup> )				
Wsh (g)				
ym (kg/m <sup>3</sup> )				
#Capsula				
Wcapsula				
Wsh+capsula				
Wss+capsula				
Wa				
Wss				
w%				

#### RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA.

yd (kg/m <sup>3</sup> )				
ydmax (kg/m <sup>3</sup> )				
Grado de compactacion.				

#### CROQUIS DE LOCALIZACION.

	No. SONDEO _____
	No. INFORME _____
	ELAVORO: _____
	REVISO _____



## PRUEBA COMPACTACIÓN CONO DE ARENA. FORMATO DE CAMPO Y LABORATORIO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

CONTROL DE COMPACTACION  
METODO DEL CONO DE ARENA  
PESO VOLUMETRICO DEL MATERIAL COMPACTO



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
No. PASADAS: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
SUPERVISOR: \_\_\_\_\_  
CALCULO: \_\_\_\_\_

CALA No. \_\_\_\_\_ UBICACIÓN ESTACION \_\_\_\_\_ DISTANCIA \_\_\_\_\_ m  
ELEVACION SUPERFICIE TERRAPLEN \_\_\_\_\_ PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ cm

### CALIBRACION

CONO		PESO VOLUMETRICO ARENA	
Peso inicial recipiente + arena	_____ kg	Peso inicial recipiente + arena	_____ kg
peso final recipiente + arena	_____ kg	Peso final recipiente + arena	_____ kg
peso arena con cono	_____ kg	Peso arena en cono + molde	_____ kg

### MOLDE

Altura: \_\_\_\_\_ cm      Diámetro interior: \_\_\_\_\_ cm  
Volumen \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>      Peso volumetrico seco de la arena \_\_\_\_\_ kg/m<sup>3</sup>

### DESCRIPCION DE ARENA

### DETERMINACION DE CAMPO DEL PESO VOLUMETRICO

HUMEDAD TIERRA		HUMEDAD GRAVA	
Peso humedo + tara =	_____ g	Peso humedo + tara =	_____ g
Peso seco + tara =	_____ g	Peso seco + tara =	_____ g
Peso tara No. =	_____ g	Peso tara No. =	_____ g
Peso seco = W <sub>s</sub>	_____ g	Peso Seco W <sub>s1</sub> =	_____ g
Peso agua = W <sub>w</sub>	_____ g	Peso agua W <sub>w</sub> =	_____ g
Humedad % = $\frac{W_w}{W_s} \times 100$	_____ %	Humedad % = $\frac{W_w}{W_s} \times 100$	_____ %

### VOLUMEN DE CAVIDAD

Peso recipiente + arena antes de la prueba = \_\_\_\_\_ Kg  
Peso recipiente + arena despues de la prueba = \_\_\_\_\_ Kg  
Peso arena en cavidad y cono = \_\_\_\_\_ Kg  
Peso arena en cono = \_\_\_\_\_ Kg  
Peso arena en cavidad = \_\_\_\_\_ Kg  
Volumen de la cavidad V = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

### SUELO EXCAVADO

Peso material humedo + tara = \_\_\_\_\_ kg  
Peso tara No. = \_\_\_\_\_ kg  
Peso material humedo = \_\_\_\_\_ kg  
Peso tierra humeda No = \_\_\_\_\_ kg  
Peso tierra humeda N1 = \_\_\_\_\_ kg  
Peso tierra seca  $\frac{W_s}{1 + \frac{W_w}{100}}$  = \_\_\_\_\_ kg  
peso grava seca  $\frac{W_{s1}}{1 + \frac{W_{w1}}{100}}$  = \_\_\_\_\_ kg  
peso total seco W<sub>s</sub> + W<sub>s1</sub> = \_\_\_\_\_ kg

### PESO VOLUMETRICO SECO

Peso volumetrico combinado  
 $\rho_{sc} = \frac{W_s + W_{s1}}{V} \quad \text{Kg/m}^3$   
Peso volumetrico tierra  
 $\rho_{st} = \frac{W_s}{V} \quad \text{Kg/m}^3$

Observaciones \_\_\_\_\_

Operador \_\_\_\_\_ Calculo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_



## VALOR RELATIVO DE SOPORTE FORMATO LABORATORIO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

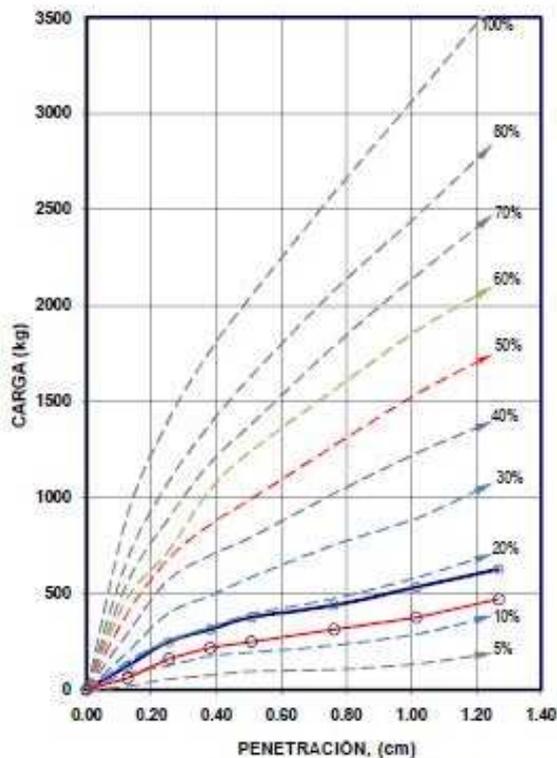
### Valor Relativo de Soporte (VRS)



OBRA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
 SUBTRAMO: \_\_\_\_\_ SONDEO: \_\_\_\_\_ MUESTRA: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_ PROF.: \_\_\_\_\_ PROF. MEDIA: \_\_\_\_\_

CARACT. MOLDE	MUESTRA	Características material + molde	Características material
Molde No.= _____	Tara número= _____	Wsh=MOLDE= _____	Altura material= _____
Altura molde= _____	Wtara= _____	Wsh=molde= _____	Vol. molde= _____
Area molde= _____	Wsh=tara= _____	Altura faltante 1= _____	P.V. húmedo= _____
Peso molde= _____	Wss=tara= _____	Altura faltante 2= _____	P.V. seco= _____
	W%= _____	Altura falt. prom.= _____	

GRAFICA CARGA - PENETRACION



DATOS DE LA PRUEBA VRS

S I N S A T U R A R I I	PENETRACION BASTAGO CM	PRESION ANILLO kg/cm2	CARGA kg	PENETRACION BASTAGO kg/cm2
	0.000			
	0.127			
	0.254			
	0.381			
	0.508			
	0.762			
	1.016			
	1.270			

V.R.S. = \_\_\_\_\_

S A T U R A R I O	PENETRACION BASTAGO CM	PRESION ANILLO kg/cm2	CARGA kg	PENETRACION BASTAGO kg/cm2
	0.000			
	0.127			
	0.254			
	0.381			
	0.508			
	0.762			
	1.016			
	1.270			

V.R.S. = \_\_\_\_\_

LECTURA INICIAL= \_\_\_\_\_

LECTURA FINAL= \_\_\_\_\_

EXPANSIÓN= \_\_\_\_\_

CALIDAD DEL MATERIAL: \_\_\_\_\_

Descripción de material: Arcilla de plasticidad intermedia con arena y presencia de gravas. (CL)







**PRUEBA EN ASFALTOS.**  
**FORMATO DESTILACIÓN EN ASFALTOS.**

Universidad Nacional Autónoma de México  
 Facultad de estudios superiores Aragón  
 Laboratorio de geotecnia

**PRUEBA DESTILACION DE ASFALTOS**



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
 ENSAYE \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 CALCULO: \_\_\_\_\_

TIPO DE PRODUCTO	PESO MATRAZ (g)	PESO MATERIAL (g)	PESO MATRAZ + PMAT ASFALTICO (g)	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN (ml)	% RESIDUO DE DEST

% DE CEMENTO ASFALTICO \_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**PRUEBA EN ASFALTOS.**  
**FORMATO VISCOSIDAD EN ASFALTOS.**

Universidad Nacional Autónoma de México  
 Facultad de estudios superiores Aragón  
 Laboratorio de geotecnia

**PRUEBA VISCOSIDAD DE ASFALTO**



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
 ENSAYE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 CALCULO: \_\_\_\_\_

MATERIAL PARA PRUEBA	PESO MATERIAL (g)	TIEMPO (seg)	TEMPERAURA (°C)

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



**PRUEBA PUNTO DE INFLAMACIÓN.  
FORMATO DE LABORATORIO.**

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_ N° DE ENSAYE: \_\_\_\_\_  
RESIDENTE DE OBRA \_\_\_\_\_ FECHA DE INICIO: \_\_\_\_\_  
CONSTRUCTORA \_\_\_\_\_ FECHA DE TERMINO: \_\_\_\_\_  
MUESTREADOR \_\_\_\_\_ CALCULO: \_\_\_\_\_

**PUNTO DE INFLAMACION**

TIPO DE PRODUCTO ASFALTICO	PUNTO DE INFLAMACION (T1).	PUNTO DE COMBUSTION (T2).	PRESION BAROMETRICA

**FORMULA CORRECCION**  
 $tn' = tn + 0.25(101.3 - P)$  Kpa  
 $tn' = tn + 0.033(760 - P)$  mmHg

**DATOS CORREGIDOS**

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_ PUNTO DE INFLAMACION (t1) \_\_\_\_\_ Kpa  
 \_\_\_\_\_ PUNTO DE COMBUSTION (t2) \_\_\_\_\_ mmHg

\_\_\_\_\_  
Nombre y Firma de Jefe de Laboratorio de Control de Calidad





## INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS DE CONCRETO SIMPLE FORMATO DE LABORATORIO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia

### PRUEBAS FISICAS EN TUBOS DE CONCRETO SIMPLE



PROYECTO: \_\_\_\_\_  
LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
ENSAYO N° \_\_\_\_\_  
REALIZO \_\_\_\_\_  
CALCULO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### IDENTIFICACION D ELA MUESTRA

No. DE ENSAYE				
No. DE TUBO				
PARA EMPLEARSE EN	_____			

DIMENSIONES DE LA	ESPECIFICACIONES			
-------------------	------------------	--	--	--

LONGITUD TOTAL				
PROFUNDIDAD CAMPANA				
LONGITUD SIN CAMPANA				
LONGITUD UTIL				
DIAMETRO EXTERIOR				
DIAMETRO INTERIOR				
ESPEOR DE TURO				
DIAM DE LA BOCA D ELA CAMPANA				

CARACTERISTICAS DE PRUEBAS EFECTUADAS EN LA	ESPECIFICACIONES			
---	------------------	--	--	--

LONGITUD DE LA PRUEBA cm				
CARGA MAXIMA kg				
CARGA MAXIMA kg/m				
ABSORCION%				

#### OBCERVACIONES

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

_____ LABORATORISTA	_____ JEFE DE LABORATORIO	_____ Vo Bo
------------------------	------------------------------	----------------



## REGISTRO DE COLADO EN SITIO FORMATO DE CAMPO.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de estudios superiores Aragón  
Laboratorio de geotecnia



### REGISTRO DE COLADO EN SITIO

OBRA: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
 RESIDENTE DE OBRA: \_\_\_\_\_  
 CONSTRUCTORA: \_\_\_\_\_ FECHA DE COLADO: \_\_\_\_\_  
 MUESTREADOR: \_\_\_\_\_

#### DATOS OBTENIDOS DE LA ENTREGA

REVENIMIENTO DE PROYECTO: \_\_\_\_\_ Fc proyecto: \_\_\_\_\_  
 TIPO DE CEMENTO: \_\_\_\_\_ Fc sitio: \_\_\_\_\_  
 ADITIVOS: \_\_\_\_\_ TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO: \_\_\_\_\_

PREMEZCLADORA	NO. OLLA	REMISIÓN No.	HORA SALIDA PLANTA	HORA LLEGADA A OBRA	HORA INICIO VACIADO	HORA TERMINO	VOLUMEN m <sup>3</sup>	PESO CUBETA Kg/m <sup>3</sup>	REV-1	REV-2	NO. MUESTRA	NO. CILINDRO	LOCALIZACIÓN Y ELEMENTOS COLADOS

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 Nombre y Firma de Jefe de Laboratorio de Control de Calidad

\_\_\_\_\_  
 Nombre y Firma de Muestreado

\_\_\_\_\_  
 Nombre y Firma del Cliente y/o Residente de Obra



**ANEXOS**

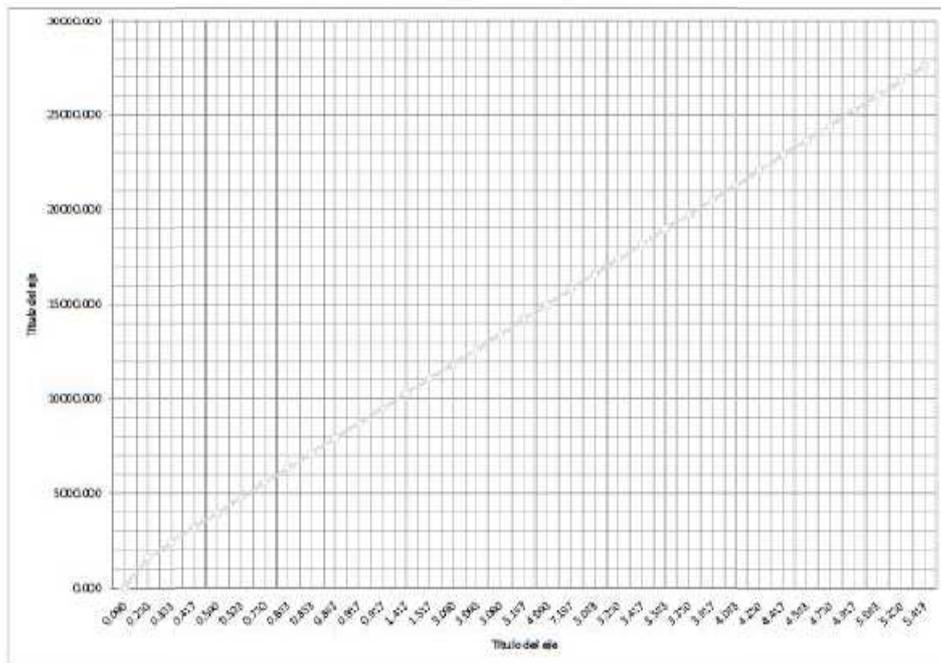
**ACERO**





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ARAGON"  
LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL

GRAFICA ESFUERZO - DEFORMACION



Esfuerzo de Fluencia =  $P_y$  (kg/cm<sup>2</sup>) / Área real (cm<sup>2</sup>) = \_\_\_\_\_  
Módulo de elasticidad =  $(P/L)/\Delta L$  = \_\_\_\_\_  
Límite de proporcionalidad o límite elástico: \_\_\_\_\_



## REFERENCIAS

### **GUÍA PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS EN EL CONCRETO, (REPORTE PREPARADO POR EL COMITÉ ACI-212)**

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, AC, AÑO 1974

### **PRONTUARIO DEL HORMIGÓN**

AUTOR: ALFREDO HUMMEL

EDICIÓN: EDITORES TÉCNICO ASOCIADOS, S. A.

MAIGNON 26 BARCELONA ESPAÑA, 1966

2ª EDICION ESPAÑOLA

### **ENSAYE E INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES DE INGENIERÍA**

AUTORES: HAMER E. DAVIS, GEORGE FARI TROXELL, CLEMENT W. WISKOCIL

EDITORIAL: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. MÉXICO

OCTAVA IMPRESIÓN MAYO DE 1981

### **CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERÍA**

AUTOR: CARL A. KEYSER, RALPHEAR

EDITORIAL LIMUSA-WILEY S. A.

PRIMERA EDICIÓN 1972

### **PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO**

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

EDITORIAL LIMUSA S. A. 1998

### **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**

AUTOR: A.M.NEVILLE

EDITORIAL: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO 1977

### **NORMA 211-1-70 ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE).**

### **NORMA N.CMT.2.02.005/04 DE LA S.C.T**

### **CONTROL DE CALIDAD EN HORMIGONES**

AUTOR: V. OROZCO

EDITORIAL CIGC 2004

### **NORMA 207-22-IR ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)**

### **NORMA NMX-C-407-ONNCCE-2001**

**NORMA N.CMT.2.03.001.07.**

### **GEOTECNIA**

AUTOR: SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS

EDITORIAL: COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD 2006.

### **“Mecánica de suelos “**

AUTOR: JUÁREZ BADILLO

EDITORIAL: LIMUSA

### **“MANUAL DE MECÁNICA DE SUELOS”**

AUTOR: SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS

EDITORIAL: TALLERES DE GRAFICA PANAMERICANA.1970

### **“NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS”.**



AUTOR: SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE  
EDITORIAL: TALLERES DE NOGRAF 1987.

**MANUAL DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.**

AUTOR: SOCIEDAD MEXICANA DE MECÁNICA DE SUELOS  
EDITORIAL: SOCIEDAD MEXICANA DE MECÁNICA DE SUELOS 2001  
MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL.  
AUTOR: JOSEPH E BOWLES  
EDITORIAL: MCGRAW HILL.

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS**

AUTOR: DRA. LOURDES FLORES DELGADILLO  
EDITORIAL: INSTITUTO DE GEOLOGÍA UNAM.

**CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS MEDIANTE ANÁLISIS DE ONDAS DE SUPERFICIE.**

AUTOR: ING SALVADOR DIAZ DEL CASTILLO  
EDITORIAL: ai MÉXICO 2007.

**NORMAS ASTM**

*D-422 Granulometría.*  
*D-2419 Equivalente de arena.*  
*D-854 Densidad relativa de sólidos.*  
*D-2435 Consolidación unidimensional*  
*D-4318 Limite liquido y plástico.*  
*D-698 Compactación Proctor.*  
*D- 2850 Compresión simple*  
*D- 2216 Contenido de agua.*  
*D- 2487 Clasificación de suelos SUCS.*  
*D-4829 Índice de expansión de suelos.*  
*D-2434 Permeabilidad de carga constante en suelos granulares.*  
*D-1586 Penetración estándar*  
*T-180 o2 Proctor modificado.*  
*C-39 Esfuerzo de compresión en cilindros de concreto.*  
*C-1231 Uso de almohadillas de refrentado para compresión en cilindros de concreto.*  
*C- 143 Prueba de revenimiento en concreto.*  
*C- 231 Método estándar determinación de cont aire por me todo de presión.*

**APUNTES DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**

AUTOR: DRA. ING. ABRAHAM POLANCO RODRÍGUEZ.

**ARTICULO ESTADO DEL ARTE DEL RELLENO FLUIDO PARA SU-BASES Y BASES GRANULARES.**

AUTOR: ING. LUZ ELENA SANTILLANA VALENCIA.  
INGENIERÍA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN  
REVISTA CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA 2002

**SEMINARIO DE TALLERES DE MECÁNICA DE SUELOS Y EXPLORACION GEOTECNIA.**

AUTOR: ING. ANTONIO CAMPOS SIGUEÑAZ, ING. OSCAR VÁSQUEZ HUAMANI  
EDICION DIGITAL: ING. SILENE MINAYA GONZALES. DOCENTE DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE SUELOS 2002.



**MANUAL DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS.**

AUTOR: PAUL GARMICA ANGUAS, JOSÉ ANTONIO GÓMEZ LÓPEZ, JESÚS ARMANDO SESMA MARTÍNEZ  
EDICIÓN: PUBLICACIÓN TÉCNICA No. 197 SCT Y IMT. 2002.

**INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS.**

AUTOR: ING. ALFONSO MONTEJO FONSECA  
EDITORIAL: UNIVERSAL CATÓLICA DE COLOMBIA 2002

**INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES.**

AUTOR: ING. GORDON KELLER, JAMES SHERAR.  
EDITORIAL: IMT – SCT 2004.

**INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES**

AUTOR: ING. RICO RODRÍGUEZ ALFONZO  
EDITORIAL: LIMUSA 2005.

**VÍAS DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: ING. CARLOS CRESPO  
EDITORIAL: LIMUSA 2004.

**MECÁNICA DE SUELOS**

AUTOR: THOMAS WILLIAM LAMBER ROBERT  
EDITORIAL: NORIEGA EDITORES 1991.

**MANUAL PARA LAS PRACTICAS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS I**

AUTOR: CRUZ VALDEZ FRANCISCO  
EDITORIAL: F. CRUZ VALDEZ 1976..

**APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA MECÁNICA DE SUELOS**

AUTOR: RAÚL VALLE RODAS  
EDITORIAL: NEGOCIADO DE CARRETERAS DEPARTAMENTO DE OBRAS PUBLICAS 1961.