

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS
CIVILES**

**TEMA:
MANUAL DE LABORATORIO PARA LOS ENSAYOS DE VÍAS Y
PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA PARTE I**

**AUTORES:
MARCELO JAVIER CÓRDOVA RUIZ
CHRISTIAN FERNANDO CORNEJO AGUAS**

**TUTOR:
HUGO PATRICIO CARRIÓN LATORRE**

Quito, octubre del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Marcelo Javier Córdova Ruiz, con documento de identificación N° 060398309-9; Christian Fernando Cornejo Aguas, con documento de identificación N° 172649777-7, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que somos autores del trabajo de titulación intitulado: "MANUAL DE LABORATORIO PARA LOS ENSAYOS DE VÍAS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA PARTE I", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Marcelo Javier Córdova Ruiz

0603983099



Christian Fernando Cornejo Aguas

1726497777

Quito, octubre del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, **MANUAL DE LABORATORIO PARA LOS ENSAYOS DE VÍAS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA PARTE I**, realizado por Marcelo Javier Córdova Ruiz y Christian Fernando Cornejo Aguas, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre del 2019



Hugo Patricio Carrión Latorre

0603015728

DEDICATORIA

Es vital para mí como humilde gesto de profundo agradecimiento dedicar este trabajo de titulación.

A mis padres Fausto y Margarita por ser esos pilares esenciales en mi vida, cuya fortaleza, dedicación, amor incondicional y sobre todo perseverancia en la vida nunca me dejaron desfallecer en encontrar mi camino y conseguir mi meta.

A mis hermanos Liliana, Adrián y Anabel, seres llenos de consejos y apoyo incondicional en mi vida, me siento tan honrado de ser su hermano y poder compartir toda mi vida junto a ustedes, estoy muy feliz de compartir este pedazo de alegría con ustedes.

A mis sobrinos Crhistopher, Ana, Alicia, y Eliana ángeles puestos en mi camino para robarme momentos de alegría y apoyarme con sus sonrisas en mis metas.

A mi amada esposa Daniela, que, con su amor incondicional y su dedicación, siempre ha estado presente en mi vida brindándome una caricia y una palabra de aliento para sacarme del bache, agradezco tenerte a mi lado, porque siempre presionaste para que pueda conseguir mi meta. Gracias por ser mi persona, el eje de mi mundo.

A mi Ethan Mateo amado hijo te has convertido en el motor de mi vida al que le dedico todo mi esfuerzo, amor y paciencia, gracias por presentarte en el momento indicado y llenar de luz mi ser, sin duda alguna disfrutaremos de muchos logros juntos.

A mis suegros, mi cuñado y amigos por estar siempre presentes con palabras de aliento ayuda incondicional y buenos deseos para conmigo.

MARCELO CÓRDOVA.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios por permitirme vivir momentos de felicidad en mi trayectoria estudiantil, a mi amada madre Gladys por ser la esencia en mi vida, mi fortaleza y felicidad que con paciencia me supo apoyar a cada instante de mi carrera, a mis hermanos Andrés & Juan que son personas que quiero y admiro mucho, a mi familia tíos, primos, amigos por su amistad y cariño, quienes se mostraron participativos a lo largo de mi formación académica.

De igual manera al Ing. Miguel Changoluisa persona la cual admiro y estimo mucho quien me ayudo en mi trayectoria académica fomentándome sus conocimientos y experiencias para tener un mejor desarrollo en el campo de la Ingeniería Civil.

Es muy gratificante para mi haber compartido con mis amigos Omar, Paulina, Fabricio y muchos amigos más que fueron pilares fundamentales en el día a día de la formación académica, muchas gracias a todos.

CHRISTIAN FERNANDO CORNEJO AGUAS.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a todo el personal docente de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes supieron infundir de la mejor forma posible en cada uno de nosotros sus enseñanzas y conocimientos los cuales nos servirán para ser mejores profesionales.

De manera especial queremos agradecer al Ingeniero Hugo Patricio Carrión Latorre, quien fue nuestro importante guía y excelente tutor, sabiendo transmitir de manera muy acertada todos sus conocimientos y experiencia.

MARCELO CÓRDOVA & CHRISTIAN CORNEJO

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	ANTECEDENTES	2
1.3	OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5	APLICACIÓN INGENIERIL.....	3
2	CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA SUB RASANTE	5
2.1	CBR EN LABORATORIO. ENSAYO N. ° 1	5
2.1.1	INTRODUCCIÓN.....	5
2.1.2	OBJETIVO	5
2.1.3	ALCANCE	5
2.1.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
2.1.5	PROCEDIMIENTO.	6
2.1.6	EQUIPO UTILIZADO.....	12
2.1.7	CÁLCULOS.....	15
2.1.8	NORMATIVA.....	21
2.1.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 1	21
2.1.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	30
2.2	CONTROL DE SUBRASANTE DCP. ENSAYO N. ° 2.....	31
2.2.1	INTRODUCCIÓN.....	31
2.2.2	OBJETIVO	31

2.2.3	ALCANCE	31
2.2.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	31
2.2.5	PROCEDIMIENTO.	32
2.2.6	EQUIPO UTILIZADO.....	33
2.2.7	CÁLCULOS.....	35
2.2.8	NORMATIVA DCP.....	35
2.2.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 2.....	35
2.2.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	38
3	CAPÍTULO III. MEJORAMIENTO DEL SUELO DE SUB RASANTE	39
3.1	ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO ENSAYO N. ° 3	39
3.1.1	INTRODUCCIÓN.....	39
3.1.2	OBJETIVO.....	39
3.1.3	ALCANCE.....	39
3.1.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	40
3.1.5	PROCEDIMIENTO.	40
3.1.6	EQUIPO UTILIZADO.....	45
3.1.7	CÁLCULOS.....	48
3.1.8	NORMATIVA.....	50
3.1.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 3.....	50
3.1.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	61
3.2	ESTABILIZACIÓN CON CAL. ENSAYO N. ° 4.....	62

3.2.1	INTRODUCCIÓN.....	62
3.2.2	OBJETIVO	63
3.2.3	ALCANCE	63
3.2.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	63
3.2.5	PROCEDIMIENTO.	64
3.2.6	EQUIPO UTILIZADO.....	66
3.2.7	CÁLCULOS.....	68
3.2.8	NORMATIVA.....	68
3.2.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 4	68
3.2.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	75
4	CAPÍTULO IV. CAPA DE RODADURA	77
4.1	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE - MÉTODO MARSHALL.....	77
4.1.1	INTRODUCCIÓN.....	77
4.1.2	OBJETIVO.....	77
4.1.3	ALCANCE.....	78
4.1.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	78
4.1.5	PROCEDIMIENTO.	79
4.1.6	EQUIPO UTILIZADO.....	90
4.1.7	CÁLCULOS.....	95
4.1.8	NORMATIVA.....	102
4.1.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 5	102

4.1.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	119
4.2	DENSIDAD RICE (MÉTODO MARSHALL). ENSAYO N. ° 7.....	122
4.2.1	INTRODUCCIÓN.....	122
4.2.2	OBJETIVO.....	122
4.2.3	ALCANCE.....	122
4.2.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	122
4.2.5	PROCEDIMIENTO.....	123
4.2.6	EQUIPO UTILIZADO.....	124
4.2.7	CÁLCULOS.....	126
4.2.8	NORMATIVA.....	127
4.2.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 7.....	127
4.2.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	128
4.3	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO CON HORNO DE IGNICIÓN. ENSAYO N. ° 8.....	129
4.3.1	INTRODUCCIÓN.....	129
4.3.2	OBJETIVO.....	129
4.3.3	ALCANCE.....	129
4.3.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	130
4.3.5	PROCEDIMIENTO.....	130
4.3.6	EQUIPO UTILIZADO.....	133

4.3.7	CÁLCULOS.....	134
4.3.8	NORMATIVA.....	135
4.3.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 8.....	135
4.3.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	137
4.4	DUCTILIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 9	138
4.4.1	INTRODUCCIÓN.....	138
4.4.2	OBJETIVOS.....	138
4.4.3	ALCANCE	139
4.4.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	139
4.4.5	PROCEDIMIENTO.	139
4.4.6	EQUIPO UTILIZADO	142
4.4.7	CÁLCULOS.....	143
4.4.8	NORMATIVA DUCTILIDAD	143
4.4.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 9.....	143
4.4.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	145
4.5	PENETRACIÓN PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. °	
10	146	
4.5.1	INTRODUCCIÓN.....	146
4.5.2	OBJETIVOS.....	146
4.5.3	ALCANCE	146

4.5.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	146
4.5.5	PROCEDIMIENTO.	147
4.5.6	EQUIPO UTILIZADO.....	148
4.5.7	NORMATIVA.....	150
4.5.8	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 10.....	150
4.5.9	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	152
4.6	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ANILLO Y BOLA) PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 11	153
4.6.1	INTRODUCCIÓN.....	153
4.6.2	OBJETIVO.....	153
4.6.3	ALCANCE.....	153
4.6.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	154
4.6.5	PROCEDIMIENTO.	154
4.6.6	EQUIPO UTILIZADO.....	156
4.6.7	NORMATIVA.....	158
4.6.8	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 11	158
4.6.9	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	160
4.7	ÍNDICE DE PENETRACIÓN PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 12	161
4.7.1	INTRODUCCIÓN.....	161
4.7.2	OBJETIVO.....	161

4.7.3	ALCANCE	161
4.7.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	161
4.7.5	PROCEDIMIENTO Y CÁLCULO.....	161
4.7.6	EQUIPO UTILIZADO	163
4.7.7	NORMATIVA.....	163
4.7.8	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 12	163
4.7.9	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	165
4.8	VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 13	166
4.8.1	INTRODUCCIÓN.....	166
4.8.2	OBJETIVO.....	166
4.8.3	ALCANCE.....	167
4.8.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	167
4.8.5	PROCEDIMIENTO.....	167
4.8.6	EQUIPO UTILIZADO	169
4.8.7	CÁLCULOS.....	170
4.8.8	NORMATIVA.....	171
4.8.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 13	171
4.8.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	173

4.9 PUNTO DE INFLAMACIÓN Y LLAMA DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

ENSAYO N. ° 14	174
4.9.1 INTRODUCCIÓN.....	174
4.9.2 OBJETIVO	175
4.9.3 ALCANCE	175
4.9.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	175
4.9.5 PROCEDIMIENTO.	175
4.9.6 EQUIPO UTILIZADO	178
4.9.7 NORMATIVA.....	180
4.9.8 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 14.....	180
4.9.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	182
4.10 MEZCLA EN FRIO.....	183
4.10.1 INTRODUCCIÓN.....	183
4.10.2 OBJETIVO.	184
4.10.3 ALCANCE.....	184
4.10.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.	185
4.10.5 PROCEDIMIENTO.....	186
4.11 CALIDAD DEL AGREGADO TIPO B (MEZCLA EN FRIO). ENSAYO N. ° 15 188	
4.11.1 INTRODUCCIÓN.....	188
4.11.2 OBJETIVO.	188

4.11.3	ALCANCE.....	188
4.11.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.	188
4.11.5	PROCEDIMIENTO.....	189
4.11.6	EQUIPO UTILIZADO	190
4.11.7	CÁLCULOS.	192
4.11.8	NORMATIVA.....	192
4.11.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 15	192
4.11.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	194
4.12	CALIDAD DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA. (MEZCLA EN FRIO).	
	ENSAYO N. ° 16	195
4.12.1	INTRODUCCIÓN.....	195
4.12.2	OBJETIVO.	195
4.12.3	ALCANCE.....	196
4.12.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.	196
4.12.5	PROCEDIMIENTO.....	196
4.12.6	EQUIPO UTILIZADO	198
4.12.7	NORMATIVA.....	198
4.12.8	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 16	198
4.12.9	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	200

4.13	TIPO Y CANTIDAD APROXIMADA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	
	CATIÓNICA. (MEZCLA EN FRIO). ENSAYO N. ° 17	201
4.13.1	INTRODUCCIÓN.....	201
4.13.2	OBJETIVOS	202
4.13.3	ALCANCE.....	202
4.13.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.	202
4.13.5	PROCEDIMIENTO.....	202
4.13.6	EQUIPO UTILIZADO	203
4.13.7	CÁLCULOS.	203
4.13.8	NORMATIVA.....	204
4.13.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 17	204
4.13.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	206
4.14	HUMEDAD DE COMPACTACIÓN (PRE ENVUELTA). (MEZCLA EN	
	FRIO). ENSAYO N. ° 18	206
4.14.1	INTRODUCCIÓN.....	206
4.14.2	OBJETIVO.	206
4.14.3	ALCANCE.....	206
4.14.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.	206
4.14.5	PROCEDIMIENTO.....	207
4.14.6	EQUIPO UTILIZADO	207
4.14.7	NORMATIVA.....	209

4.14.8	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 18	209
4.14.9	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	212
4.15	PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN. (MEZCLA EN FRIO). ENSAYO N. ° 19	213
4.15.1	INTRODUCCIÓN.....	213
4.15.2	OBJETIVO.....	213
4.15.3	ALCANCE.....	213
4.15.4	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	213
4.15.5	PROCEDIMIENTO.....	214
4.15.6	EQUIPO UTILIZADO	216
4.15.7	CÁLCULOS.....	221
4.15.8	NORMATIVA.....	222
4.15.9	EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 19	222
4.15.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	244
5	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	246
5.1	CONCLUSIONES	246
5.2	RECOMENDACIONES.....	247
6	BIBLIOGRAFÍA.....	249

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas para la prueba de compactación Proctor Estándar (ASTM D 698-12).....	7
Tabla 2. Especificaciones técnicas para la prueba de compactación Proctor Modificado (ASTM D 1557-12).....	8
Tabla 3. Penetraciones.....	11
Tabla 4. Equipo utilizado en el ensayo de CBR en laboratorio.	12
Tabla 5. Valores de la relación soporte.	20
Tabla 6. Ensayo Proctor modificado datos.	21
Tabla 7. Procedimiento Proctor modificado.....	22
Tabla 8. Contenido de humedad ensayo Proctor modificado.	22
Tabla 9. Resultados obtenidos.....	23
Tabla 10. Contenido de agua ensayo CBR.	24
Tabla 11. Moldeo antes de la saturación CBR.	24
Tabla 12. Contenido de agua en el molde CBR.....	24
Tabla 13. Cálculo de expansión.....	25
Tabla 14. Porcentaje de agua absorbida luego de saturación.	25
Tabla 15. Contenido de agua luego de la saturación.	25
Tabla 16. Densidad Seca.....	26
Tabla 17. Penetración.	26
Tabla 18. Esfuerzos Corregidos.....	27
Tabla 19. Datos Proctor Modificado.	28
Tabla 20. Curva densidad seca vs CBR.....	28

Tabla 21. Resultados obtenidos CBR.	29
Tabla 22. Clasificación cualitativa según el valor CBR.	30
Tabla 23. Equipo utilizado en el ensayo DCP.	33
Tabla 24. Correlaciones DCP.	35
Tabla 25. Lecturas del ensayo DCP.	36
Tabla 26. Resultados obtenidos DCP.	37
Tabla 27. Cantidad del cemento a utilizar en porcentaje.	41
Tabla 28. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos granulares.	42
Tabla 29. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos finos.	43
Tabla 30. Equipo utilizado en el ensayo de estabilización con cemento.	45
Tabla 31. Características del método de compactación.	49
Tabla 32. Límites de Atterberg.	50
Tabla 33. Granulometría del material.	51
Tabla 34. Resultados obtenidos de la granulometría.	51
Tabla 35. Contenidos de humedad en base a la normativa.	52
Tabla 36. Porcentaje de humedad acorde a cada porcentaje de cemento.	52
Tabla 37. Resultados ensayo de compactación.	53
Tabla 38. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos finos.	54
Tabla 39. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos granulares.	55
Tabla 40. Cantidad de agua añadir.	55
Tabla 41. Resultados obtenidos.	60
Tabla 42. Propiedades comúnmente exigidas en la estabilización suelo-cemento.	62
Tabla 43. Equipo utilizado en el ensayo de estabilización con cal.	66

Tabla 44. Limite líquido en suelo natural.....	69
Tabla 45. Limite plástico.....	69
Tabla 46. Determinación del índice de plasticidad.....	70
Tabla 47. Limite líquido con 5% de cal.....	70
Tabla 48. Limite plástico 5% de cal.	71
Tabla 49. Determinación del índice de plasticidad 5% de cal.....	71
Tabla 50. Limite líquido para 7% de cal.....	71
Tabla 51. Limite plástico 7% de cal.	72
Tabla 52. Determinación del índice de plasticidad 7% de cal.....	72
Tabla 53. Limite líquido para 9% de cal.....	73
Tabla 54. Limite plástico 9% de cal.	73
Tabla 55. Determinación del índice de plasticidad 9% de cal.....	74
Tabla 56. Resultados obtenidos entre suelo natural y % de cal.....	74
Tabla 57. Denominación en función del grado de plasticidad.....	76
Tabla 58. Calidad del ligante y contenido de asfalto (MOP-001-F 2002).....	81
Tabla 59. Equipo utilizado en el ensayo de método Marshall.....	90
Tabla 60. Factor de corrección para la estabilidad.	101
Tabla 61. Granulometría de agregado grueso A datos.	103
Tabla 62. Granulometría de agregado grueso A.....	103
Tabla 63. Granulometría agregado grueso B datos.	104
Tabla 64. Granulometría de agregado grueso B.	105
Tabla 65. Granulometría agregado grueso C datos.	106
Tabla 66. Granulometría de agregado grueso C.....	106

Tabla 67. Gravedad Específica del agregado grueso A.	107
Tabla 68. Gravedad Específica del agregado grueso B.	108
Tabla 69. Gravedad Especifica del agregado C.....	108
Tabla 70. Porcentajes propuestos.	109
Tabla 71. Mezcla de agregados 1.1.	109
Tabla 72. Mezcla de agregados 1.2.	110
Tabla 73. Datos de mezcla de agregado.	110
Tabla 74. Porcentaje de partida de asfalto.	111
Tabla 75. Pesos para la fabricación de briquetas.....	112
Tabla 76. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente 1.1.	113
Tabla 77. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente 1.2.	114
Tabla 78. Resumen de datos.	115
Tabla 79. Tabla de resultados Marshall.....	118
Tabla 80. Criterios Marshall.....	120
Tabla 81. Vacíos en agregados.	121
Tabla 82. Requisitos granulométricos en base al tamaño máximo nominal del agregado.	121
Tabla 83. Equipo utilizado en el ensayo de densidad rice.....	124
Tabla 84. Tabla de datos ensayo Rice.	127
Tabla 85. Tamaño mínimo de la muestra.	128
Tabla 86. Equipo utilizado en el ensayo de porcentaje del cemento asfaltico con horno de ignición.....	133
Tabla 87. Valores de masas previamente obtenidos.....	135

Tabla 88. Resultados del ensayo.....	136
Tabla 89. Factor de corrección.	136
Tabla 90. Porcentaje de cemento asfáltico.	137
Tabla 91. Tamaño mínimo y máximo de la muestra.	138
Tabla 92. Equipo utilizado en el ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.	142
Tabla 93. Distancia de rotura de las probetas.	144
Tabla 94. Valor promedio de ductilidad.	144
Tabla 95. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.	145
Tabla 96. Equipo utilizado en el ensayo de penetración del cemento asfáltico.	148
Tabla 97. Datos previos para el ensayo de penetración.....	150
Tabla 98. Datos del Penetrómetro.	151
Tabla 99. Valor de penetración.....	151
Tabla 100. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.	152
Tabla 101. Relación entre valores de penetración.....	153
Tabla 102. Equipo utilizado en el ensayo de punto de ablandamiento para el cemento asfáltico.	156
Tabla 103. Lecturas del índice de penetración.	159
Tabla 104. Temperatura promedio.	159
Tabla 105. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.	160
Tabla 106. Valor de penetración para calcular el índice de penetración.	163

Tabla 107. Temperatura promedio.	163
Tabla 108. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.	165
Tabla 109. Equipo utilizado en el ensayo de viscosidad cinemática del cemento asfáltico.	169
Tabla 110. Condiciones para aceptar el ensayo de la viscosidad cinemática para el cemento asfáltico.....	171
Tabla 111. Datos previos para el ensayo de viscosidad cinemática del cemento asfáltico.	171
Tabla 112. Viscosidad cinemática.	172
Tabla 113. Viscosidad cinemática promedio.....	172
Tabla 114. Requisitos para la clasificación del asfalto en base a la especificación ASTM D 338.....	174
Tabla 115. Equipo utilizado en el ensayo de punto de inflamación y llama del cemento asfáltico.	178
Tabla 116. Lecturas del ensayo.	181
Tabla 117. Valores corregidos de inflamación y combustión.	181
Tabla 118. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.	182
Tabla 119. Determinación de la carga abrasiva.....	189
Tabla 120. Equipo utilizado en el ensayo de calidad del agregado.	190
Tabla 121. Datos previos al ensayo de calidad del agregado.....	193
Tabla 122. Lecturas del ensayo.	193

Tabla 123. Peso del agregado y numero de esferas.....	194
Tabla 124. Tiempo de descarga.....	197
Tabla 125. Requisitos para la calidad de la emulsión catiónica (ejercicio práctico)..	199
Tabla 126. Porcentaje de emulsión asfáltica.....	205
Tabla 127. Equipo utilizado en el ensayo de humedad de compactación.	208
Tabla 128. Determinación de la cantidad de agua.....	210
Tabla 129. Resultados del porcentaje óptimo de agua a incorporar.	211
Tabla 130. Equipo utilizado en el ensayo de perdida de estabilidad por inmersión.....	216
Tabla 131. Granulometría de agregado grueso A datos M. Frio.	223
Tabla 132. Granulometría de agregado grueso A M. Frio.....	223
Tabla 133. Granulometría agregado grueso B datos.	224
Tabla 134. Granulometría de agregado grueso B M. Frio.....	225
Tabla 135. Granulometría agregado grueso C datos.	226
Tabla 136. Granulometría de agregado grueso C M. Frio.....	226
Tabla 137. Gravedad Específica del agregado grueso A M. Frio.....	227
Tabla 138. Gravedad Específica del agregado grueso B M. Frio.	228
Tabla 139. Gravedad Específica del agregado C M. Frio.....	228
Tabla 140. Porcentajes propuestos M. Frio	229
Tabla 141. Mezcla de agregados 1.1 M. Frio.	229
Tabla 142. Mezcla de agregados 1.2. M. Frio.	230
Tabla 143. Datos de mezcla de agregado M. Frio.	230
Tabla 144. Porcentaje departida de emulsión.....	231
Tabla 145. Porcentaje acumulado de agregado para el moldeo de briquetas.	232

Tabla 146. Cantidad de agua de pre-envuelta.....	232
Tabla 147. Porcentaje de agua para el moldeo de briquetas.....	233
Tabla 148. Diseño de la mezcla en frio 1.1.	234
Tabla 149. Diseño de la mezcla en frio 1.2.	235
Tabla 150. Resumen de datos para determinar el porcentaje de emulsión optimo teórico.	236
Tabla 151. Porcentaje de emulsión óptimo.....	239
Tabla 152. Diseño de la mezcla en frio con el porcentaje óptimo.1.1.....	240
Tabla 153. Diseño de la mezcla en frio con el porcentaje óptimo.1.2.....	241
Tabla 154. Porcentaje de pérdida de estabilidad por inmersión.	242
Tabla 155. Porcentaje de resistencia conservada.....	242
Tabla 156. Resultados Obtenidos.	243
Tabla 157. Criterios Marshall.	245
Tabla 158. Vacíos en agregados.	245

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Curva esfuerzo vs penetración</i>	19
Ilustración 2 <i>Curva de compactación</i>	23
Ilustración 3 <i>Curva esfuerzo vs penetración</i>	27
Ilustración 4 <i>Densidad seca vs CBR</i>	28
Ilustración 5 <i>Penetración vs número de golpes</i>	37
Ilustración 6 <i>Curva compresión simple vs porcentaje de cemento añadido</i>	49
Ilustración 7 <i>Curva de compactación estabilización con cemento</i>	53
Ilustración 8 <i>Sin porcentaje de cemento añadido</i>	56
Ilustración 9 <i>10% de cemento añadido</i>	57
Ilustración 10 <i>12% de cemento añadido</i>	58
Ilustración 11 <i>14% de cemento añadido</i>	59
Ilustración 12 <i>Curva compresión simple vs porcentaje de cemento</i>	60
Ilustración 13 <i>Determinación del límite líquido</i>	69
Ilustración 14 <i>Determinación del límite líquido para 5% de cal</i>	70
Ilustración 15 <i>Determinación del límite líquido para 7% de cal</i>	72
Ilustración 16 <i>Determinación del límite líquido para 9% de cal</i>	73
Ilustración 17 <i>Índice de plasticidad para los % de cal</i>	74
Ilustración 18 <i>Curva viscosidad vs temperatura propuesta por el Instituto del asfalto</i> ..	84
Ilustración 19 <i>Curva granulométrica A</i>	104
Ilustración 20 <i>Curva granulométrica B</i>	105
Ilustración 21 <i>Curva granulométrica C</i>	107
Ilustración 22 <i>Curva granulométrica (MOP-001- F 2002)</i>	111

<i>Ilustración 23</i> (%) Vacíos en la mezcla total (Vv) vs (%) Asfalto	115
<i>Ilustración 24</i> % Volumen de agregado Mineral (VAM) vs (%) Asfalto	116
<i>Ilustración 25</i> (%) Vacíos llenos con Asfalto VFA vs (%) Asfalto.	116
<i>Ilustración 26</i> Densidad Marshall (Bulk) vs (%) Asfalto	117
<i>Ilustración 27</i> Estabilidad Marshall vs (%) Asfalto	117
<i>Ilustración 28</i> Deformación Flujo vs (%) Asfalto.....	118
<i>Ilustración 29</i> Diagrama índice de penetración.....	164
<i>Ilustración 30</i> Curva granulométrica A M. Frio.	224
<i>Ilustración 31</i> Curva granulométrica B M. Frio.....	225
<i>Ilustración 32</i> Curva granulométrica C.....	227
<i>Ilustración 33</i> Curva granulométrica (MOP-001- F 2002) M. Frio	231
<i>Ilustración 34</i> % Emulsión vs. Densidad Bulk.	236
<i>Ilustración 35</i> % Emulsión vs. Estabilidad.	237
<i>Ilustración 36</i> % Emulsión vs. Flujo.....	237
<i>Ilustración 37</i> %Emulsión vs. Vv	238
<i>Ilustración 38</i> %Emulsión vs. VAM	238
<i>Ilustración 15</i> %Emulsión vs. VAF	239

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. CBR en laboratorio.....	15
Ecuación 2. CBR en laboratorio.....	16
Ecuación 3. CBR en laboratorio.....	16
Ecuación 4. CBR en laboratorio.....	16
Ecuación 5. CBR en laboratorio.....	16
Ecuación 6. CBR en laboratorio.....	17
Ecuación 7. CBR en laboratorio.....	17
Ecuación 8. CBR en laboratorio.....	17
Ecuación 9. CBR en laboratorio.....	17
Ecuación 10. CBR en laboratorio.....	17
Ecuación. 11. CBR en laboratorio.....	18
Ecuación 12. CBR en laboratorio.....	18
Ecuación 13. CBR en laboratorio.....	18
Ecuación 14. Estabilización con cemento.....	48
Ecuación 15. Estabilización con cemento.....	49
Ecuación 16. Estabilización con cemento.....	49
Ecuación 17. Estabilización con cal.....	68
Ecuación 18. Método Marshall.....	95
Ecuación 19. Método Marshall.....	95
Ecuación 20. Método Marshall.....	95
Ecuación 21. Método Marshall.....	96
Ecuación 22. Método Marshall.....	96

Ecuación 23. Método Marshall.	96
Ecuación 24. Método Marshall.	96
Ecuación 25. Método Marshall.	96
Ecuación 26. Método Marshall.	96
Ecuación 27. Método Marshall.	97
Ecuación 28. Método Marshall.	97
Ecuación 29. Método Marshall.	97
Ecuación 30. Método Marshall.	98
Ecuación 31. Método Marshall.	98
Ecuación 32. Método Marshall.	98
Ecuación 33. Método Marshall.	99
Ecuación 34. Método Marshall.	99
Ecuación 35. Método Marshall.	99
Ecuación 36. Método Marshall.	100
Ecuación 37. Método Marshall.	100
Ecuación 38. Método Marshall.	100
Ecuación 39. Método Marshall.	101
Ecuación 40. Método Marshall.	101
Ecuación 41. Método Marshall.	102
Ecuación 42. Método Marshall.	102
Ecuación 43. Densidad rice.	126
Ecuación 44. Porcentaje de cemento asfaltico con horno de ignición.	134
Ecuación 45. Porcentaje de cemento asfaltico con horno de ignición.	135

Ecuación 46. Ductilidad del cemento asfáltico.	143
Ecuación 47. Índice de penetración para el cemento asfáltico.....	161
Ecuación 48. Viscosidad cinemática del cemento asfáltico.....	170
Ecuación 49. Calidad del agregado.....	192
Ecuación 50. Tipo y cantidad aproximada de emulsión asfáltica catiónica.....	203
Ecuación 51. Pérdida de estabilidad por inmersión.	221
Ecuación 52. Pérdida de estabilidad por inmersión.	222

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto técnico de titulación tiene como finalidad presentar un manual de laboratorio para los ensayos de vías y pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana parte I, el mismo que describe de forma detallada, clara y práctica a través de la ejecución de los ensayos requeridos para la evaluación de los diferentes parámetros en la construcción de carreteras, partiendo desde la subrasante hasta la carpeta asfáltica basándose en la normativa vigente del país MOP-001-F 2002, adicionalmente para cada ensayo existe diferentes metodologías y procedimientos calificados por la normativa ASTM, AASHTO, INVIAS y a fines, brindando así una confiabilidad a los resultados obtenidos los mismos que contienen en su desarrollo el alcance, las limitaciones, el fundamento teórico así como el procedimiento conjuntamente con el ejemplo práctico de cálculo, el análisis de resultados, conclusiones, recomendaciones y la interpretación de los resultados. Finalmente se presenta un formato de informe para que pueda llenarse en cada ensayo realizado, optimizando así el tiempo tanto para el docente, como para el estudiante, y sin duda alguna agilizando los procedimientos realizados en el laboratorio de la carrera.

Una vez obtenidos los parámetros cualitativos como cuantitativos de los materiales empleados en la construcción de carreteras que se caracterizarán en función de los ensayos ejecutados, los mismos que servirán para realizar una interpretación en base la normativa vigente y de esta manera establecer el comportamiento del material ante las sollicitaciones expuestas además cumpliendo con los rangos máximos y mínimos especificado para cada ensayo descrito.

ABSTRACT

The development of this technical degree project is to specify to present a laboratory manual for the tests of roads and pavements of the Salesian Polytechnic University part I, which describes the specific, clear and practical way through the execution of the tests requirements for the evaluation of the different parameters in the construction of roads, starting from the subgrade to the asphalt folder controlled in the current regulations of the country MOP-001-F 2002, additionally for each test there are different methodologies and procedures qualified by the ASTM standard , AASHTO, INVIAS and fines, thus providing reliability to the results, which contain in their development the scope, limitations, theoretical basis as well as the procedure used with the practical example of calculation, the analysis of results, conclusions, recommendations and interpretation of the results. Finally, a report format is presented so that it can be filled out in each essay performed, thus optimizing the time for both the teacher and the student, and without a doubt speeding up the procedures performed in the career laboratory.

Once the qualitative and quantitative parameters of the materials used in the construction of roads that are characterized according to the tests performed are specified, they will be used to perform an interpretation based on current regulations and thus establish the behavior of the material before the exposed requests also complying with the maximum and minimum ranges specified for each specified test.

1 CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Debido al constante desarrollo de la cátedra de Vías y Pavimentos y al crecimiento poblacional en las diferentes ciudades del Ecuador, se genera un tránsito vehicular intenso, mismo que afecta en la calidad de vida de la población ya que proporciona mayor accesibilidad a cualquier destino que se desee llegar, pero simultáneamente se generan daños a la superficie de la capa de rodamiento debido a las cargas transmitidas por los diferentes vehículos que transitan por estas convirtiéndose en un verdadero problema ya que dichas vías no satisfacen todas las necesidades de los usuarios.

La construcción de carreteras en el territorio ecuatoriano se ha convertido en un verdadero desafío para el ingeniero civil debido a las características geológicas-geotécnicas y a la diversa topografía que se puede encontrar dentro del territorio, adicional a eso la eficacia de los proyectos viales dependen de algunos aspectos como: condición de la muestra, precisión y control de calidad de los ensayos.

Para lo cual se ve la necesidad de poner más énfasis en los procedimientos de los ensayos de vías y pavimentos con el propósito de que se desarrollen proyectos viales que presten un servicio óptimo, seguro, de calidad y que cumpla con las necesidades de los usuarios.

La primera parte del manual de laboratorio para los ensayos de vías y pavimentos tiene la finalidad de iniciar la guía e incrementar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería Civil en el desarrollo de los ensayos ejecutados en laboratorio de vías y pavimentos.

1.2 ANTECEDENTES

El laboratorio de Vías y Pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana debe estar sujeto a la realización de muchos ensayos, por lo que el estudiante debe estar familiarizado con la normativa que caracteriza al mismo además al procedimiento desarrollado en laboratorio de tal manera que se aplique la metodología correspondiente a cada ensayo.

La Universidad Politécnica Salesiana se ve en la necesidad de la elaboración de la primera parte de un manual para los ensayos de vías y pavimentos para el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil, puesto en la actualidad no posee un material de apoyo para los estudiantes y al evidente incremento de alumnado en la Carrera es imprescindible el desarrollo de este manual para la entrega de informes realizados conforme la ejecución de cada ensayo desarrollado en el curso de vías y pavimentos conjuntamente de una descripción detallada de los procedimientos y metodología con un formato específico para los informes de cada práctica. De esta forma se prevé mejorar la presentación y dar un adecuado desarrollo de cada ensayo.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Elaborar la primera parte de un manual de laboratorio para Vías y Pavimentos, el mismo que posee el fundamento teórico, la metodología con el ejemplo práctico de cálculo y la interpretación del mismo para un mejor desarrollo académico de la cátedra vías y pavimentos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar información necesaria (listado de prácticas, normatividad) para la elaboración de los manuales de vías y pavimentos.

Realizar cada uno de los ensayos que se ejecutan en el laboratorio de vías y pavimentos, describiendo los procedimientos de este de una manera clara y concisa.

Diseñar un formato óptimo, práctico y funcional, en el cual se explique de la mejor manera posible cada uno de los ensayos realizados en laboratorio.

Elaborar el manual de laboratorio aplicando las normativas ASTM, AASHTO, INVIAS, mismo que contendrá sus respectivas hojas electrónicas de cálculo.

1.5 APLICACIÓN INGENIERIL

La ingeniería vial a lo largo de la historia ha ido modificando sus procedimientos de estudio tanto para la investigación como para la aplicabilidad de nuevas técnicas en campo, de tal manera que faciliten el proceso constructivo de las redes viales de un país las mismas que deben ser seguras y económicas, es por esto que es indispensable llevar un adecuado control de calidad sobre los materiales que contribuyen a la construcción de carreteras por donde transitan un conjunto de vehículos de diferentes ejes que exponen cargas dinámicas al momento que circular por la vía. Es por ello que en la construcción de carreteras durante el proceso constructivo es importante verificar las propiedades físico mecánicas del material donde se va asentar el pavimento.

La determinación de las propiedades y desempeño de los materiales se determina en base a los ensayos normalizados establecidos para comprobar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo a rangos, límites y/o valores estandarizados. Por otro

lado, la caracterización de dichos materiales se divide en dos campos de la ingeniería: infraestructura civil e infraestructura vial.

Infraestructura civil: Se basa en la caracterización y verificación de los materiales empleados en las obras ingenieriles como son agregados, suelos, etc. Es decir, de las propiedades físico mecánica.

Infraestructura vial: Caracteriza los materiales que serán empleados en la carpeta asfáltica ya sea mezcla caliente empleando el cemento asfáltico o mezcla frío empleando una emulsión asfáltica incluyendo el mejoramiento granular con el objetivo de verificar cómo se comporta estos materiales en la conformación del pavimento.

ETAPA PRELIMINAR

En toda obra ingenieril se requiere conocer ciertas características básicas y necesarias del proyecto para obtener el diseño pre factibilidad, en el caso obras viales, será necesario e indispensable conocer las propiedades de los materiales que se utilizarán en la construcción del mismo.

Preliminarmente se necesita conocer las características del suelo y la capacidad portante de este, de manera que pueda resistir los esfuerzos y deformaciones producidas por el tránsito previsto, así como analizar si el suelo necesite un mejoramiento para aumentar sus características de resistencia ante las sollicitaciones de corte.

ETAPA EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Una vez ya conocida las propiedades y características del suelo que servirá de apoyo al pavimento, se caracteriza y evalúa las propiedades de los materiales, de tal manera que resistan las deformaciones excesivas producidas por el tránsito previsto.

2 CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA SUB RASANTE

2.1 CBR EN LABORATORIO. ENSAYO N.º 1

2.1.1 INTRODUCCIÓN.

Esta claramente definido, que el ensayo de CBR ha sido siempre empleado para poder determinar la resistencia al corte ya sea en bases, subbases, y subrasantes en condiciones de densidad y humedad perfectamente controladas, pero también es necesario mencionar que puede ser empleado en materiales reciclados usado para pavimentos de pistas de aterrizaje y de carreteras por tal razón el ensayo de CBR en laboratorio es una de las partes esenciales para aportar con datos necesarios que contribuyen al diseño de pavimentos flexibles.

2.1.2 OBJETIVO

Determinar el valor soporte del suelo.

2.1.3 ALCANCE

Se describe el procedimiento del ensayo con el cual se determina un índice de resistencia del suelo al cual se denomina valor de la relación de soporte del mismo, siendo conocido por su origen como CBR (California Bearing Ratio) el cual permite evaluar la calidad relativa del suelo para base, subbase y subrasante.

El ensayo determina el valor soporte en suelos alterados es decir en suelos finos y suelos gruesos previamente compactados y mezcla de suelo-grava.

Este ensayo es realizado con suelo preparado en laboratorio ya con condiciones de humedad y densidad determinadas, pero también hay que aclarar que se puede realizar con muestras denominadas inalteradas tomadas en campo.

2.1.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

CBR (California Bearing Ratio), En si lo que nos representa es el índice de resistencia del suelo, el mismo que es utilizado para evaluar la capacidad portante de suelo de subrasante, así como para las capas de subbases, base y el afirmado de la vía. Sin duda alguna este método se ha proyectado, pero de la misma forma no se ha limitado, por lo que en general se lo realiza para evaluar la resistencia de materiales en suelos cohesivos con un máximo de partículas menores de 19mm.

2.1.5 PROCEDIMIENTO.

✓ Primeramente, se realiza extracción de la muestra en campo la misma que debe secarse al aire o en un horno a una temperatura menor a 60° C este procedimiento depende del estado de humedad óptima del suelo natural.

✓ Posteriormente, se disgrega los terrones de suelo evitando reducir el tamaño natural de las partículas, la muestra se tamiza por el tamiz N°. 4 (4.75 mm), se descarta el material retenido este procedimiento se realiza hasta obtener una muestra representativa de 55 Kg, si el material a ensayar presenta partículas mayores a 19 mm (3/4") que corresponde a material grueso se deberá obtener una muestra representativa de 100 Kg.

✓ Se determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima, mediante el ensayo de compactación Proctor, este procedimiento se lo puede realizar con diferentes energías de compactación ya sea Proctor Estándar o Proctor Modificado el método empleado está en función del material a ensayar.

Acorde a la norma (ASTM, D. 698-12.) que rige en ensayo Proctor Estándar la energía de compactación empleada es de 600 kN-m/m³, el método determina las siguientes características y su empleo está en función de la granulometría del material.

Tabla 1. Especificaciones técnicas para la prueba de compactación Proctor Estándar (ASTM D 698-12).

Método	A	B	C
Molde diámetro interno	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Altura	116.4 mm	116.4 mm	116.4 mm
Volumen	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
Martillo	24.5 N	24.5 N	24.5 N
Altura de caída	305 mm	305 mm	305 mm
Material	Pasa el tamiz N° 4 (4.75mm)	Pasa el tamiz 3/8 " (9.5 mm)	Pasa el tamiz 3/4 " (19 mm)
Número de capas	3	3	3
Número de golpes por capa	25	25	56
Uso	Puede ser usado si el 25 % o menos en masa es retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm), si no cumple con la granulometría se utiliza el método C.	Puede ser usado si el 25 % o menos en masa es retenido en el tamiz 3/8 " (9.5 mm), si no cumple con la granulometría se utiliza el método C.	Puede ser usado si el 30 % o menos en masa es retenido en el tamiz 3/4" (19 mm).

Fuente: ASTM, D. 698-12. (2012). Método de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo utilizando el esfuerzo estándar (12,400 ft-lbf / ft³ / 600 kN-m / m³).

Acorde a la norma (ASTM, D. 1557-12.) que rige en ensayo Proctor Modificado la energía de compactación empleada es de 2700 kN-m/m³, el método determina las siguientes características y su empleo está en función de la granulometría del material.

Tabla 2. Especificaciones técnicas para la prueba de compactación Proctor Modificado (ASTM D 1557-12).

Método	A	B	C
Molde diámetro interno	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Altura	116.4 mm	116.4 mm	116.4 mm
Volumen	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
Martillo	44.48 N	44.48 N	44.48 N
Altura de caída	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Material	Pasa el tamiz N° 4 (4.75mm)	Pasa el tamiz 3/8 " (9.5 mm)	Pasa el tamiz 3/4 " (19 mm)
Número de capas	5	5	5
Número de golpes por capa	25	25	56
Uso	Puede ser usado si el 25 % o menos en masa es retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm) .si no cumple con la granulometría se utiliza el método B o C.	Puede ser usado si el 25 % o menos en masa es retenido en el tamiz 3/8 " (9.5 mm) .si no cumple con la granulometría se utiliza el método C.	Puede ser usado si el 30 % o menos en masa es retenido en el tamiz 3/4" (19 mm). El molde de diámetro no debe ser usado con el método A o B.

Fuente: ASTM, D. (2012). 1557–12. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft–lbf/ft³ (2,700 KN–m/m³)). ASTM International, West Conshohocken, PA.

✓ La cantidad de material necesaria para el ensayo de compactación Proctor ya sea estándar o modificado y en base a la aplicación de cada método tenemos, A y B 16 Kg en tanto que para el método C 29 Kg.

✓ Para el ensayo CBR seleccionamos una porción representativa del material de 21 Kg si el suelo a ensayar pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm), en tanto que si el material pasa el tamiz N° 3/4" (19 mm) seleccionamos una muestra representativa de 35 Kg.

- ✓ A continuación, se determina el contenido de humedad inicial de la muestra, para determinar la cantidad de agua que se deberá incorporar a la misma para llevarlo a la humedad óptima requerida, la cual se la obtiene mediante el método empleado del ensayo Proctor y donde los golpes de compactación por capa serán de 10, 25 y 56 en cada espécimen respectivamente.
- ✓ Se registra la masa del molde empleado para cada espécimen sin la base del molde ni el collarín del mismo, seguidamente ajustamos el molde conjuntamente con la base incorporándole el disco espaciador y el papel filtro.
- ✓ Una vez ya realizada la compactación de las cinco capas y los golpes ya determinados, se procede a enrazar los moldes quitando con precaución los excesos de material sin perjudicar el límite del molde.
- ✓ Pesamos cada molde de suelo compactado sin el collarín ni el disco espaciador y determinamos el peso unitario del suelo, inmediatamente procedemos a incorporar la sobrecarga metálica.
- ✓ Seguidamente deberemos colocar el dial apoyado en el trípode, para poder tomar nuestra primera medida desde cero o comienzo del hinchamiento.
- ✓ Una vez hecho este proceso tomaremos el molde con la muestra y las sobrecargas incorporadas y procedemos a sumergirlas por un tiempo que dependerá del tipo de suelo: teniendo que para suelos granulares se sumergirá por un tiempo de 24 horas ya que este tipo de suelos se saturan rápidamente y en ensayos se ha mostrado que este tiempo no afecta en los resultados. Por otro lado, para suelos arcillosos el periodo de inmersión llegara a los 4 días o inclusive más.

- ✓ Una vez pasado el tiempo necesario en que la muestra a estado sumergida, es necesario volver a tomar la lectura del deformímetro para así medir el hinchamiento.
- ✓ Por lo general es aconsejable dejar estático el trípode, sin moverlo durante el proceso de inmersión, es primordial marcar la posición de las patas del trípode que está en contacto con el borde del molde ya que esto servirá para colocar el trípode en la misma posición para repetidas lecturas.
- ✓ Este dato obtenido nos servirá para el cálculo de la expansión con la ecuación presentada en la sección de cálculos.
- ✓ Ya culminado el proceso de inmersión procedemos a sacar el molde del tanque cuidadosamente, posteriormente se vierte el agua retenida en el interior molde, el proceso consiste en colocar el molde inversamente por un periodo de 15 minutos teniendo en cuenta que la sobrecarga se mantenga en su posición original.
- ✓ Posteriormente se retira la sobrecarga colocada y la placa perforada, para inmediatamente proceder a pesarlo y comenzar con el ensayo de penetración.
- ✓ Para comenzar con el ensayo de penetración se deberá colocar en cada molde las mismas sobrecargas que tuvo durante el periodo de inmersión.
- ✓ Para comenzar con el ensayo de penetración es importante que se aplique una leve carga de 44 N (10lb) con la finalidad que el pistón tenga contacto con la muestra y así no afectar la lectura en el ensayo y los diales se enceran.
- ✓ Una vez previsto todo esto se procede a aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la metodología correspondiente a una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05”) *min.

- ✓ Se deberán anotar las siguientes lecturas de la carga en función de las siguientes penetraciones.

Tabla 3. Penetraciones.

Penetración (mm)	Penetración (in)
0,000	0,000
0,635	0,025
1,270	0,050
1,905	0,075
2,540	0,100
3,810	0,150
5,080	0,200
6,350	0,250
7,620	0,300
8,890	0,350
10,160	0,400
12,700	0,500
15,240	0,600

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

- ✓ Concluido en ensayo de penetración, y con la ayuda del equipo misceláneo desmontamos en molde dentro del cual tomamos humedades y dependiendo del tipo del agregado se deberá tomar la cantidad de la muestra ya sea para grano fino 100 g y 500 g si es granular.
- ✓ Concluido todo el procedimiento, desecharemos el material sobrante, para seguidamente limpiar los moldes y ordenar todo el equipo utilizado en el laboratorio para la ejecución del ensayo.

2.1.6 EQUIPO UTILIZADO.

Tabla 4. Equipo utilizado en el ensayo de CBR en laboratorio.




GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Dispositivo de carga	<p>Equipo empleado para la penetración en el espécimen. El pistón deberá penetrar la muestra hasta una profundidad de 12.7 (mm) (0,5´´) y a una velocidad de 1.27 (mm/min) (0,05´´/min).</p>
	Moldes	<p>Cilindros metálicos con un diámetro interno de $152,4 \pm 0,66$ (mm) ($6 \pm 0,026$´´) y una altura de $177,8 \pm 0,46$ (mm) ($7 \pm 0,018$´´), los cilindros cuentan con una placa base perforada con un espesor de 9,53 (mm) ($3/8$´´) y un collar suplementario de 51 (mm) (2´´) de altura. Nota: La placa base perforada deberá tener mínimo 20 perforaciones de un diámetro de 1,6 (mm) ($1/16$´´) espaciadas uniformemente dentro de la circunferencia del molde.</p>
	Disco Espaciador	<p>Discos metálicos circulares con un diámetro de $150,8 \pm 0,88$ (mm) ($5 \frac{15}{16} \pm 1/32$´´) y un espesor de $61,37 \pm 0,25$ (mm) ($2,416 \pm 0,01$´´), se utiliza en el proceso de compactación como un falso fondo en el molde.</p>




GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Martillo	<p>Martillo de compactación metálico con una masa de $4,536 \pm 0,009$ Kg ($10 \pm 0,02$ lb) y una cara plana de forma circular con un diámetro de $50,80 \pm 0,25$ (mm) ($2 \pm 0,01$´´). El martillo debe contar con una guía adecuada la cual permitirá controlar la altura de caída del golpe a una altura libre de 457 ± 2 (mm) ($18 \pm 0,06$´´) a partir de la altura del suelo. La guía debe contar con 4 agujeros para la ventilación con un diámetro $\geq 9,5$ mm ($3/8$´´) espacios a 19 mm ($3/4$´´) de los extremos y a 90° aprox. entre ellos.</p>
	Medidor de expansión	<p>Placa perforada de metal con un diámetro de $149,2 \pm 1,6$ (mm) ($5 \frac{7}{8} \pm 1/16$´´), cuyas perforaciones tienen un diámetro menor o igual a 1,6 (mm) ($1/16$´´). Tiene en el centro un vástago con un sistema de tornillo el cual permitirá regular la altura. Cuenta con un trípode cuyas patas se apoyarán en el borde del molde y en el centro de este lleva un deformímetro (dial). El vástago tanto de la placa como el del deformímetro deberán coincidir para lograr controlar la posición y medir la expansión con un margen de aproximación de 0,025 (mm) ($0,001$´´).</p>
	Sobrecargas metálicas	<p>Se deberá colocar alrededor de diez (una anular y las demás ranuradas) en cada molde, tienen un peso cada una de 2,27 (Kg) (5 lb), un diámetro exterior de 149,2 (mm), mientras que la anular tendrá el orificio central un diámetro de 54 (mm)</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
---------	-------------------	-------------



Pistón de penetración

Pistón cilíndrico metálico de un diámetro de $49,63 \pm 0,13$ (mm) ($1,95 \pm 0,005$ "), área de 1935 (mm²) (3 in²) y con la longitud necesaria para ejecutar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas, pero nunca será menor de 101,6 (mm) (4").



Diales

Dos diales que cuenten con un recorrido mínimo de 25 (mm) (1") y divisiones en 0,025 (mm) (0.001"), de los cuales uno de ellos debe estar provisto de una pieza que admita su fácil acoplamiento en la prensa para lograr medir la penetración del pistón en la muestra.



Tanque

Deberá contar con la suficiente capacidad para la inmersión de todos los moldes en agua.



Horno

Controlado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura regulable a 105 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Balanzas	Una con una capacidad de 20 (Kg), y otra de 1000 (g) que cuenten con sensibilidades de 2 y 0,1 (g) respectivamente.
	Tamices	Tamices cribados de bronce para tamizar el material de 4,75 mm (No.4) y de 19,0 mm (3/4").
	Equipo misceláneo	Herramientas de uso general como: espátulas, cuarteador, probetas, cápsulas, mezclador, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

2.1.7 CÁLCULOS.

Ensayo de compactación.

- ✓ Volumen del molde.

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H \quad \text{Ecuación 1. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

V= Volumen del molde (cm³)

D= Diámetro del molde (cm)

H= Altura del molde (cm)

- ✓ Masa del suelo húmedo.

$$M_h = M_T - M_m \quad \text{Ecuación 2. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

M_h= Masa del suelo húmedo (g)

M_T= Masa del suelo húmedo + molde (g)

M_m= Peso del molde (g)

- ✓ Densidad Húmeda

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V} \quad \text{Ecuación 3. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

γ_h = Densidad húmeda (g/cm³).

M_h= Masa del suelo húmedo (g)

V= Volumen del molde (cm³)

- ✓ Porcentaje de Húmeda

$$H = \frac{M_t - M_s}{M_s - M_c} \times 100 \quad \text{Ecuación 4. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

H= Porcentaje de humedad.

M_t= Masa del suelo húmedo + cápsula (g).

M_s= Masa del suelo seco + cápsula (g)

M_c= Peso de la cápsula (g)

- ✓ Densidad seca.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{H}{100}} \quad \text{Ecuación 5. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

γ_d = Densidad seca (g/cm³).

γ_h = Densidad húmeda (g/cm³).

H_p= Promedio del porcentaje de humedad

Ensayo CBR.

- ✓ Cantidad de agua con la finalidad de llevar el material a la humedad óptima.

$$\text{Cantidad de agua} = \text{Masa suelo}_{(\text{secado})} * \left(\frac{\%W_{\text{opt}} - \%W_{\text{natural}}}{100 + \%W_{\text{natural}}} \right)$$

Ecuación 6. CBR en laboratorio.

- ✓ Densidad húmeda antes de la saturación

$$\text{Densidad Hum.} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Masa compactada (g)} - \text{Masa del molde (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 7. CBR en laboratorio.

- ✓ Porcentaje de agua, humedad

$$\% \text{ Agua} = \frac{\text{Masa Humeda (g)} - \text{Masa Seca (g)}}{\text{Masa Seca (g)} - \text{Masa de Cápsula (g)}} \times 100$$

Ecuación 8. CBR en laboratorio.

- ✓ Densidad seca

$$\text{Densidad Seca} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Densidad Humeda} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}{1 + \frac{\% \text{ Agua}}{100}}$$

Ecuación 9. CBR en laboratorio.

- ✓ Expansión de la muestra.

$$\%E = \frac{\text{Dial} \times K}{H_o} \times 100 \quad \text{Ecuación 10. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

Dial= Lectura del dial (mm)

K= Constante del deformímetro (0.001)

Ho= Altura inicial del molde mm (116.43)

- ✓ Después de la saturación.

$$\% \text{ Agua absorbida} = \frac{\text{Masa saturada} - \text{Masa compactada}}{\text{Masa compactada} - \text{Masa del molde}} * 100$$

Ecuación 11. CBR en laboratorio.

- ✓ Contenido de agua después de la saturación

$$\% W = \frac{\text{Masa Humeda (g)} - \text{Masa Seca (g)}}{\text{Masa Seca (g)} - \text{Masa de Cápsula (g)}} * 100$$

Ecuación 12. CBR en laboratorio.

- ✓ Esfuerzo de penetración

$$\sigma = \frac{\text{Cte anillo} \times \text{Dial} + 46.64996}{3} \quad \text{Ecuación 13. CBR en laboratorio.}$$

Donde:

σ = Esfuerzo de penetración (Psi)

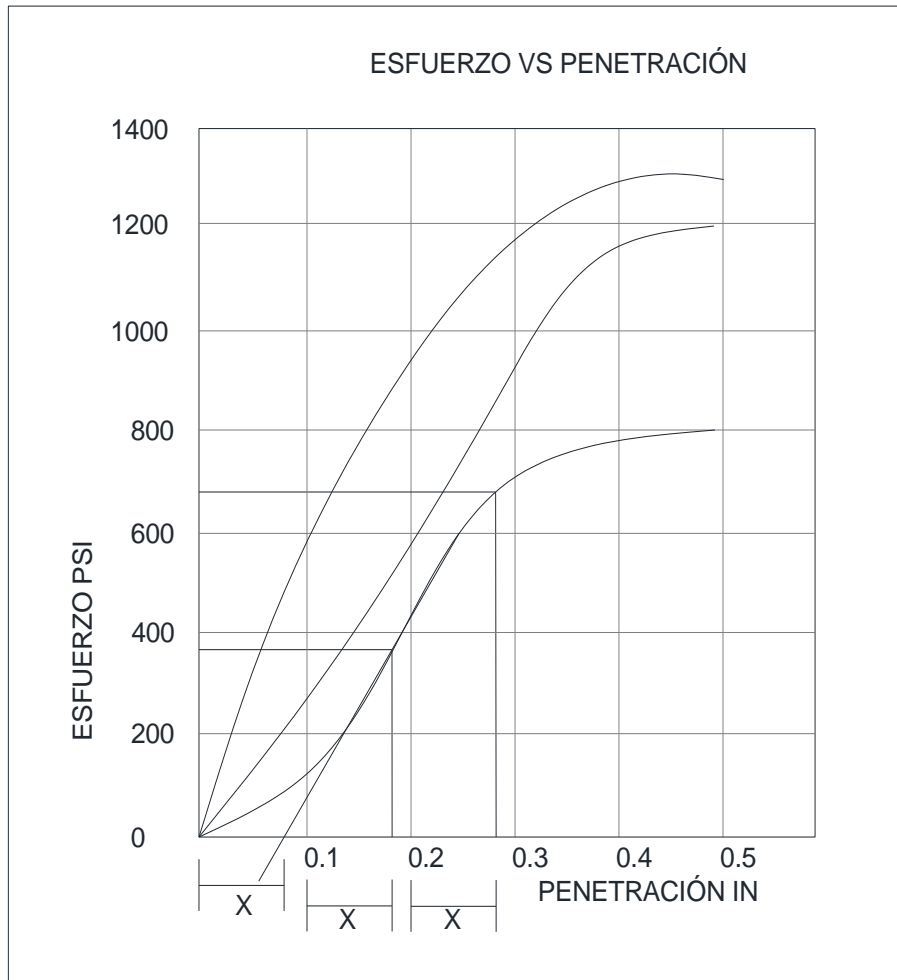
Cte anillo = Constante del anillo (10.04004)

Dial= Lectura del dial

- ✓ Curva esfuerzo vs penetración.

La determinación de esta curva se realiza en función al esfuerzo aplicado acorde a cada penetración generada a partir de la cual se dibuja la curva esfuerzo vs penetración cuando esta curva no posee una concavidad adecuada dicho valor deberá ser corregido donde se debe ajustar el punto cero de la curva, para lo cual se traza una línea de tendencia en la misma y por lo tanto el punto de partida se traslada a la intersección de la tangente y la abscisa, el procedimiento de realiza para cada espécimen ensayado

Ilustración 1. Curva esfuerzo vs penetración.



Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ Valor soporte del suelo (CBR).

Es la relación entre una carga uniforme o el esfuerzo del material a ensayarse respecto al esfuerzo patrón, respecto a la misma penetración también se lo conoce como la carga unitaria correspondiente al 0,1” a 0,2” de penetración, expresado en porcentaje respecto a su valor estándar.

Tabla 5. Valores de la relación soporte.

PENETRACIÓN			PRESIÓN	
mm	Pulgadas	MPa	Kg/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: ASTM, D. (1883). Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory-compacted soils. Annual Book of ASTM Standards, 4.

Pasos para calcular el índice CBR.

✓ En primer lugar, se dibuja la curva de esfuerzo vs penetración, en la cual se observa si en la misma existe un punto de inflexión si presenta esta característica los valores tendrán que ser corregidos y si no tomaremos los valores de 0,1” y 0,2” de penetración de la curva.

✓ Posteriormente, procedemos a calcular los siguientes valores CBR correspondientes para lo cual se dividirá las presiones correspondientes para los esfuerzos de muestra patrón de 1000lb/plg² – 1500lb/plg² respectivamente se multiplica por 100. Por lo general la relación de soporte reportada para el suelo es la de 0,1” de penetración. Sin embargo, cuando la relación a 0,2” de penetración fuese mayor, se deberá repetir el ensayo, pero si al repetir el ensayo existe similitud del ensayo, en ese caso de usa la relación de soporte reportada para 0,2” de penetración.

✓ Mediante el grafico de la curva densidad seca vs CBR usando los datos que se obtuvieron de los 3 especímenes, se determina el CBR de diseño por el porcentaje deseado (100% o 95%) de la densidad seca máxima.

✓ Una vez calculados los CBR, se optará por seleccionar el CBR más bajo, el mismo que deberá tener una masa unitaria seca de entre la mínima especificada además será

necesario verificar que la humedad óptima no tenga una variación del +/- 0.5 con el contenido de agua en el moldeo.

2.1.8 NORMATIVA

INV. E- 148

ASTM D 1883

NLT 111

AASHTO T 193.

2.1.9 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 1

TÍTULO: CBR EN LABORATORIO.

OBJETIVO: Determinar la capacidad portante del suelo.

CÁLCULOS:

ENSAYO CBR

a.) Proctor Modificado.

Tabla 6. Ensayo Proctor modificado datos.

Método empleado		A		
Parámetros del ensayo		Datos del molde		
Golpes por capa	25	Diámetro (cm)	D	10
Nº de capas	5	Altura (cm)	H	11.96
Peso del martillo (N)	44.48	Volumen (cm ³)	V	939
Altura de caída (mm)	457.2	Peso (g)	Mm	4144

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Procedimiento:

Tabla 7. Procedimiento Proctor modificado.

Espécimen N°	1	2	3	4
Agua aumentada (%)	0	2	4	6
Masa del suelo húmedo + molde (g) MT	5874	5972	6058	6028
Masa del suelo húmedo (g) Mh	1730	1828	1914	1884
Densidad Húmeda (g/cm ³) rh	1.842	1.947	2.038	2.007

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

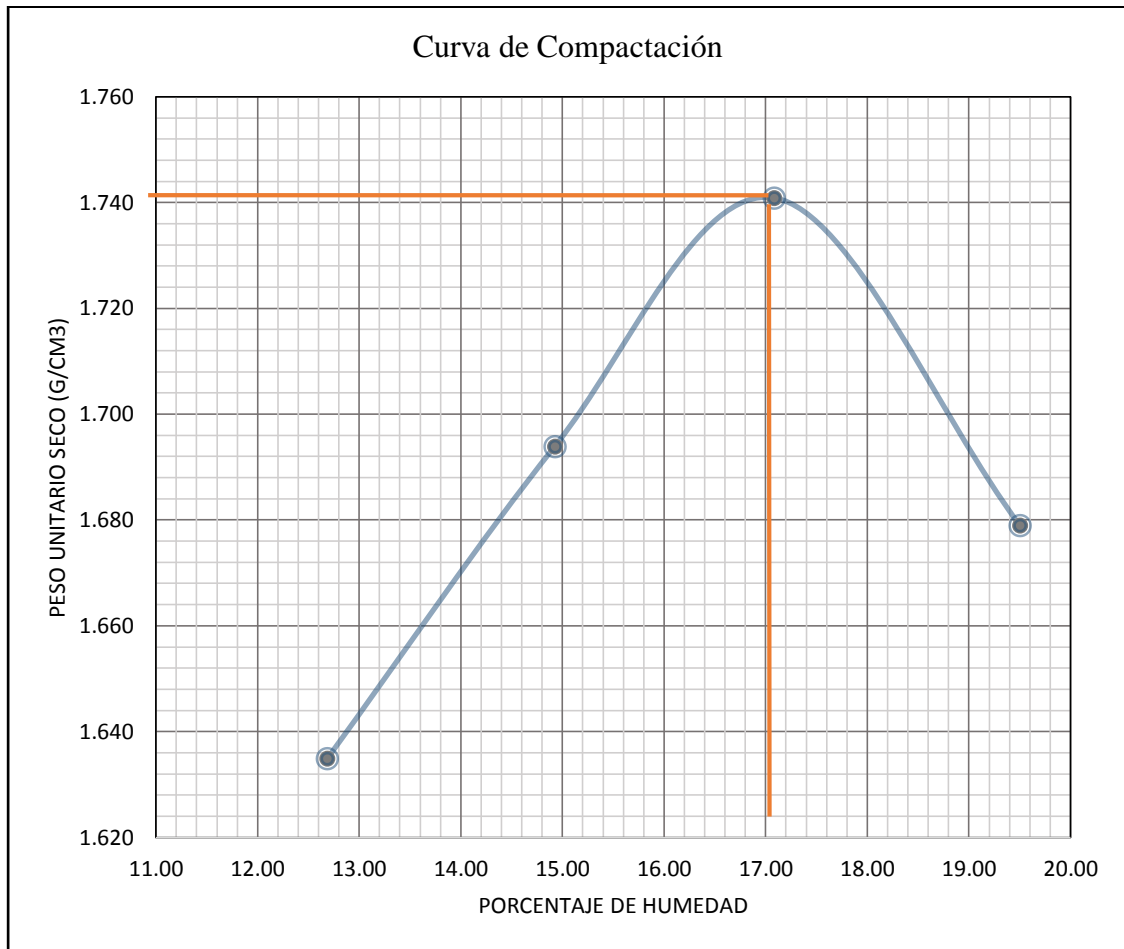
Contenido de humedad.

Tabla 8. Contenido de humedad ensayo Proctor modificado.

Cápsula N°	74	42	301	238	58	84	50	X
Peso de Cápsula. (g) Mc	27.75	29.22	26.86	27.64	28.03	28.03	26.14	26.87
Masa del suelo húmedo + Cápsula (g) Mt	92.75	91.24	85.57	94.59	103.89	106.68	96.39	100.62
Masa del suelo seco + Cápsula (g) Ms	85.46	84.23	77.95	85.89	92.88	95.14	84.91	88.6
Humedad (%) H	12.63	12.74	14.91	14.93	16.97	17.19	19.53	19.47
Promedio Humedad (%) Hp	12.688		14.925		17.087		19.503	
Densidad Seca (g/cm ³) rd	1.635		1.694		1.741		1.679	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 2. Curva de compactación.



Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 9. Resultados obtenidos.

γ_d max (g/cm ³)	1.741
% w opt	17

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

DATOS PREVIOS

b.) Humedad de Compactación

Tabla 10. Contenido de agua ensayo CBR.

Contenido de Agua							
Cápsula N°	Masa Cápsula	M. Cap +S. Hum	M. Cap + S. Seco	Masa de Agua	Masa Seca	% Humedad	% Promedio W natural
A1	96.8	531.47	492.59	38.88	395.79	9.823	9.813
AX	61.97	695.72	639.14	56.58	577.17	9.803	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

$$\text{Cantidad de agua} = 20000 \times \frac{17-9.813}{100+9.813} = 1308.914 \text{ g}$$

c.) Moldeo Antes de la Saturación

Tabla 11. Moldeo antes de la saturación CBR.

MOLDE N°	1	2	3
Golpes/capa:	56	25	10
Masa comp. (g)	11478	11186	10984
Masa molde (g)	7158	7106	7182
Volumen (cm ³)	2124	2120	2126
Dens. Hum. (g/cm ³)	2.034	1.925	1.788

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

d.) Contenido de agua en el moldeo

Tabla 12. Contenido de agua en el molde CBR.

Cápsula N°	14	210	329	38	315	25
Masa Húmeda (g)	87.97	87.47	87.02	87.33	94.48	91.03
Masa Seca (g)	79.54	79.08	78.66	78.95	84.93	81.74
Masa Capsula (g)	27.36	29.22	26.7	27.83	25.9	24.48
% agua	16.16%	16.83%	16.09%	16.39%	16.18%	16.22%
%agua promedio	16.49%		16.24%		16.20%	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

e.) Durante la saturación.

Tabla 13. Cálculo de expansión.

ESPONJAMIENTO:	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
DÍAS/FECHAS		%		%		%
1- 25/01/2019	0	0	0	0	0	0
2- 26/01/2019	20.00	0.44	28.00	0.61	57.00	1.24
3- 27/01/2019	25.00	0.55	33.00	0.72	60.00	1.31
4- 28/01/2019	29.00	0.63	37.00	0.81	62.00	1.35

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

f.) Porcentaje de agua absorbida luego de la saturación.

Tabla 14. Porcentaje de agua absorbida luego de saturación.

MOLDE N°	1	2	3
Golpes/capa:	56	25	10
Masa Saturada	11562	11350	11262
% Agua Absorbida	1.944	4.020	7.312

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

g.) Contenido de agua luego de la saturación.

Tabla 15. Contenido de agua luego de la saturación.

Cápsula N°	276	316	314	5	99	25
Masa Húmeda (g)	99.87	103.43	103.72	101.46	105.61	102.38
Masa Seca (g)	88.54	91.44	90.3	88.47	90.33	86.95
Masa Capsula (g)	28.25	27.38	26.63	27.7	26.93	24.47
W (%)	18.79%	18.72%	21.08%	21.38%	24.10%	24.70%
w(%) promedio	18.75%		21.23%		24.40%	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

h.) Densidad Seca

Tabla 16. Densidad Seca.

MOLDE N°	1	2	3
Golpes/capa:	56	25	10
Dens. Seca (g/cm ³)	1.746	1.656	1.539

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

i.) Penetración.

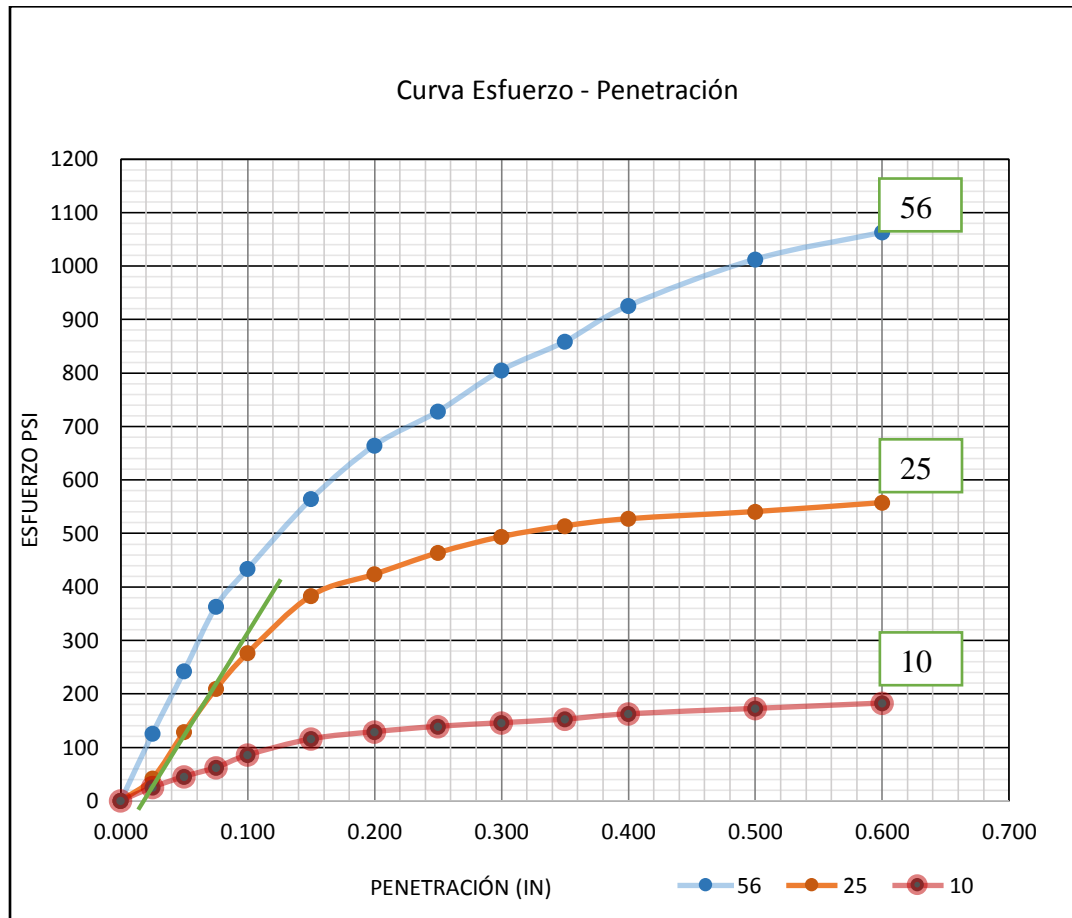
Tabla 17. Penetración.

	PENETRACIÓN		CTE del Anillo		10.04004	
	Molde1	Golpes 56	Molde2	Golpes 25	Molde3	Golpes 10
Penetración (in)	Dial in	Esfuerzo Psi	Dial in	Esfuerzo Psi	Dial in	Esfuerzo Psi
0.000	0	0	0	0	0	0
0.025	33	125.99	8	42.32	3	25.59
0.050	68	243.12	34	129.34	9	45.67
0.075	104	363.60	58	209.66	14	62.40
0.100	125	433.88	78	276.59	21	85.83
0.150	164	564.40	110	383.68	30	115.95
0.200	194	664.80	122	423.84	34	129.34
0.250	213	728.39	134	464.00	37	139.38
0.300	236	805.36	143	494.12	39	146.07
0.350	252	858.91	149	514.20	41	152.76
0.400	272	925.84	153	527.59	44	162.80
0.500	298	1012.86	157	540.98	47	172.84
0.600	313	1063.06	162	557.71	50	182.88

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

j.) Curva Esfuerzo vs Penetración

Ilustración 3. Curva esfuerzo vs penetración.



Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

k.) Esfuerzos Corregidos

Tabla 18. Esfuerzos Corregidos.

Muestra	N° de Golpes	Esfuerzo Corregido	
		0.1"	0.2"
3	10	85.83	129.34
2	25	320.00	440.00
1	56	433.88	664.80

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

l.) Datos del Proctor Modificado.

Tabla 19. Datos Proctor Modificado.

Yd máx. (g/cm ³)	1.741
% w opt	17
95% Densidad Max Seca	1.654

Fuente: Córdoba & Cornejo, 2019.

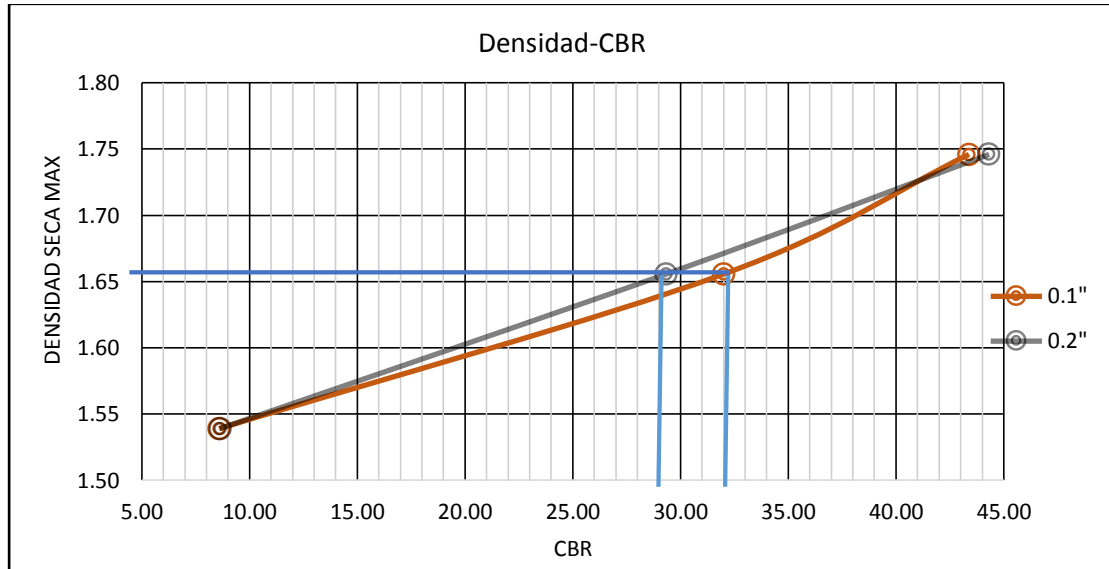
m.) Curva Densidad seca vs CBR

Tabla 20. Curva densidad seca vs CBR.

N° de Golpes	Esfuerzo Patrón		CBR%		Densidad Seca (g/cm ³)
	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	
10			8.58	8.62	1.54
25	1000	1500	32.00	29.33	1.66
56			43.39	44.32	1.75

Fuente: Córdoba & Cornejo, 2019.

Ilustración 4. Densidad seca vs CBR.



Fuente: Córdoba & Cornejo, 2019.

n.) CBR calculado.

CBR 0,1” 32%

CBR 0,2” 29%

o.) TABLA DE RESULTADOS.

Tabla 21. Resultados obtenidos CBR.

Compactación del suelo			
Densidad máxima (g/cm ³)	1.741		
Humedad óptima %	17.00		
	Índice CBR		
	MOLDE N° 1	MOLDE N° 2	MOLDE N° 3
Parámetros	(56)	(25)	(10)
% Absorción	1.944	4.020	7.312
Esponjamiento	0.63	0.81	1.35
	CBR calculado		29%

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base a los resultados obtenidos en laboratorio, se determina que tanto el porcentaje de absorción como el esponjamiento aumentan conforme una disminución del número de golpes con los que se compacto la muestra.

CONCLUSIONES.

El CBR obtenido en laboratorio es de 29%, clasificándolo como un suelo de subrasante de excelente calidad.

RECOMENDACIONES.

Es importante que la muestra obtenida en campo tenga un secado adecuado puesto que puede mezclarse con otros tipos de suelos y así afectar los resultados obtenidos.

2.1.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El CBR obtenido en laboratorio es de 29%, clasificándolo como un suelo de subrasante de excelente calidad y de acuerdo con las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, podrá ser empleado como un mejoramiento de suelo.

Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002. Tenemos:

- ✓ Mejoramiento de suelo, el CBR será mayor al 20% (MOP-001-F, 2002, p. 220).
- ✓ En Sub base, la capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%. (MOP-001-F, 2002, p. 242).
- ✓ En base el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80 (MOP-001-F, 2002, p. 252)

Según el índice CBR obtenido el suelo podrá ser utilizado en base a su clasificación cualitativa.

Tabla 22. Clasificación cualitativa según el valor CBR.

CBR	Calificación cualitativa	Uso
2-5	Muy mala	Subrasante
5-8	Mala	Subrasante
8-20	Regular - Buena	Subrasante
20-30	Excelente	Subrasante
30-60	Buena	Subbase
60-80	Buena	Base
80-100	Excelente	Base

Fuente: Determinación de la capacidad soporte CBR del suelo Valparaíso, Chile: Pontifica Universidad Católica de Valparaíso (2013).

2.2 CONTROL DE SUBRASANTE DCP. ENSAYO N. ° 2

2.2.1 INTRODUCCIÓN.

Para determinar el valor de soporte de suelo CBR se necesita de un proceso largo y complejo, por lo que se ha encontrado una respuesta a esta dificultad. Empleando el equipo DCP conocido como cono dinámico de penetración el mismo que proporcionar mayor practicidad respecto a los ensayos convencionales realizados en in situ. El equipo sirve para obtener una auscultación de suelos en campo de las capas que la conforman ya sea para suelos granulares, así como levemente cementadas, determinando la capacidad soporte del suelo en campo, de tal manera que se pueda obtener parámetros de diseño confiables, y a su vez optimizando recursos para un mejor desarrollo del proyecto.

2.2.2 OBJETIVO

Evaluar la resistencia de suelos inalterados o compactados

2.2.3 ALCANCE

Mediante el ensayo DCP se obtendrá diferentes valores que son representativo del suelo que a su vez se encuentran en función de la penetración por golpe generada en el mismo, donde a dicho valor obtenido se aplicará una correlación correspondiente para cada tipo de suelo y a través de las cuales se obtiene el valor CBR in situ muy aproximado al CBR en laboratorio.

2.2.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

El método de ensayo trata específicamente sobre la medición de la razón de penetración del DCP con martillo de 8kg para suelos inalterados y/o compactados. Esta razón de penetración está directamente relacionada con la capacidad de soporte del suelo en campo.

El método proporciona además el uso de un martillo de 4.6 kg que será empleado cuando el de 8 kg produce una excesiva penetración en condiciones de suelos blandos.

Otra característica fundamental del ensayo es que se puede obtener un valor estimado respecto a la densidad del suelo siempre y cuando se conozca el tipo de suelo y su contenido de humedad.

2.2.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Antes de iniciar el ensayo de DCP es importante inspeccionar todo el equipo y así identificar si alguna parte del mismo está dañada por el uso, de manera más rigurosa en la empuñadura y el acople que son piezas intercambiables.
- ✓ Se realiza la excavación del suelo hasta el punto de ensayo o superficie donde se requiere realizar el estudio.
- ✓ Posteriormente se realiza con la ejecución del ensayo donde la operación del equipo es fundamental para obtener datos reales y así poder interpretar los mismos.
- ✓ Por lo general las lecturas se registran en términos de la cantidad de golpes utilizados para penetrar una cierta profundidad ya sea de 50 a 100 mm respecto a la resistencia del estrato que va a ser atravesado por el equipo DCP.
- ✓ Se deberá repetir el procedimiento hasta una máxima profundidad de 800mm, el mismo que hace referencia a la profundidad tras la cual el material normalmente ha disminuido el efecto de cargas repetitivas producidas tránsito y el factor clima dentro del desempeño de un pavimento.
- ✓ Para la ejecución del ensayo siempre se deberá mantener lo más vertical posible el instrumento, ya que así se evitará el roce entre el martillo y la barra disminuyendo un esfuerzo adicional en la penetración del cono.

✓ El técnico que estará a cargo de operar el martillo debe en lo posible evitar las interrupciones excesivas, así como también mantener un ritmo regular en la ejecución del ensayo.

✓ Es estrictamente necesario eliminar la primera lectura del primer golpe, ya que deja de ser representativa puesto que la punta del cono en los siguientes golpes tendrá una menor influencia.

2.2.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 23. Equipo utilizado en el ensayo DCP.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Cono dinámico de penetración	<p>El cono dinámico de penetración es un aparato de acero inoxidable a excepción de la punta, consta de las siguientes unidades: una barra de acero con un diámetro de 15,8 (mm) (5/8”), un mazo de 8 (Kg) (17,6lbs)/ 4.6 Kg, una punta-cono desechable o recambiable con un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20 (mm) (0,79”), el mazo será soltado de una altura de 575 (mm) (22,6”), un ensamblaje de acople y una empuñadura.</p>
	Herramienta menor	<p>Herramientas necesarias para el ensamblaje del cono dinámico de penetración como: nivel, llave hexagonal, llave de barra.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Aceite lubricante	El aceite lubricante es necesario aplicarlo para un óptimo funcionamiento del cono dinámico de penetración.
	Barra de medición graduada	Instrumento de medición rectangular que incluye una escala graduada, dividida en unidades de longitud.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

2.2.7 CÁLCULOS.

Cada pendiente de la curva permite obtener un valor CBR, donde el espesor de la capa se determina por medio de la intersección existente entre las líneas que se representa como la pendiente de la curva DCP.

Finalmente se calcula el índice CBR que está íntimamente relacionado al tipo de suelo.

En base a las correlaciones DCP recomendadas por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos tenemos:

Tabla 24. Correlaciones DCP.

Ecuación Planteada	Autor	Observación
$\text{CBR} = \frac{292}{\text{DCP}^{1.12}}$	Van Vuuren (1969)	Para todo tipo de suelo (granulares – cohesivos).
$\text{CBR} = \frac{1}{(0.017019 * \text{DCP})^2}$	Websfer S.L. et al. (1994)	Para suelos CL con CBR menor a 10.
$\text{CBR} = \frac{1}{0.002871 * \text{DCP}}$	Websfer S.L. et al. (1994)	Para suelos CH.

Fuente: ASTM, D. 6951-03. 2003. Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.

2.2.8 **NORMATIVA DCP**

INV. E- 172

ASTM D 6951

2.2.9 **EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 2**

TÍTULO: Control de subrasante DCP.

OBJETIVO: Evaluar la resistencia de suelos inalterados o compactados.

CÁLCULOS:

ENSAYO DCP

DATOS PREVIOS:

a) Lectura del ensayo, penetración y número de golpes.

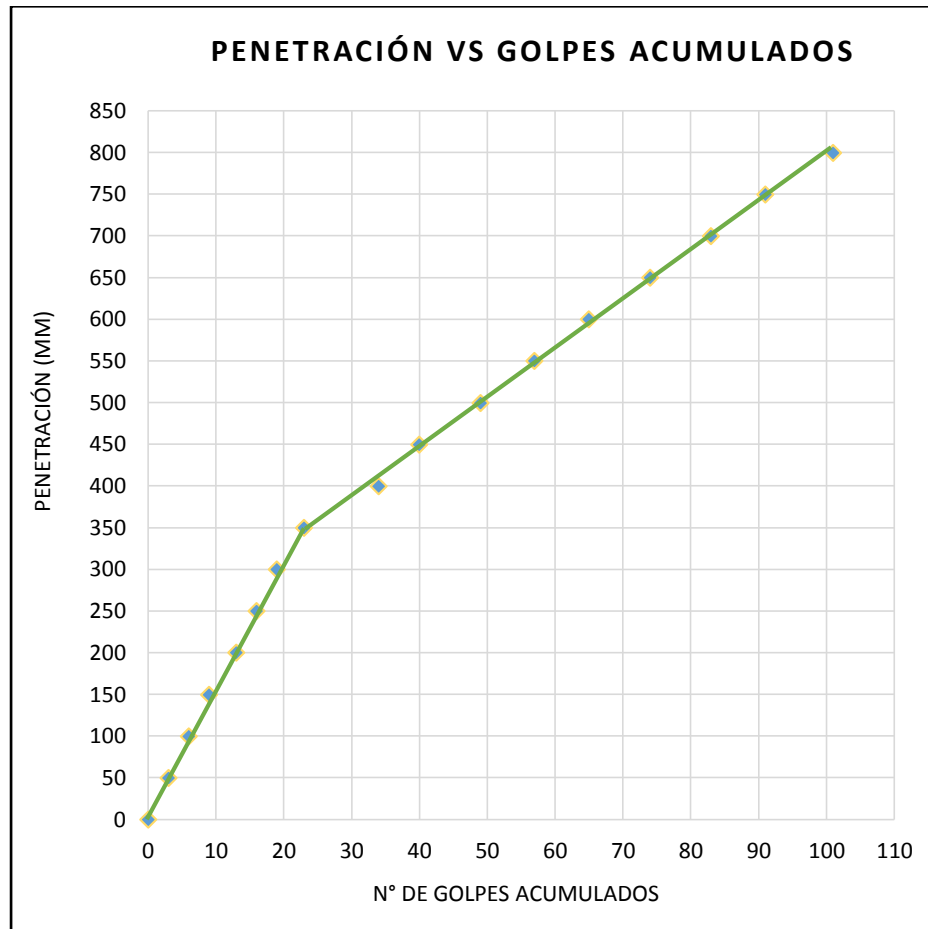
Tabla 25. Lecturas del ensayo DCP.

Penetración Parciales (mm)	Penetración Acumulada (mm)	Nº Golpes	Nº Golpes Acumulados	Pendiente DCP	% CBR
--	0	0	0		
50	50	3	3		
50	100	3	6		
50	150	3	9		
50	200	4	13	13	17.252
50	250	3	16		
50	300	3	19		
50	350	4	23		
50	400	11	34		
50	450	6	40		
50	500	9	49		
50	550	8	57		
50	600	8	65	6	39.849
50	650	9	74		
50	700	9	83		
50	750	8	91		
50	800	10	101		

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

b) Penetración vs Número golpes.

Ilustración 5. Penetración vs número de golpes.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

c) TABLA DE RESULTADOS.

Tabla 26. Resultados obtenidos DCP.

Penetración Limite (mm)	DCP	%CBR
350	13	17.252
800	6	39.849

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base al ensayo DCP realizado en campo y a los datos obtenidos, se determina que el suelo tiene dos capas donde a mayor profundidad mayor es la calidad del suelo.

En base a la gráfica obtenida, penetración vs número de golpes representada por pendiente recta en cada una de las capas, 13 y 6, se observa que mientras menor es la pendiente mayor es el índice CBR que a su vez representa mayor resistencia del suelo.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la resistencia del suelo mediante el ensayo DCP arrojando un valor aproximado de resistencia del suelo donde se concluye que a una profundidad de 800 mm el suelo se comportaría como una subbase de buena calidad.

RECOMENDACIONES.

Es importante que el instrumento permanezca lo más vertical posible con el fin de evitar cualquier roce entre el martillo y la barra además el operador debe evitar interrupciones y llevar un ritmo regular en cada golpe.

2.2.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en base al ensayo DCP, muestran claramente dos capas a diferente profundidad dentro de las cuales cada una tiene un valor diferente CBR, donde a una penetración límite de 350 mm presenta un $CBR = 17,25 \%$ en tanto que a una penetración de 800 mm presenta un $CBR = 39.85 \%$, la elección de cada una está íntimamente relaciona a la profundidad que se desea realizar el proyecto dentro de las cuales se requiere una información del valor aproximado de resistencia del suelo en campo.

3 CAPÍTULO III. MEJORAMIENTO DEL SUELO DE SUB RASANTE

3.1 ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO ENSAYO N. ° 3

3.1.1 INTRODUCCIÓN

En ingeniería se describe un suelo como estable cuando el mismo se resiste a sufrir deformaciones y desgaste por acciones propias de uso, solicitudes expuestas, así como las condiciones climáticas del lugar, de no cumplir estos parámetros se ve en la necesidad de incrementar y mejorar sus características.

Para tal efecto uno de los procedimientos a utilizar es la estabilización química que consiste en compactar suelo, cemento y agua siendo esta una de las técnicas para modificar las características del suelo que eventualmente requerirá de un aditivo que será utilizado para la construcción de bases de carreteras y estabilización de sub rasante.

Se puede afirmar que la estabilización de un suelo con cemento es una práctica muy utilizada en el campo de la ingeniería vial alrededor del mundo gracias a su facilidad de ejecución y simplicidad de equipo empleado en la construcción.

3.1.2 OBJETIVO.

Determinar el porcentaje óptimo de cemento a incorporar para que cumpla la resistencia a la compresión simple en laboratorio de muestras cilíndricas para suelos estabilizados.

3.1.3 ALCANCE.

Mediante el ensayo se requiere determinar un porcentaje de cemento óptimo para que el suelo a estabilizar cumpla con condiciones de:

Una capacidad de soporte adecuada la misma que será evaluada mediante el ensayo de compresión simple.

El suelo estabilizado pretende conseguir el cumplimiento de diferentes parámetros como son la durabilidad, resistencia a la meteorización, mediante la mezcla íntima suelo cemento que a su vez depende de la granulometría del material.

3.1.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Cuando el cemento es mezclado íntimamente con el suelo tiende a desarrollar una red de enlaces durante las reacciones de hidratación, misma que logran un mejoramiento significativo en la capacidad de soporte, en su resistencia mecánica, así como también en su resistencia a agentes físicos, químicos y durabilidad.

Una estabilización suelo cemento es adecuada tomando en cuenta las siguientes limitaciones:

El suelo no debe contener partículas mayores a 7.5 cm (3") o un tercio del espesor de la capa que se va a tratar además el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 deberá ser menor al 50% el límite líquido menor a 40 conjuntamente con el índice de plasticidad menor a 18 y la materia orgánica presente en el suelo que no sobrepasen del 2%, suelos con presencia de sulfatos

3.1.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Es necesario cumplir con los parámetros y requerimientos que se presenta a continuación en esta sección:
- ✓ Es importante determinar los resultados de granulometría, así como la clasificación del suelo que se realizó en el ensayo CBR cuyo procedimiento se describe en el manual de suelos, así como también en las normas INV. E – 106.
- ✓ Entre los cuales tenemos Granulometría, Límites de Atterberg, Clasificación SUCS, Clasificación AASHTO, Compactación.

- ✓ Realizados los ensayos previos se procede a determinar la cantidad de cemento a utilizar en porcentaje mediante el uso de la siguiente tabla, que está en función de la clasificación del suelo para el ensayo de compactación.

Tabla 27. Cantidad del cemento a utilizar en porcentaje.

Clasificación según el sistema AASHTO del suelo a ensayar.	Porcentaje de cemento (en peso) requerido para el ensayo de Compactación.
A-1-a	5
A-1-b	6
A-2	7
A-3	9
A-4	10
A-5	10
A-6	12
A-7	13

Fuente: Normas de Ensayo de Vialidad Nacional LEMAC VN - E20 – 66.

- ✓ En base a los resultados obtenidos anteriormente citados como son: clasificación de suelos, granulometría y compactación se determina los porcentajes de cemento para realizar en ensayo de compresión simple, las tablas especificadas para determinar estos porcentajes se encuentran en función del tipo de suelo ya sean granulares o finos

- ✓ **Suelos granulares:** este tipo de suelos se caracterizan porque más del 5% se retiene en el tamiz N° 4 (4.75 mm), la presente tabla se encuentra en función de la granulometría, de igual manera la densidad seca máxima previamente determinada en el ensayo de compactación y el contenido de material arcilloso más limoso.

Tabla 28. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos granulares.

% de material que pasa el tamiz N° 4(4.75 mm) Material grueso	% de material Limo + Arcilla		Densidad seca máxima (g/cm ³)					
			1,660 a 1,760	1,761 a 1,840	1,841 a 1,920	1,921 a 2,000	2,001 a 2,080	2,080 Superior
0-14	0	19	10	9	8	7	6	5
	20	39	9	8	7	7	5	5
	40	60	11	10	9	8	6	5
15-29	0	19	10	9	8	6	5	5
	20	39	9	8	7	6	6	5
	40	50	12	10	9	8	7	6
30-45	0	19	10	8	7	6	5	5
	20	39	11	9	8	7	6	5
	40	50	12	11	10	9	8	6

Fuente: Normas de Ensayo de Vialidad Nacional LEMAC VN - E20 – 66.

✓ **Suelos finos:** este tipo de suelos se caracterizan porque hasta el 5% se retiene en el tamiz N° 4 (4.75 mm), la presente tabla se encuentra en función de la granulometría específicamente al índice de grupo, de igual manera la densidad seca máxima determinada en el ensayo de compactación y el contenido de material arcilloso más limoso

Tabla 29. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos finos.

Índice de grupo	% de material Limo + Arcilla		Densidad seca máxima (g/cm ³)						
			1,440 a	1,521 a	1,601 a	1,681 a	1,761 a	1,841 a	1,920 superior
0-3	0	19	12	11	10	9	8	7	7
	20	39	12	11	10	9	8	8	7
	40	59	13	12	11	9	9	8	8
	Más de 59		--	--	--	--	--	--	--
4-7	0	19	13	12	11	9	8	7	7
	20	39	13	12	11	10	9	8	8
	40	59	14	13	12	10	10	9	8
	Más de 59		15	14	12	11	10	9	9
8-11	60	19	14	13	11	10	9	8	8
	80	39	15	14	11	10	9	9	9
	100	59	16	14	12	11	10	10	9
	Más de 59		17	15	13	11	10	10	10
12-15	60	19	15	14	13	12	11	9	9
	80	39	16	15	13	12	11	10	10
	100	59	17	16	14	12	12	11	10
	Más de 59		18	16	14	13	12	11	11
16-20	120	79	17	16	14	13	12	11	10
	140	99	18	17	15	14	13	11	11
	160	119	19	18	15	14	14	12	12
	Más de 59		20	19	16	15	14	13	12

Fuente: Normas de Ensayo de Vialidad Nacional LEMAC VN - E20 – 66.

- ✓ Una vez que se obtiene el porcentaje de cemento de trabajo, se elabora cuatro probetas de ensayo tres con porcentajes de cemento correspondiente y una sin adicionar cemento.
- ✓ El contenido de humedad óptimo se lo obtiene previamente mediante el ensayo de compactación detallado en el manual de ensayo de suelos o también en el ensayo de CBR de este trabajo.
- ✓ Preparamos las dosificaciones suelo cemento para cada porcentaje calculado, las cuales se colocan en fundas herméticamente cerradas con la finalidad de llevar el material a la humedad óptima.
- ✓ Se obtiene el contenido de humedad de las muestras preparadas en las fundas que será las muestras para ensayar.
- ✓ Determinamos el porcentaje de agua añadir a la mezcla suelo-cemento, en base a cada porcentaje de cemento con la humedad correspondiente a cada uno.
- ✓ Pesamos un total de 2000 g por molde en el cual será incorporado el porcentaje de cemento y de agua de acuerdo con el requerido para cada molde.
- ✓ En una bandeja incorporamos la dosificación de suelo y cemento mezclamos bien hasta homogenizar la mezcla suelo cemento.
- ✓ Agregamos el agua calculada para el porcentaje de cemento, misma que al mezclarse con la existente en el suelo alcance una humedad que sea inferior en un ± 0.5 respecto a la humedad óptima, la mezclamos bien hasta lograr una uniformidad.
- ✓ Aplicamos el ensayo de Proctor Modificado específicamente el método A en el cual colocamos el material en 5 capas respectivamente en el molde y compactamos

mediante 25 golpes uniformemente distribuidos con el martillo por capa como se especifica en la norma INV. E-142.

- ✓ Una vez conseguido el molde se procede a extraerlo mediante la prensa (gato hidráulico).
- ✓ Tallamos el molde hasta conseguir una probeta cuyas características sean para el ensayo de compresión simple de diámetro no menor a 35 mm y cuya relación sea 1,2 a 2.
- ✓ Debemos repetir estos pasos hasta conseguir los tres especímenes con los diferentes porcentajes de cemento incorporados en la mezcla, así como también deberemos tener un espécimen en estado natural es decir sin porcentaje de cemento incorporado con la finalidad de comparar resultados los resultados obtenidos.
- ✓ Procedemos a dejarlo por un tiempo determinado sellado en fundas e identificado para su posterior ensayo de compresión cuyo procedimiento se describe en el manual de suelos y en la norma INV. E-152.
- ✓ Una vez obtenidos los datos del ensayo se procede a compararlos entre los que se agregaron cemento y la muestra que se ensayó en estado natural para lo cual se grafica la curva esfuerzo vs porcentaje de cemento añadido donde dicho de la curva se compara con la curva patrón generada por el suelo en estado natural.

3.1.6 EQUIPO UTILIZADO.

Tabla 30. Equipo utilizado en el ensayo de estabilización con cemento.


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Equipo de compresión simple	Equipo utilizado para forzar la penetración de un pistón en la muestra. El pistón deberá penetrar la muestra hasta una profundidad de 12.7 (mm) (0,05´´) y a una velocidad de 1.27 (mm/min) (0,05´´/min).


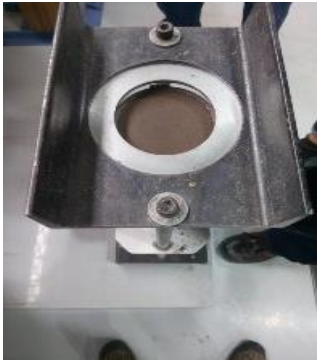


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Diales	<p>Dos diales que cuentan con un recorrido mínimo de 25 (mm) (1") y divisiones en 0,025 (mm) (0.001"), de los cuales uno de ellos debe estar provisto de una pieza que admita su fácil acoplamiento en la prensa para lograr medir la penetración del pistón en la muestra.</p>
	Prensa	<p>Equipo utilizado para extraer la muestra compactada del molde, que consta de un gato hidráulico.</p>
	Moldes	<p>Cilindros metálicos de paredes sólidas con un diámetro interno de $152,4 \pm 0,66$ (mm) ($6 \pm 0,026$"') y una altura de $177,8 \pm 0,46$ (mm) ($7 \pm 0,018$"'), los cilindros contarán con una placa base perforada con un espesor de 9,53 (mm) ($3/8$"') y un collar suplementario de 51 (mm) (2"') de altura. Nota: La placa base perforada deberá tener mínimo 20 perforaciones de un diámetro de 1,6 (mm) ($1/16$"') espaciadas uniformemente.</p>
	Disco Espaciador	<p>Discos circulares metálicos con un diámetro de $150,8 \pm 0,88$ (mm) ($5 \frac{15}{16}$"' $\pm 1/32$"') y un espesor de $61,37 \pm 0,25$ (mm) ($2,416 \pm 0,01$"'), se utiliza en el proceso de compactación como un falso fondo en el molde.</p>


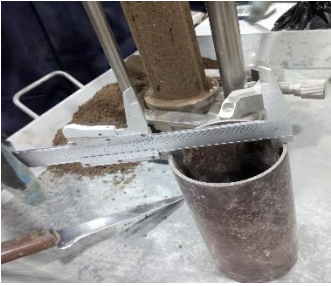


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Martillo	<p>Martillo metálico con una masa de $4,536 \pm 0,009$ Kg ($10 \pm 0,02$ lb) y una cara plana de forma circular con un diámetro de $50,80 \pm 0,25$ (mm) ($2 \pm 0,01$´´). El martillo contará con una guía adecuada misma que permitirá controlar la altura de caída del golpe a una altura libre de 457 ± 2 (mm) ($18 \pm 0,06$´´) a partir de la altura del suelo. La guía contará mínimo con 4 agujeros con diámetro no menor a 9,5 mm ($3/8$´´).</p>
	Calibrador	<p>Capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con una aproximación de 0,1 (mm) para proporcionar una relación 2: 1.</p>
	Tallador de probetas	<p>Tallador de probetas de muestras con accesorios (sierra de alambre, cuchillos, caja de ingletes, etc.).</p>
	Regla metálica	<p>Elemento de acero endurecido con borde recto y de largo mínimo de 254 (mm) (10") usada para el corte final del suelo. La regla deberá tener un borde biselado y por lo menos una cara plana en sentido longitudinal.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Horno	Controlado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura regulable a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
 	Balanzas	Una con una capacidad de 20 (Kg), y otra de 1000 (g) con sensibilidades de 2 y 0,1 (g) respectivamente.
	Equipo misceláneo	Herramientas de uso general como: espátulas, cuarteador, probetas, cápsulas, mezclador, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

3.1.7 CÁLCULOS.

Para la determinación de las cantidades de materiales para el ensayo de estabilización suelo cemento serán los siguientes:

✓ Masa de suelo:

$$\text{Masa del suelo} = \frac{\text{Peso Suelo (Molde)}}{1 + \% \text{ cemento}}$$

Ecuación 14. Estabilización con cemento.

✓ Masa del cemento:

Masa de cemento = Peso del suelo (molde) – Masa del suelo

Ecuación 15. Estabilización con cemento.

✓ Dosificación del agua:

$$\text{Agua} = \frac{\text{Peso Suelo}}{100 + W_{nat}} (\%W_{opt} - \%W_{nat})$$

Ecuación 16. Estabilización con cemento.

El Contenido de humedad óptimo se lo obtuvo previamente del Ensayo de Compactación realizado para la obtención de CBR.

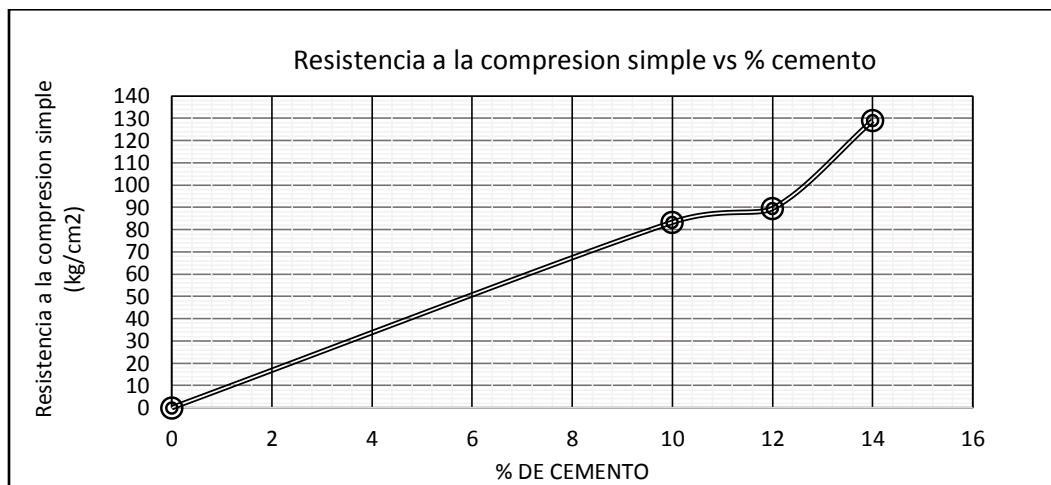
El método de compactación utilizado cumple las siguientes características:

Tabla 31. Características del método de compactación.

PROCTOR MODIFICADO	
No. De Capas	5
No. Golpes por capa	25
Peso Martillo	10lb
Altura de Caída	457.2 mm

Fuente: ASTM, D. (2012). 1557–12. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft–lbf/ft³ (2,700 KN–m/m³)). ASTM International, West Conshohocken, PA. Compresión simple.

Ilustración 6. Curva compresión simple vs porcentaje de cemento añadido.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

3.1.8 **NORMATIVA**

INV. E- 808

ASTM D 1632 - ASTM D 2166

3.1.9 **EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 3**

TÍTULO: Estabilización con cemento.

OBJETIVO: Determinar el porcentaje óptimo de cemento a incorporar para que cumpla la resistencia a la compresión simple en laboratorio de muestras cilíndricas para suelos estabilizados.

CÁLCULOS:

ENSAYO ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

DATOS PREVIOS:

a) **Identificación del suelo.**

✓ Clasificación de suelo

SUCS: CL arcilla ligera arenosa

AASHTO: A-6 (7) Suelo arcilloso regular a pobre

✓ Límites de Atterberg

Tabla 32. Límites de Atterberg.

LL =	35.24
LP=	20.14
IP=	15.10
%H=	25.05

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

✓ Granulometría

Tabla 33. Granulometría del material.

TAMIZ N°	Abertura (mm)	Masa Retenida (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	% Retenido Acumulado	% que pasa
3"	76.2	-	-	-	-
2 1/2"	63.5	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-
1 1/2"	38.1	-	-	-	-
1"	25.4	-	-	-	-
3/4"	19.05	0	0	0.00	100.00
1/2"	12.7	0	0	0.00	100.00
3/8"	9.53	0	0	0.00	100.00
N° 4	4.75	1.69	1.69	0.85	99.15
N° 10	2	1.56	3.25	1.63	98.37
N° 40	0.425	5.36	8.61	4.32	95.68
N° 200	0.075	69.19	77.8	39.06	60.94
Recipiente		121.39	199.19	100.00	0.00

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 34. Resultados obtenidos de la granulometría.

% Grava	% Arena Total			43.63	% Fino
	Gruesa	Media	Fina		
0.67					55.70
	3.06	5.22	35.35		

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Porcentaje que pasa el tamiz N° 200 (0.075): 60.94%

b) Determinación del contenido de cemento.

Tabla 35. Contenidos de humedad en base a la normativa.

Clasificación según el sistema de clasificación AASHTO del suelo a ensayar.	Porcentaje de cemento (en peso) requerido para el ensayo de Compactación.
A-1-a	5
A-1-b	6
A-2	7
A-3	9
A-4	10
A-5	10
A-6	12
A-7	13

Fuente: Normas de Ensayo de Vialidad Nacional LEMAC VN - E20 – 66.

c) Contenido de agua a añadir.

✓ Porcentaje de humedad para cada porcentaje de cemento.

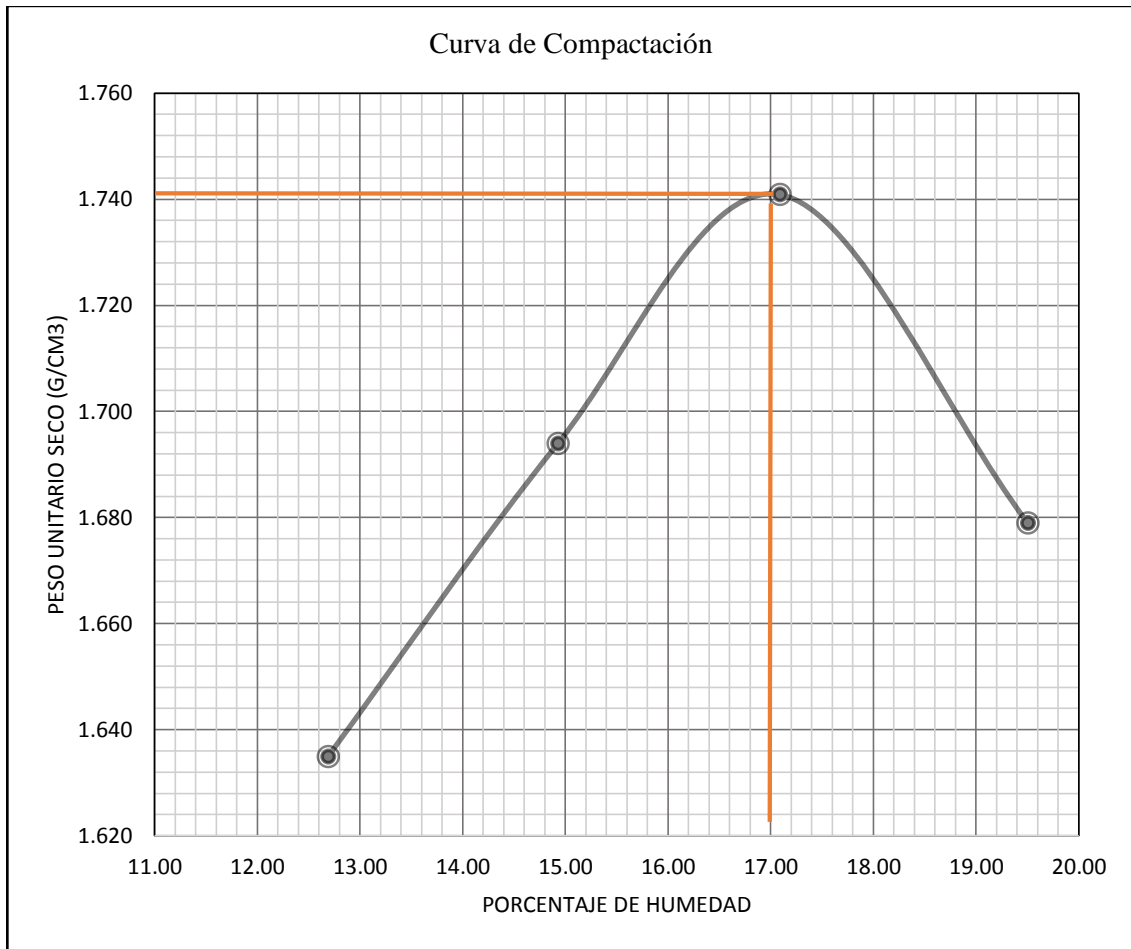
Tabla 36. Porcentaje de humedad acorde a cada porcentaje de cemento.

CONTENIDO DE HUMEDAD								
% cemento	Cap. n°	Masa capsula	Masa.cap +s.hum	Masa.cap +s.seco	masa de agua	masa seca	%humedad	%promedio
10	323	27.85	102.34	96.5	5.84	68.65	8.507	8.406
	11	28.07	99.53	94.05	5.48	65.98	8.306	
12	1	28.16	110.83	104.39	6.44	76.23	8.448	8.400
	94	28.57	102.91	97.18	5.73	68.61	8.352	
14	100	26.33	95.81	90.49	5.32	64.16	8.292	8.333
	76	29.39	108.98	102.83	6.15	73.44	8.374	
0	88	27.36	93.82	88.13	5.69	60.77	9.363	9.254
	41	26.58	89.6	84.32	5.28	57.74	9.144	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

✓ Densidad seca máxima, humedad óptima.

Ilustración 7. Curva de compactación estabilización con cemento.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 37. Resultados ensayo de compactación.

γ_d máx. (g/cm ³)	1.741
% w opt	17

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

✓ Dosificación Suelo - Cemento.

Tabla 38. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos finos.

Índice de grupo	% de material Limo + Arcilla		Densidad seca máxima (g/cm ³)						
			1,440 a 1,520	1,521 a 1,600	1,601 a 1,680	1,681 a 1,760	1,761 a 1,840	1,841 a 1,920	1,920 superior
0-3	0	19	12	11	10	9	8	7	7
	20	39	12	11	10	9	8	8	7
	40	59	13	12	11	9	9	8	8
	Más de 59		--	--	--	--	--	--	--
4-7	0	19	13	12	11	9	8	7	7
	20	39	13	12	11	10	9	8	8
	40	59	14	13	12	10	10	9	8
	Más de 59		15	14	12	11	10	9	9
8-11	60	19	14	13	11	10	9	8	8
	80	39	15	14	11	10	9	9	9
	100	59	16	14	12	11	10	10	9
	Más de 59		17	15	13	11	10	10	10
12-15	60	19	15	14	13	12	11	9	9
	80	39	16	15	13	12	11	10	10
	100	59	17	16	14	12	12	11	10
	Más de 59		18	16	14	13	12	11	11
16-20	120	79	17	16	14	13	12	11	10
	140	99	18	17	15	14	13	11	11
	160	119	19	18	15	14	14	12	12
	Más de 59		20	19	16	15	14	13	12

Fuente: Normas de Ensayo de Vialidad Nacional LEMAC VN - E20 – 66.

Tabla 39. Porcentajes de cemento correspondientes a suelos granulares.

% de material que pasa el tamiz N° 4(4.75 mm) Material grueso	% de material Limo + Arcilla	Densidad seca máxima (g/cm3)						
		1,660 a	1,761 a	1,841 a	1,921 a	2,001 a	2,080	2,080
		1,760	1,840	1,920	2,000	2,080	Superior	
	0 19	10	9	8	7	6	5	
0-14	20 39	9	8	7	7	5	5	
	40 60	11	10	9	8	6	5	
	0 19	10	9	8	6	5	5	
15-29	20 39	9	8	7	6	6	5	
	40 50	12	10	9	8	7	6	
	0 19	10	8	7	6	5	5	
30-45	20 39	11	9	8	7	6	5	
	40 50	12	11	10	9	8	6	

Fuente: Normas de Ensayo de Vialidad Nacional LEMAC VN - E20 – 66.

Tabla 40. Cantidad de agua añadir.

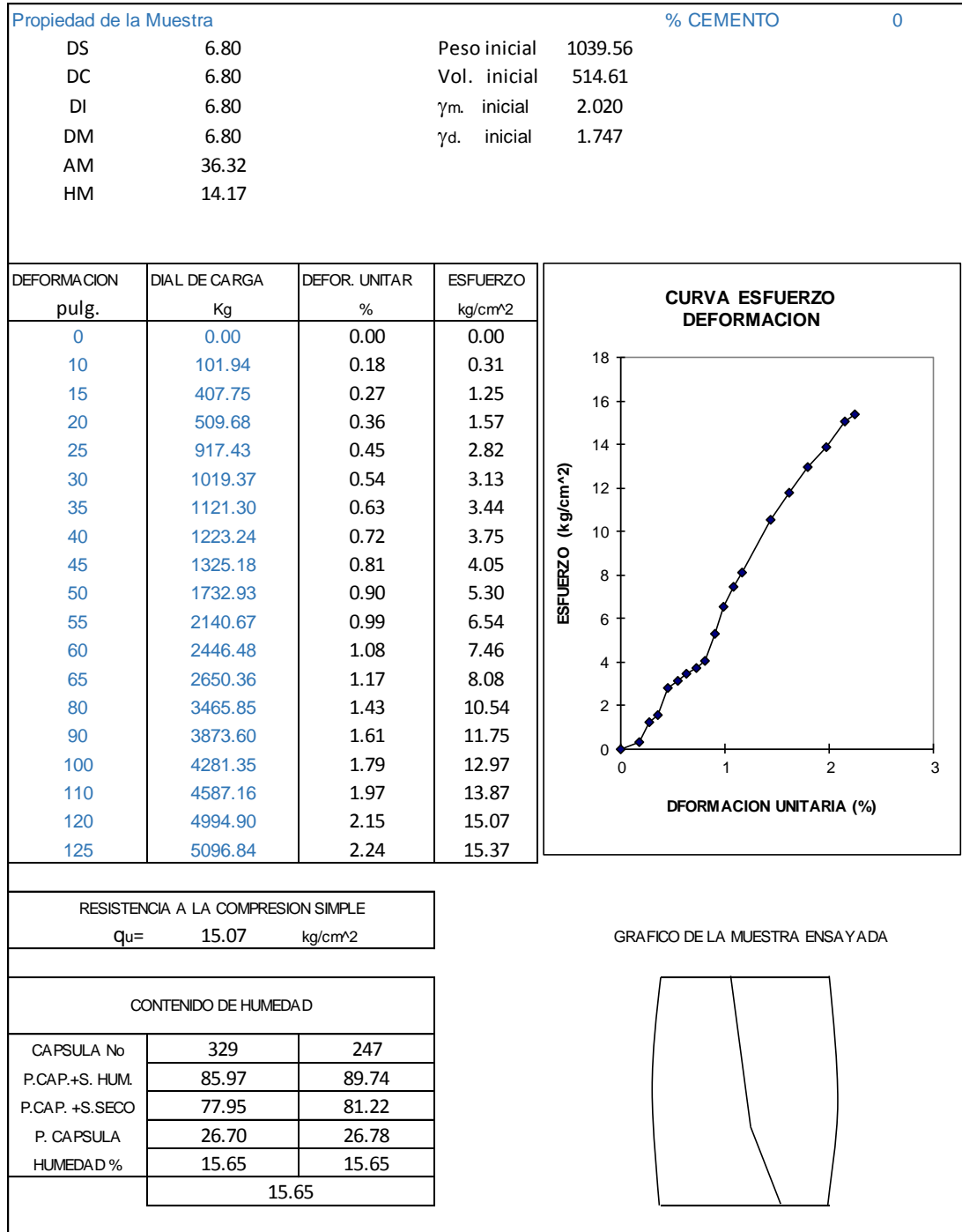
% Cemento	Masa Suelo Seco	Pasa	Peso Cemento	Sumatoria peso suelo	% Agua g
0	3000	3000	0	3000	203.34379
10	3000	2727.2727	272.72727	3272.7273	247.96824
12	3000	2678.5714	321.42857	3321.4286	251.02365
14	3000	2631.5789	368.42105	3368.4211	257.45144

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

d) Ensayo de Compresión Simple.

✓ Sin Porcentaje de cemento añadido.

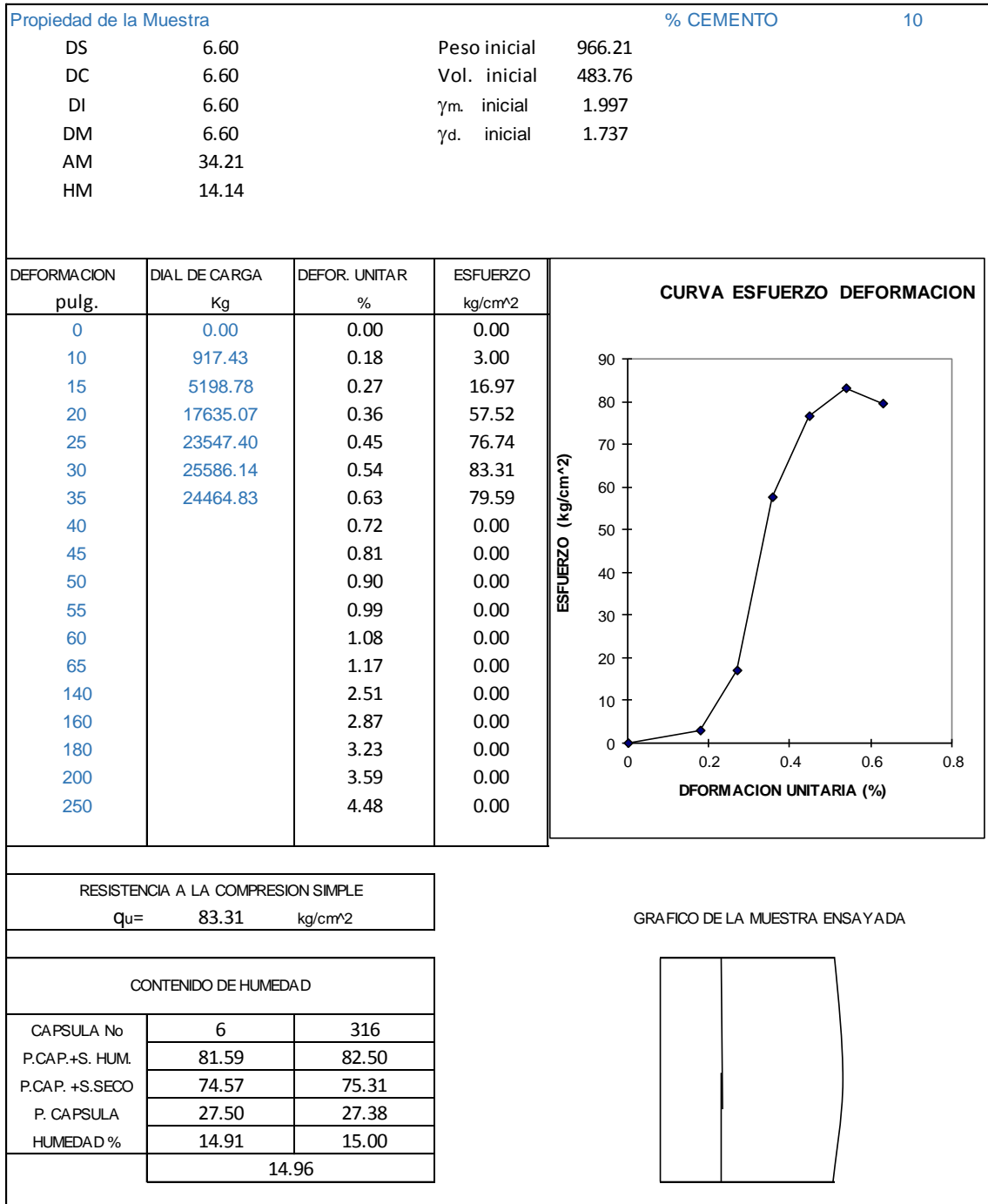
Ilustración 8. Sin porcentaje de cemento añadido.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

✓ 10% cemento añadido.

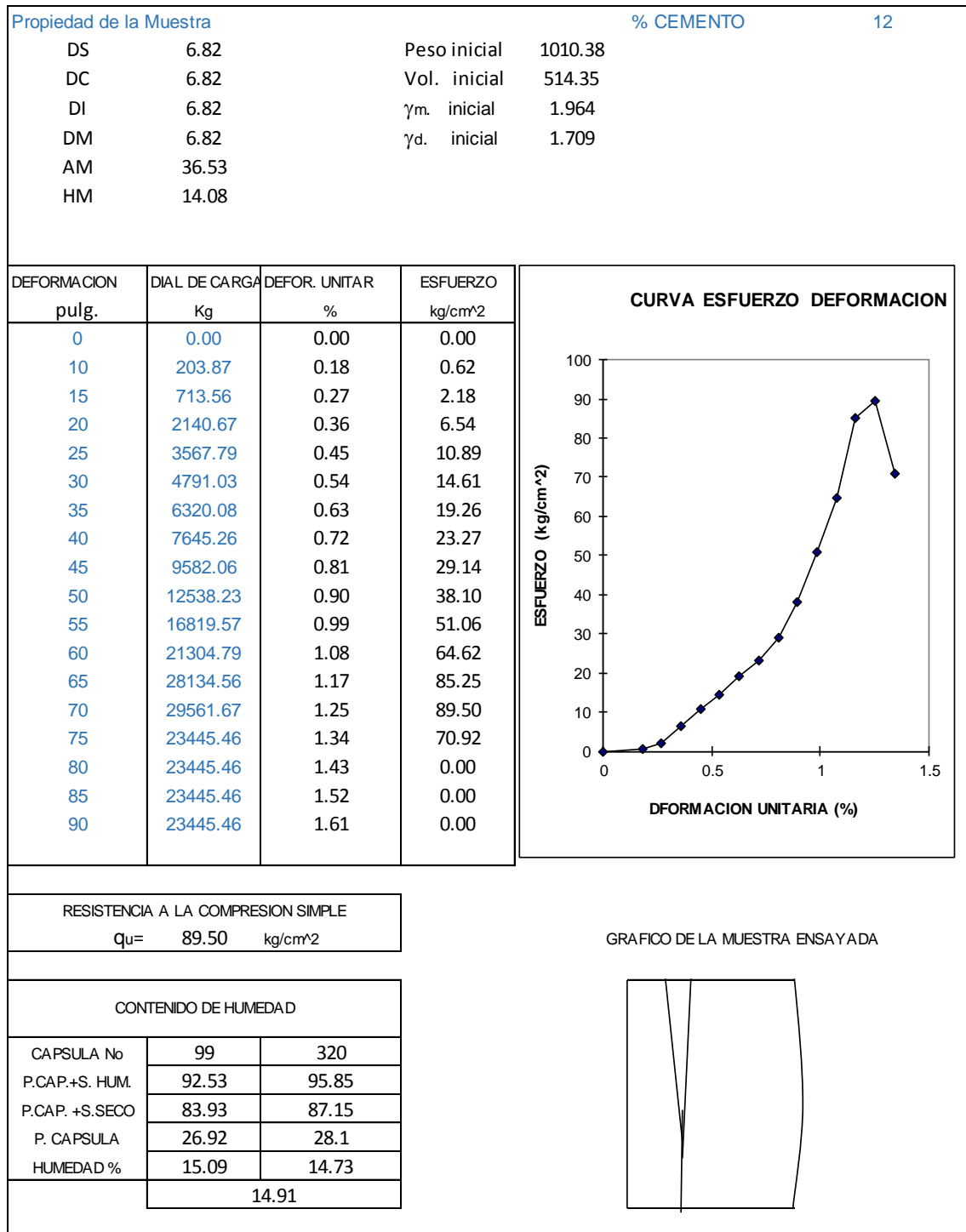
Ilustración 9. 10% de cemento añadido.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

✓ 12 % cemento añadido.

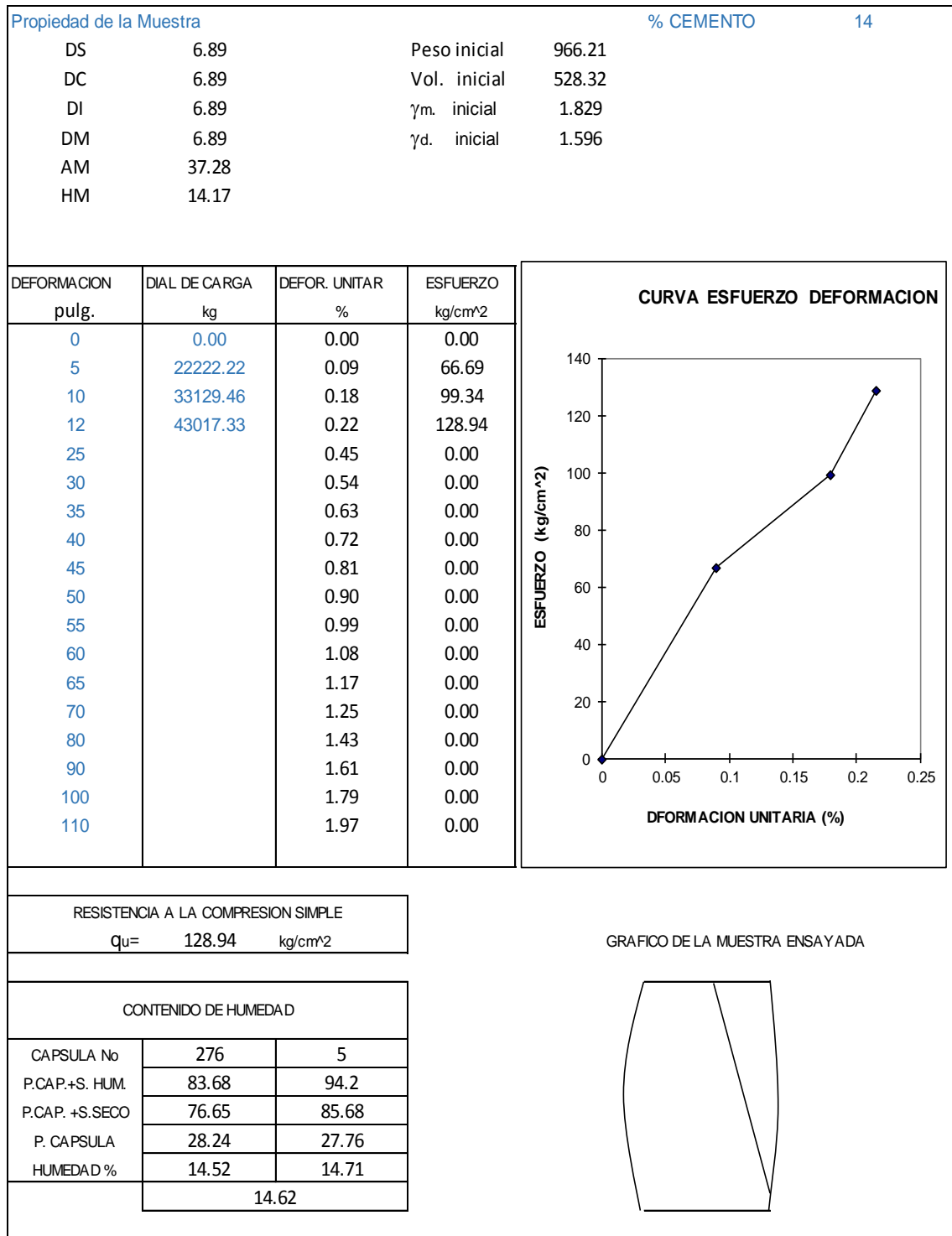
Ilustración 10. 12% de cemento añadido.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

✓ 14 % cemento añadido.

Ilustración 11. 14% de cemento añadido.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

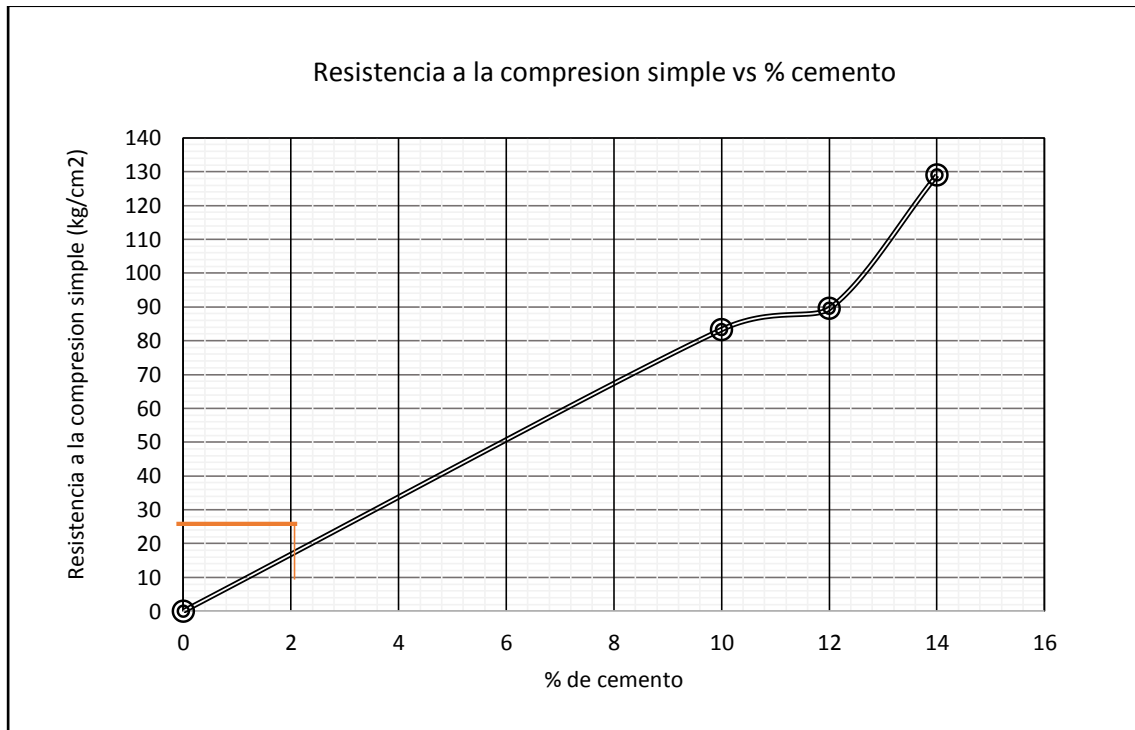
e) TABLA DE RESULTADOS.

Tabla 41. Resultados obtenidos.

Tabla de resultados				
Dosificación	Suelo Natural	10% cemento	12% cemento	14% cemento
Densidad Sec. (rd)	1.747	1.737	1.709	1.596
Humedad (%)	15.65	14.96	14.91	14.62
R. Compresión. Simple (kg/cm ²)	15.37	83.31	89.50	128.94

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 12. Curva compresión simple vs porcentaje de cemento.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión simple ensayado a los 7 días reflejan un aumento en la resistencia a la compresión simple conforme existe un incremento de cemento.

CONCLUSIONES.

Se concluye, el suelo estabilizado presenta gran resistencia a la compresión simple ante las sollicitaciones expuestas, pero dentro de los parámetros de alcance para ser estabilizado el suelo con cemento no es adecuado porque el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 es mayor a 50%, y en base a los resultados obtenidos el porcentaje óptimo para ser una base de suelo estabilizada con cemento es 2%

RECOMENDACIONES.

Se recomienda, el porcentaje de agua a agregar y la homogenización entre suelo-cemento debe ser adecuada para que posteriormente no exista variaciones en los resultados, de igual manera una calibración de los equipos para el ensayo de compresión simple.

3.1.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

De acuerdo con las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, el ensayo de compresión simple deberá obtener un valor mínimo de 18 kg/cm² para las probetas cilíndricas ensayadas a los 7 días en lo que concierne a una base de suelo estabilizada con cemento.

Propiedades usualmente requeridas en la construcción de carreteras referentes a la estabilización suelo-cemento se presenta en la siguiente tabla en base a la PCA Portland Cement Association y la normativa INVÍAS.

Tabla 42. Propiedades comúnmente exigidas en la estabilización suelo-cemento.

Propiedades comúnmente exigidas en la estabilización suelo- cemento				
Entidad	Tipo de Capa	R. Compresión. Simple kg/cm2	CBR %	Expansión %
	Subbase material para relleno de trincheras	3,5 -10,5	20-80	2
	Subbase para tránsito muy ligero	7,0 - 14,0	50-150	2
PCA	Bases para tráfico intenso	14,0-56,0	200-600	2
	Protección contra erosión y acción agua	>56	600	2
INVIAS	Base estabilizada	21	-	-

Fuente: La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres 2: Carreteras, Ferrocarriles y Autopistas. (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2014, pág. 510).

3.2 ESTABILIZACIÓN CON CAL. ENSAYO N. ° 4

3.2.1 INTRODUCCIÓN

En ingeniería de vías la calidad del suelo requiere un estudio minucioso ya que este será la base de la cimentación del pavimento por lo cual el suelo debe brindar un comportamiento óptimo ante las sollicitaciones de carga producidas por el tráfico para de esta manera obtener carreteras idóneas, pero sobre todo que sean económicamente manejables.

La estabilización química realizada en base a cal pretende modificar las propiedades físicas objetivamente los cambios volumétricos en las condiciones climáticas que se someterá el suelo de fundación, así como también aumentar su capacidad de resistencia que conlleva a un mejor comportamiento del pavimento.

3.2.2 OBJETIVO

Determinar porcentaje óptimo de cal mediante la modificación de sus propiedades físicas, plasticidad.

3.2.3 ALCANCE

La estabilización del suelo con cal pretende mejorar considerablemente las características del mismo, así como también permite aumentar la humedad óptima de compactación por tal razón permite que este proceso se desarrolle en suelos que contiene una humedad natural elevada.

Por lo general se obtiene mejores resultados si se aplica en suelos arcillosos de grano fino con un índice de plasticidad mayor a 10 y con un 25% mínimo de material que pasa el tamiz N° 200.

3.2.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

La estabilización del suelo con la cal está claramente enfocada en mejorar las características de los suelos inestables de tal manera que aumente la capacidad del este ante las sollicitaciones producidas por el tránsito y de igual manera reduciendo significativamente los cambios volumétricos por condiciones climáticas logrado aumentar la humedad óptima de compactación, la resistencia al esfuerzo de corte y la capacidad soportante del suelo.

3.2.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Primeramente, se toma una muestra representativa del material, la misma que se debe pasar por un proceso de tamizado, exclusivamente por el tamiz N° 40 el procedimiento se lo describe en la norma INV. E-106 hasta obtener un peso aproximado de 1100 gramos de muestra.
- ✓ Posteriormente con la ayuda de 4 cápsulas que sean de superficie honda repartimos el material que previamente ha pasado por el proceso de tamizado.
- ✓ Los porcentajes de cal a utilizarse en la estabilización del suelo se colocarán en cada uno de los recipientes.
- ✓ El primer recipiente no contendrá un porcentaje de cal, es decir el suelo en estado natural.
- ✓ El segundo recipiente contendrá la muestra de suelo conjuntamente con un porcentaje de 5% de cal hidratada.
- ✓ El tercer recipiente contendrá la muestra de suelo conjuntamente con un porcentaje de 7% de cal hidratada.
- ✓ Finalmente, el cuarto recipiente contendrá la muestra de suelo conjuntamente con un porcentaje de 9% de cal hidratada.
- ✓ Una vez obtenidos dichos porcentajes se realiza una mezcla homogénea entre el suelo y la cal
- ✓ Seguidamente procedemos a colocar las muestras en fundas herméticamente cerradas y se identifica cada una de ellas con el porcentaje de cal empleado respectivamente se debe tomar las muestras de humedad en cada una y se deja reposar durante un lapso de tiempo correspondiente a 24 horas.

- ✓ Una vez cumplido el tiempo se procede a realizar el ensayo de límites de Atterberg.
- ✓ Limite líquido descrito en la norma INV. E-125, así como en el manual de suelos de la universidad politécnica salesiana.
- ✓ El método consiste básicamente en generar una mezcla entre el suelo, cal y agua la misma que debe ser amasada con la ayuda de una capsula con superficie onda y una espátula teniendo precaución en no sobrepasar el contenido de agua en la mezcla, se coloca en el aparato de Casagrande y con ayuda del ranurador se la parte en la mitad se generan los golpes correspondientes, el ensayo finaliza cuando dentro de la misma se genera una abertura aproximadamente de 12.7 mm de largo, se toma una muestra representativa de 10 g. para determinar las humedades el proceso se repite para los diferentes porcentajes de cal.
- ✓ Limite plástico e índice de plasticidad descritos en la norma INV. E-126, así como también en el manual de suelos de la universidad politécnica salesiana.
- ✓ El método consiste básicamente en generar una mezcla entre el suelo, cal y agua, pero con la particularidad de formar cilindros de 3.2 mm de diámetro en una superficie lisa conforme se realiza el proceso de amasado, el ensayo finaliza cuando dentro de la misma se presentan grietas, se coloca en una capsula, se las seca en el horno durante 24 horas para determinar las humedades.
- ✓ Una vez obtenido estos parámetros se realiza la se comparación correspondiente mediante los índices de plasticidad que está íntimamente relacionado con el límite líquido y el límite plástico para cada porcentaje de cal incorporada, así como del suelo natural, y se determina el porcentaje ideal para la estabilización del suelo.

3.2.6 EQUIPO UTILIZADO.

Tabla 43. Equipo utilizado en el ensayo de estabilización con cal.





GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Tamiz	Tamiz No.40. para el paso del material necesario.
	Espátula	Con una hoja flexible de 75 (mm) (3") de longitud y un ancho aproximadamente de 20 (mm) (3/4").
	Copa de Casagrande	Consta de un casquete esférico de bronce con un dispositivo operado mediante una manivela la cual produce la elevación de la cuchara y su posterior caída. Equipado con un motor que produce la altura y el número de golpes requeridos.
	Ranurador	Ranurador tipo curvo utilizado para la ranura de la cuchara.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Recipientes	De material resistente a la corrosión y al calor, con una masa que no cambie en los procesos de calentamientos y enfriamientos repetitivos.
	Horno	Controlado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
	Balanza	Una con una capacidad de 1000 (g) con una sensibilidad de 0,01 (g).
	Superficie lisa	Para conseguir un amasado y enrollamiento adecuado.
	Equipo misceláneo	Herramientas de uso general como: espátulas, cápsulas, mezclador, etc.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

3.2.7 CÁLCULOS.

Determinamos contenido de humedad, en porcentaje, para el cual el suelo llega a fisurarse, luego de un proceso de rolado manual hasta generar un cilindro cuyo diámetro sea de 3.2 mm se conoce como Límite Plástico

De igual manera determinamos el contenido de humedad, en porcentaje, para el cual el suelo, luego de 25 golpes en la copa de Casagrande, produce una unión de 12.7 mm en el borde inferior de la huella dejada por un ranurador en la muestra de suelo colocada en la copa previo al ensayo este procedimiento se define como el LL.

Una vez obtenido los contenidos de humedad calculamos el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecuación 17. Estabilización con cal.}$$

3.2.8 *NORMATIVA*

INV. E- 125 INV. E - 126

ASTM D 4318

AASHTO T 89 - 90

3.2.9 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 4*

TÍTULO: Estabilización con cal.

OBJETIVO: Determinar porcentaje óptimo de cal mediante la modificación de sus propiedades físicas plasticidad.

CÁLCULOS:

ENSAYO ESTABILIZACIÓN CON CAL

a) **Datos Previos.**

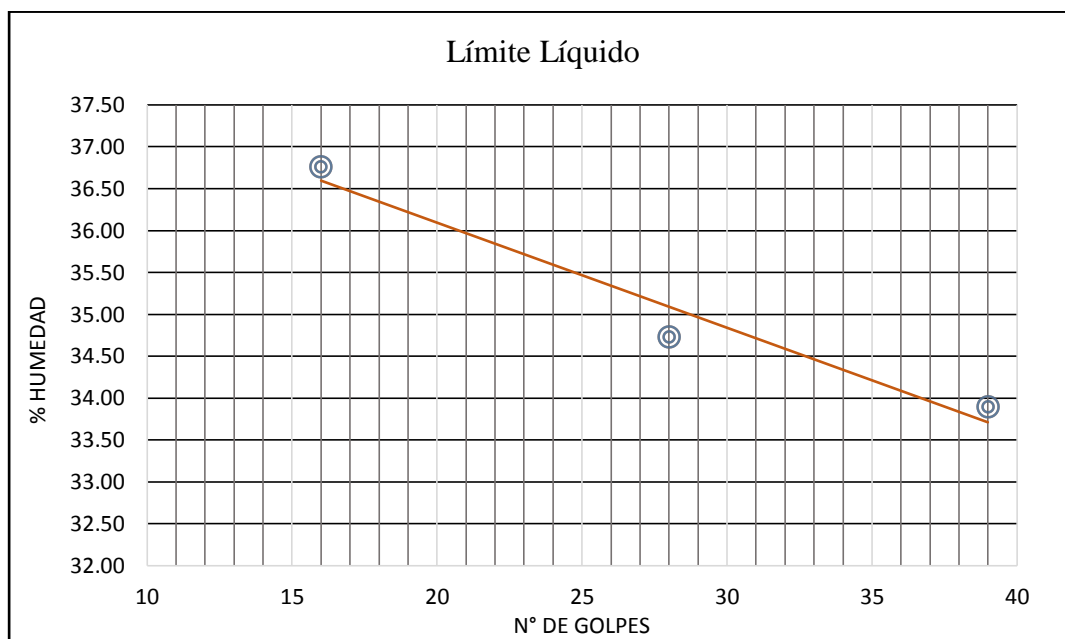
✓ **Estabilización del suelo, 0% de cal**

Tabla 44. Limite líquido en suelo natural.

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad
39	49	21.03	32.92	29.91	33.90
28	50	21.21	30.52	28.12	34.73
16	51	21.19	30.75	28.18	36.77

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 13. Determinación del límite líquido.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 45. Limite plástico.

Límite Plástico (LP)				
Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad
55	21.3	22.97	22.63	25.56
12	21.41	22.21	22.07	21.21

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 46. Determinación del índice de plasticidad.

LL =	35.4
LP =	23.39
IP =	12.01

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

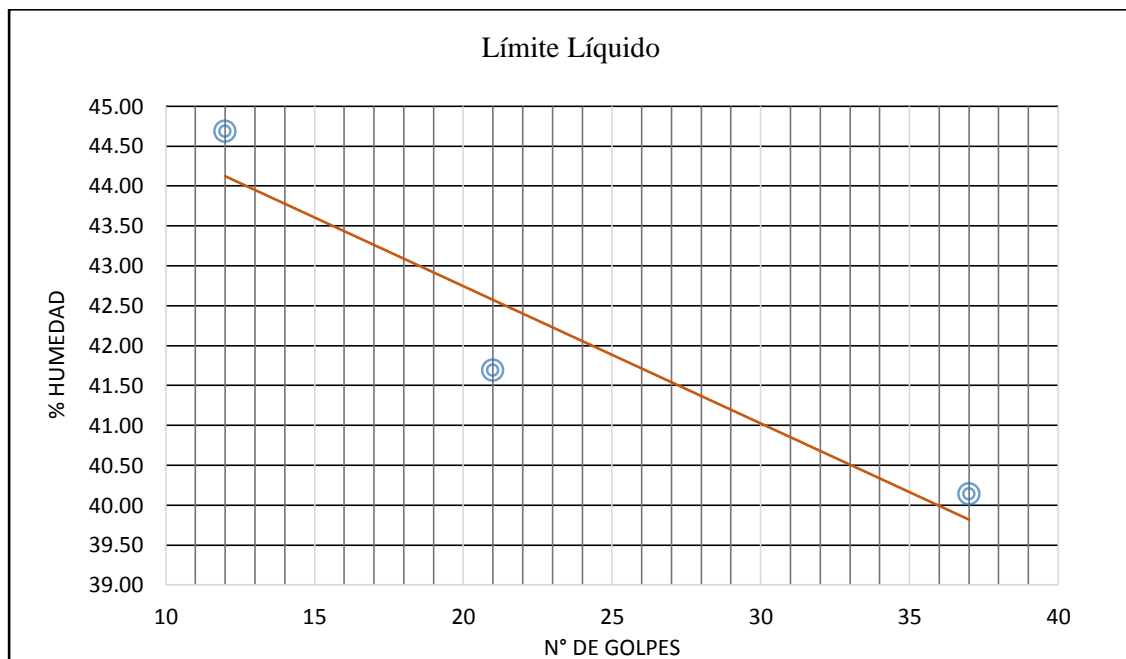
✓ **Estabilización del suelo, 5 % de cal**

Tabla 47. Limite líquido con 5% de cal.

Nº de Golpes	Cápsula Nº	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (g)	% Humedad
37	35	21.4	31.42	28.55	40.14
21	56	21.47	31.36	28.45	41.69
12	15	21.27	31.21	28.14	44.69

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 14. Determinación del límite líquido para 5% de cal.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 48. Limite plástico 5% de cal.

Límite Plástico (LP)				
Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	%Humedad
94	21.17	21.90	21.72	32.73
95	21.27	21.92	21.77	30.00

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 49. Determinación del índice de plasticidad 5% de cal.

LL =	41.9
LP=	31.36
IP=	10.54

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

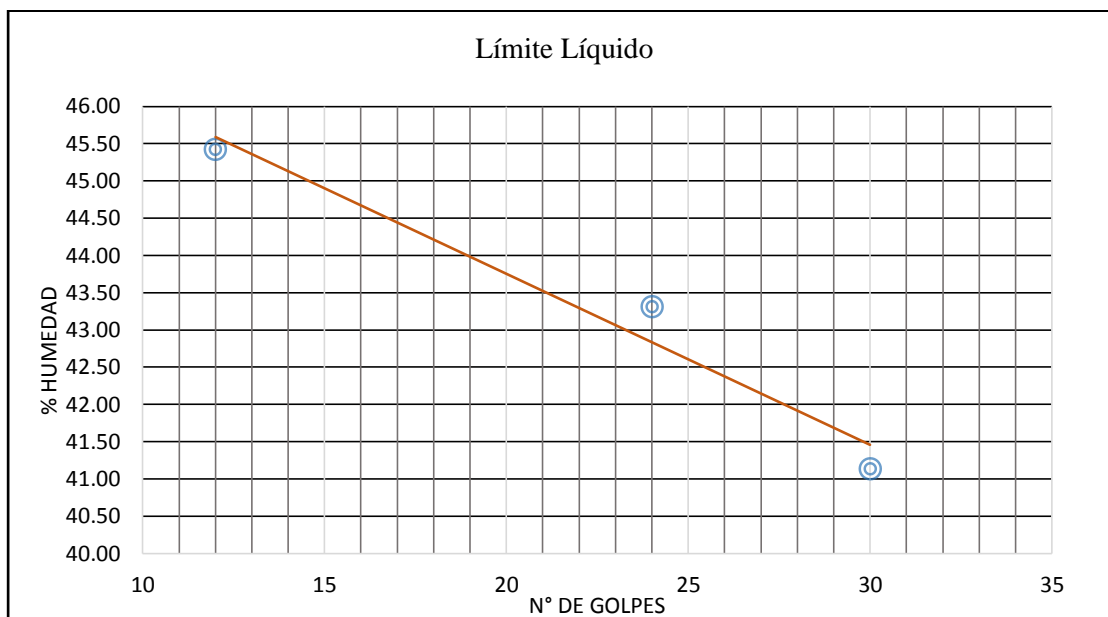
✓ **Estabilización del suelo, 7 % de cal**

Tabla 50. Limite líquido para 7% de cal.

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (g)	%Humedad
30	35	21.18	30.10	27.5	41.14
24	56	21.46	30.79	27.97	43.32
12	15	21.44	31.14	28.11	45.43

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 15. Determinación del límite líquido para 7% de cal.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 51. Limite plástico 7% de cal.

Límite Plástico (LP)				
Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad
94	21.3	22.43	22.15	32.94
95	21.19	22.28	22	34.57

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 52. Determinación del índice de plasticidad 7% de cal.

LL =	42.5
LP =	33.75
IP =	8.75

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

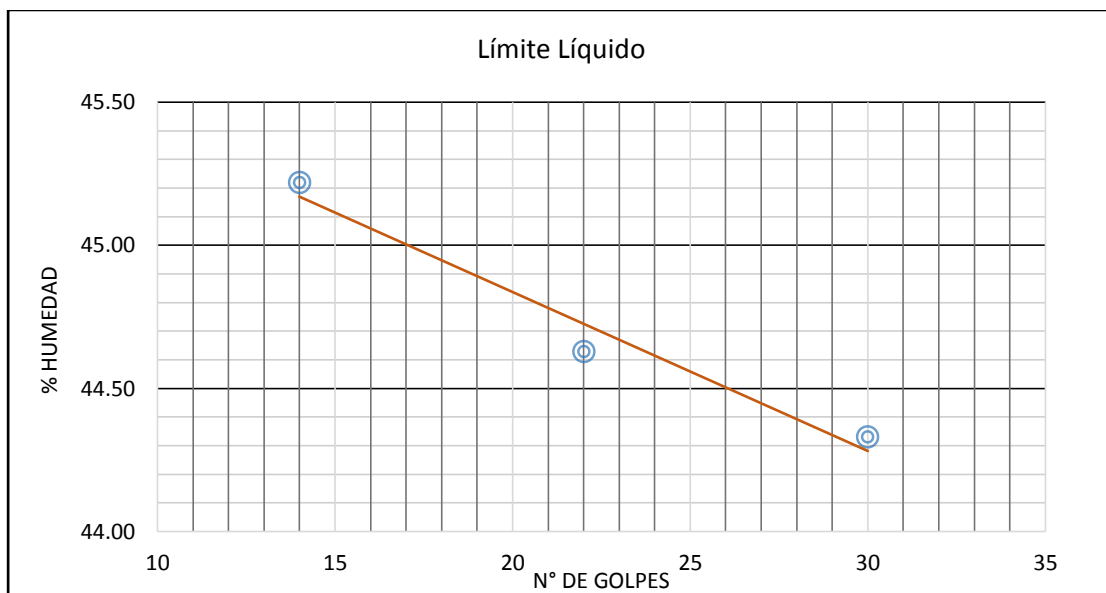
✓ **Estabilización del suelo, 9 % de cal**

Tabla 53. Limite líquido para 9% de cal.

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (g)	% Humedad
30	35	21.15	32.48	29	44.33
22	56	21.48	32.79	29.3	44.63
14	15	21.56	32.80	29.3	45.22

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 16. Determinación del límite líquido para 9% de cal.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 54. Limite plástico 9% de cal.

Límite Plástico (LP)				
Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad
94	21.37	22.42	22.14	36.36
95	21.44	22.56	22.25	38.27

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 55. Determinación del índice de plasticidad 9% de cal.

LL =	44.55
LP =	37.32
IP =	7.23

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

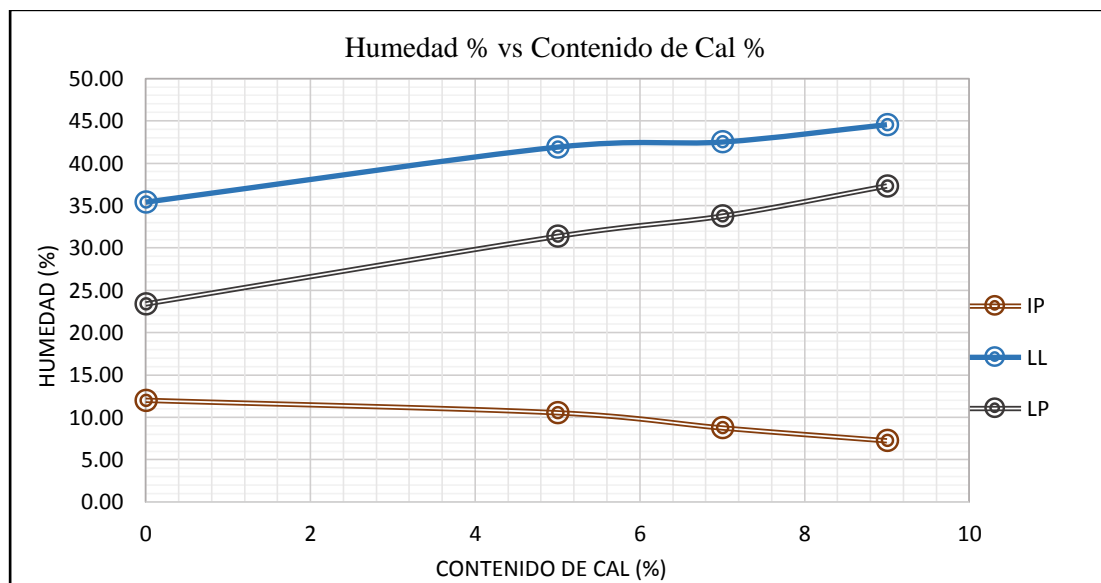
b) Tabla de resultados

Tabla 56. Resultados obtenidos entre suelo natural y % de cal.

Mejoramiento	% CAL	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Estabilización suelo-cal	0	35.4	23.39	12.01
	5	41.9	31.36	10.54
	7	42.5	33.75	8.75
	9	44.55	37.32	7.23

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 17. Índice de plasticidad para los % de cal.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base a los resultados obtenidos en laboratorio se determina, existe un claro decrecimiento del índice de plasticidad respecto al suelo natural, así como existe un aumento en el límite líquido y límite plástico, para nuestro tipo de suelo en estudio, Limo Arcilloso.

CONCLUSIONES.

Acorde al objetivo planteado, se concluye, el porcentaje óptimo de cal está determinado en base a la disminución del índice de plasticidad por lo que es necesario regirse a los requerimientos de las especificaciones en los pliegos dentro de la construcción de obras ingenieriles.

RECOMENDACIONES.

Es importante tener en cuenta las propiedades de la cal la misma que debe cumplir con especificaciones técnicas de las normas que la rigen como material estabilizante con la finalidad de no generar variaciones en la estabilización en campo como en laboratorio.

3.2.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Dentro de las propiedades significativas en la estabilización suelo-cal está íntimamente relacionada la plasticidad que reacciona de la siguiente manera: existe un mayor decremento del índice de plasticidad en los suelos muy plásticos en tanto que el índice de plasticidad en suelos de plasticidad media tiene poca influencia y puede existir un incremento del índice de plasticidad en los suelos finos de plasticidad baja (Rodriguez & Del Castillo, 1977).

Tabla 57. Denominación en función del grado de plasticidad.

Índice de Plasticidad	
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Plasticidad media
20-40	Alta plasticidad
>40	Muy alta plasticidad

Fuente: Guillermo Realpe 2014, Cátedra mecánica de suelos.

La estabilización con cal es empleada en suelos arcillosos con una plasticidad media a alta es decir en suelos débiles y además en suelos con humedad natura elevada, la disminución de la plasticidad también se ve influenciada en la reducción de la expansividad, mejorando su estabilidad volumétrica.

La estabilización con cal es recomendable, cuando el suelo contenga los siguientes parámetros como son:

- ✓ Índice de plasticidad (IP) mayor a 10
- ✓ Porcentaje que pasa el Tamiz N° 200 mayor a 25

No se recomienda estabilizar con cal:

- ✓ En suelos altamente orgánicos.
- ✓ En suelos con pocas cantidades de arcilla.

4 CAPÍTULO IV. CAPA DE RODADURA

4.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE - MÉTODO MARSHALL

4.1.1 INTRODUCCIÓN

El método Marshall es un método de diseño de mezclas asfálticas que fue desarrollado por Bruce Marshall, del departamento de carreteras en Mississippi, a fines de la década de 1930 hasta los inicios de la década de 1940, el método toma fuerza en 1943 donde fue utilizado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos a partir de la segunda guerra mundial se adaptado para su uso en carreteras, el método tiene como finalidad determinar el porcentaje óptimo de asfalto con una combinación específica de agregados determinada.

Actualmente, el pavimento asfáltico es la alternativa más empleada en la infraestructura vial, Los factores principales de daño en las vías son: las cargas de tránsito, los factores climáticos los cuales dañan la estructura de pavimento y reduce su vida útil, generando mayores gastos para mantenimiento y reparación.

El presente método se encarga de proveer una información de las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, estableciendo contenidos óptimos de vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral, densidades de la mezcla, y contenido de asfalto. Mismos parámetros que deberán ser cumplidos en la construcción de un pavimento.

4.1.2 OBJETIVO.

Determinar contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados preparada en laboratorio.

4.1.3 ALCANCE.

El presente ensayo tiene como finalidad determinar una mezcla asfáltica, la cual brindará un excelente desempeño en la carpeta asfáltica garantizando una buena trabajabilidad a las solicitaciones de carga que serán originadas por el tránsito y resistente a los factores climáticos y así garantizar el nivel de servicio deseado.

El procedimiento es aplicable para su ejecución en laboratorio y en planta con tamaño de agregados máximo de 1" (25.4 mm).

4.1.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

El método Marshall para una mezcla asfáltica en caliente tiene gran influencia en la determinación de las propiedades mecánicas adquiridas mediante su diseño y así obtener un comportamiento adecuado en el pavimento flexible.

El método describe la determinación de la resistencia a la deformación plástica, análisis de las propiedades volumétricas en la mezcla compactada de los especímenes realizados en laboratorio mediante el ensayo Marshall.

Parámetros que caracterizan la mezcla asfáltica.

- ✓ La estabilidad Marshall indica que la mezcla asfáltica compactada no sufrirá deformaciones y desplazamientos bajo la aplicación de cargas del tránsito.
- ✓ Los vacíos de aire en la mezcla asfáltica menores que 3% producen inestabilidad en tanto que mayores al 5% producen mezclas permeables causando un deterioro en la misma.
- ✓ Los vacíos de agregado mineral VAM controlan que el asfalto alojado sea el suficiente dentro de los espacios del agregado.
- ✓ Los vacíos llenos de asfalto VFA, indican durabilidad en la mezcla asfáltica.

El ensayo consiste en preparar un mínimo de tres briquetas por cada contenido de asfalto con una gradación particular del agregado con diferentes contenidos del mismo en incrementos y decrementos del 0,5% en peso entre ellos, por lo menos dos por encima y dos por debajo del valor de partida obtenido mediante las fórmulas descritas en la sección de cálculos, con los cuales se determina las propiedades volumétricas, estabilidad y flujo los mismos que se representan en curvas y mediante estas se determina el valor óptimo de asfalto.

El valor óptimo de asfalto calculado será el adecuado para que todas las partículas de la mezcla seas recubiertos por el mismo además con un espesor suficiente para resistir los factores climáticos evitando una oxidación del asfalto, pero a su vez no debe ser excesivamente gruesa porque la mezcla tendría deformaciones excesivas es decir perdería estabilidad.

4.1.5 PROCEDIMIENTO.

Primeramente, se obtiene el material para realizar los ensayos necesarios que caracterizan la mezcla asfáltica para lo cual se necesita una cantidad aproximada de 50 kg de cada agregado 3/8", 1/2" y fino, se realiza el cuarteo en cada uno de ellos para homogenizar el material.

Calidad de los agregados.

Para determinar la calidad de los agregados es necesario que se realice los ensayos correspondientes, abrasión por medio de la máquina de los ángeles, índice de plasticidad, resistencia a los sulfatos (durabilidad), equivalente de arena, caras fracturadas (textura), deletéreas y partículas alargadas planas, las especificaciones generales MOP- 001F-2002

presentan los siguientes porcentajes referentes a cada uno de los ensayos para poder ser utilizado en la mezcla asfáltica, así tendremos:

- ✓ Abrasión de acuerdo con el ensayo desgaste del agregado grueso por medio de la máquina que los ángeles, tendrá un valor máximo de 40% y se rige a la norma ASTM C-131.
- ✓ Índice de plasticidad realizado a los agregados que pasan el tamiz N° 40 (0.425 mm) tendrá un valor máximo de 4% y se rige a la norma ASTM D-4318.
- ✓ Durabilidad de acuerdo con el ensayo de desgaste a los sulfatos, tendrá un valor máximo de 12% y se rige a la norma ASTM C-88
- ✓ Equivalente de arena realizado a los agregados que pasan el tamiz N° 4 (4.75 mm), tendrá un valor mínimo de 35% y se rige a la norma ASTM D-2419
- ✓ Textura de acuerdo con el ensayo de caras fracturadas realizado a los agregados retenidos en el tamiz N°4 (4.75 mm), tendrá un valor mínimo de 75% y se rige a la norma ASTM D-5821.
- ✓ Deletéreos tendrá un valor máximo de 1% y se rige a la norma ASTM C-142
- ✓ Partículas alargadas y aplanadas realizado a los agregados retenidos en el tamiz N°4 (4.75 mm), tendrá un valor máximo de 10% y se rige a la norma ASTM D-4791.

Calidad del ligante, cemento asfáltico.

Acorde a las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., determina las exigencias mínimas para ser aceptado en la mezcla asfáltica.

Tabla 58. Calidad del ligante y contenido de asfalto (MOP-001-F 2002).

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100	
	Betún original	Mínimo	Máximo	Mínimo
Penetración (25°C, .100 gr, 5s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**).	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %	---	2,2	---	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm.	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, Tabla 810.2.1.

Se determina la gravedad específica del cemento asfáltico, la norma que rige al ensayo ASTM D-70.

Granulometría y mezcla del material.

Primeramente los agregados pasan por un proceso de secado a través de un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, después de dicho proceso se deja enfriar el material a temperatura ambiente, posteriormente se tamiza por las aberturas de 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”,

N° 4, N° 8, N°16, N°30, N°50, N° 100 y N° 200 para poder preparar la mezcla de los agregados gruesos y finos (material A, B y C).

Una vez definidas las características y determinada la granulometría del material A, B, C, se obtiene la mezcla del agregado cuya graduación sea adecuada y cumpla con las exigencias de la especificación MOP-001- F 2002. Sección 405, Tabla 405-5.1. El procedimiento es de tanteo hasta obtener la gradación especificada de la norma.

Es necesario que los agregados de la mezcla realizada entre los materiales A, B, C cumplan con las especificaciones y con la curva granulométrica propuesta en la mezcla, la misma que debe estar centrada.

Gravedad específica de los agregados grueso y fino.

Se determina para establecer la relación peso volumen de los agregados compactados y de esta manera determinar los vacíos en la mezcla asfáltica compactada.

Gravedad específica en agregados Gruesos, se rige en la normativa ASTM C-127 y su metodología es siguiente:

- ✓ Se pesa aproximadamente 5000 g. de material retenido por el tamiz N° 4 (4.75mm) el cual paso por un proceso de lavado, posteriormente secado del material.
- ✓ Una vez hecho esto, se sumerge la muestra seca por 24 horas.
- ✓ Pasado por el proceso de sumersión, se saca la muestra del agua.
- ✓ Se pesa la muestra en la condición superficialmente seca a continuación la misma muestra se coloca en una canastilla.
- ✓ La canastilla junto con la muestra se sumerge en el agua y se determina el peso sumergido en el agua.

- ✓ Finalmente se procede a secar la muestra en el horno y se realiza los cálculos permitentes para la gravedad específica aparente, gravedad específica Bulk, gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk y absorción de los agregados A y B que intervienen en la mezcla.

Gravedad específica en agregados Finos, se rige en la normativa ASTM C-128 y metodología es siguiente:

- ✓ Se pesa aproximadamente 1000 g. de material fino el mismo que se sumerge en agua durante 24 horas
- ✓ Una vez hecho esto, el material fino se coloca en una bandeja el mismo que es expuesto a un aire caliente con la ayuda de una secadora eléctrica.
- ✓ Para determinar la condición del material saturada superficialmente seca se ayuda de un cono donde se compacta suavemente la muestra y si en este no presenta un desmoronamiento el material es aceptable si no cumple se regresa al procedimiento anteriormente descrito hasta cumplir la condición del material.
- ✓ De la muestra total saturada superficialmente seca pesamos 500 g la misma que se coloca en el picnómetro y consecuentemente se sacan los vacíos de aire del material.
- ✓ Finalmente se saca la muestra del picnómetro, se seca al horno y se realiza los cálculos permitentes para la gravedad específica aparente, gravedad específica Bulk, gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk y absorción del agregado C que interviene en la mezcla.

Porcentaje de partida del cemento asfáltico.

Se calcula con una combinación específica de agregados, usando la ecuación planteada por el Instituto del Asfalto.

A partir de los datos obtenidos se calcula la relación Filler betún la misma que cumpla las exigencias de la especificación MOP-001- F 2002. Sección 405 Tabla 405.5.4

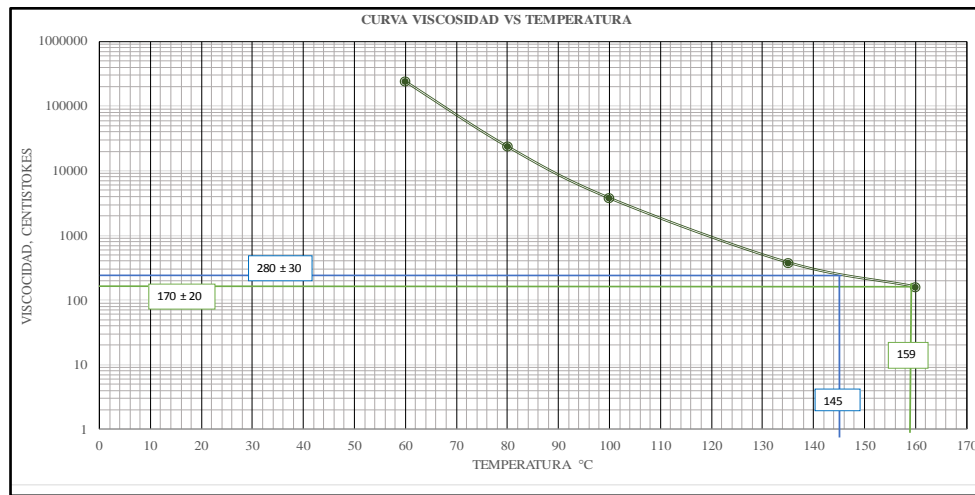
Fabricación de briquetas. Ensayo N° 5.

El número de briquetas correspondientes a tres para cada contenido de asfalto con un incremento y decremento del 0,5% en peso de asfalto, dos arriba y abajo respectivamente es decir se deben preparar 15 briquetas.

La cantidad de material para cada biqueta es de 1200 g por lo general se necesita un total de 25000 g de agregados con una gradación dada entre los materiales A, B, C y un galón de cemento asfaltico para la respectiva compactación.

Se determina la temperatura de mezclado y de compactación la norma ASTM 6926-16 especifica que el asfalto sea calentado a una temperatura recomendada por el fabricante/proveedor en caso de no tener esta información, la temperatura de mezclado será a la cual es asfalto alcance una viscosidad cinemática de 170 ± 20 centiStokes y la temperatura de compactación será de 280 ± 30 centiStokes para lo cual nos ayudamos de la curva viscosidad vs temperatura.

Ilustración 18. Curva viscosidad vs temperatura propuesta por el Instituto del asfalto.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

De acuerdo con la curva viscosidad vs temperatura propuesta por el Instituto del asfalto, las temperaturas de trabajo serán: mezclado 170 ± 20 centiStokes ($157 - 161$ °C) y para la compactación 280 ± 30 centiStokes ($142 - 148$ °C)

Se prepara el material que pasa en cada tamiz para tres briquetas en cada bandeja es decir 3600 g. hasta completar las 15 briquetas todo este material se calienta en un horno hasta la temperatura de 28 °C superior a la temperatura de la mezcla

Este material seco obtenido se lo homogeniza con la ayuda de una cuchara dándole a este una forma de cráter en el cual se colocará el asfalto caliente de acuerdo con los pesos previamente calculados.

Con la ayuda de una estufa eléctrica se mezcla el material A, B, C y el asfalto hasta que todas las partículas del agregado estén completamente recubiertas por el mismo el tiempo de mezclado debe ser de 60 segundos.

Se mantendrá un movimiento uniforme en la estufa eléctrica para que todo el material logre la temperatura homogénea hasta cuando sea vertida en el molde para compactar.

Paralelamente al paso anterior se deberá limpiar y calentar en el horno a una temperatura entre los $90 - 150$ °C, el molde, la placa de base, el collar, y la base del martillo de compactación.

Armamos el sistema para moldear las briquetas, colocamos un papel filtro en el fondo antes de incorporar la mezcla.

Colocamos la totalidad de la mezcla (1200 g) precalentada en el molde y procedemos a golpear vigorosamente con una espátula 15 veces en el contorno del perímetro del molde y 10 veces en el centro.

Colocamos el conjunto del molde sobre el pedestal de compactación, aplicamos 75 golpes empleando el martillo de compactación a caída libre de 455,2 mm (18") siempre manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde. Concluidos los 75 golpes retiramos la placa base y el collar, colocándolos en los extremos opuestos del molde montamos el sistema en el pedestal aplicamos 75 golpes a la cara invertida de nuestra muestra.

Una vez concluida la compactación retiramos el molde y dejamos enfriar la muestra al ambiente para que no produzca ninguna deformación al momento de ser extraído.

Se repetirá el proceso hasta concluir las 15 briquetas necesarias para el ensayo.

Con las muestras ya frías procedemos a retirarlas del molde mediante el extractor de muestras.

Identificamos las briquetas, enumerándolas con una crayola blanca dándoles la numeración de (1-15) según se las realizo.

Medimos sus espesores $63,5 \pm 3$ mm y los colocamos en una superficie plana de preferencia lisa, dejamos reposar por un día para realizar la secuencia del ensayo Marshall.

Rotura de briquetas. Ensayo N° 6

Para determinar las propiedades volumétricas en la mezcla compactada es necesario determinar las gravedades específicas, como se detalla a continuación.

Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada (Gmb), ASTM D-2726.

Es importante determinar la gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada ya que este parámetro permite obtener el porcentaje de vacíos de aire en el método Marshall.

El ensayo limita su utilización para mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio y extraídas en campo.

- ✓ El método se basa en pesar el espécimen compactado seco luego que haya permanecido en el aire durante una hora a temperatura de 25 °C ambiente obteniendo así el peso seco en el aire.
- ✓ Posteriormente se sumerge el espécimen en agua a una temperatura de 25 °C durante un lapso de 3 – 5 min. Determinando el peso de este y obteniendo así el peso sumergido en agua.
- ✓ A continuación, se extrae el espécimen del agua, secándola y pesándola, obteniendo así el peso en la condición saturada superficialmente seca.

Estabilidad y Flujo.

Para iniciar el ensayo de estabilidad y flujo se coloca las briquetas en intervalos de dos minutos en un baño de agua alrededor de 30 - 40 minutos manteniendo el baño a una temperatura de 60°C con una tolerancia de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Paralelo a esto limpiaremos perfectamente las barras guías y las superficies interiores de las mordazas lubricándolas antes de la ejecución del ensayo.

Es importante que la temperatura de las mordazas se mantenga a una temperatura de entre 21,1 - 37,8 °C, de ser necesario empleando un baño de agua.

Transcurridos los 30 minutos se retiramos una de las briquetas iniciales del baño de agua, retiramos el exceso de agua rodándola en papel y la colocamos centrada en la mordaza inferior del sistema, montamos la mordaza superior con el medidor de deformación y lo situamos centrado en la prensa formando un solo sistema.

Colocamos el medidor de flujo en posición, encerramos y notamos que se mantenga firmemente el vástago contra la mordaza superior durante se aplique la carga de ensayo.

A continuación, se aplica la carga sobre la probeta con la prensa a una velocidad de deformación constante de 50,8 mm o 2” por minuto, hasta cuando se produzca la falla (alcance la máxima carga y seguidamente disminuya la lectura del dial.)

Anotamos el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo, o si fuere el caso de tener la deformación del dial indicador la convertiremos a carga multiplicanda por la constante del anillo.

El valor de estabilidad Marshall que se registrara será el valor que se necesita para producir la falla de la muestra, este valor se denotara en Newton (kgf).

Seguidamente anotamos la lectura en el medidor de flujo justo en el instante que alcanza la carga máxima, mismo que será el valor del flujo para la probeta ensayada expresado en mm.

También indica la disminución del diámetro que sufre la briqueta entre la carga inicial (cero) y el instante de rotura.

Es importante tener en cuenta que el proceso completo desde que sacamos la probeta del baño de agua hasta su rotura se deberá cumplir a cabalidad en un lapso no mayor a los 30 segundos.

Este proceso será repetido para nuestras 15 briquetas que conforman la totalidad de nuestro ensayo.

Finalmente se tabula los datos obtenidos, se corrige los valores de estabilidad correspondiente para cada espécimen y se grafica el contenido de asfalto vs vacíos de

agregado mineral (VAM), vacíos de aire (Vv), vacíos llenos de asfalto (VFA), Estabilidad Marshall y Flujo

Gravedad específica teórica máxima Rice (Gmm), ASTM D-2041.

El método consiste en disgregar el espécimen compactado teniendo precaución en no fracturar las partículas del mismo hasta obtener la muestra en estado suelto la cual se coloca en una bandeja y se pesa, posteriormente la muestra se coloca en la bomba de vacíos conjuntamente con el agua hasta cubrir completamente la muestra, el procedimiento consiste en sacar los vacíos de la muestra, finalmente se vierte el agua y se seca la muestra, como lo explica el ensayo N° 7 de este documento.

Una vez obtenido estos parámetros se realiza los cálculos pertinentes para gravedad específica efectiva de los agregados y gravedad específica teórica máxima para diversos contenidos de asfalto con las fórmulas planteadas en la sección de cálculos.

Propiedades volumétricas.

Se determina las propiedades volumétricas de la mezcla compactada, VAM vacíos en el agregado mineral, Vv vacíos de aire, VFA vacíos llenos con asfalto con las fórmulas planteadas en la sección de cálculos.

Es importante determinar las propiedades volumétricas en mezcla compactada ya que estas proporcionan un indicativo del comportamiento probable del pavimento de servicio

- ✓ Vacíos de agregado mineral (VAM): es el volumen de vacíos existente entre las partículas del agregado en la mezcla asfáltica compactada.
- ✓ Vacíos de aire (Vv): es el volumen de aire existente entre los agregados recubiertos de asfalto posterior a la compactación en la mezcla asfáltica.



- ✓ Vacíos llenos de asfalto (VFA): son los espacios ocupados por el asfalto dentro en los volúmenes existentes, vacíos de agregado mineral o contenido de asfalto efectivo.

Porcentaje óptimo de asfalto.

Existen dos criterios para determinarlo el tradicional será el promedio de los parámetros estabilidad máxima, densidad máxima y el 4% de vacíos por otro lado el propuesto por el instituto del asfalto corresponde el 4% de vacíos en la curva contenido de asfalto vs vacíos de aire, las ecuaciones correspondientes a cada una se presentan en la sección de cálculos.

4.1.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 59. Equipo utilizado en el ensayo de método Marshall.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Tamices	Los tamices necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría requerida por la especificación a los agregados para la mezcla que se va a diseñar.
	Dispositivo para moldear probetas	Consiste en un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa base plana. El molde debe tener un diámetro interno de 101,6 (mm) (4") y una altura interna aproximada de 76,2 (mm) (3"); la placa base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, logrando ser ajustados en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer de tres moldes.



Pedestal de compactación

Es una pieza prismática de base cuadrada de madera de 203,2 (mm) de lado de altura de 457,2 (mm) (8" x 8" x 18") y considerando que en la cara superior debe tener una platina cuadrada de acero de 304,8 (mm) de lado x 25,4 (mm) de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera puede ser roble u otra clase cuya densidad seca sea de 0,67 a 0,77 (g/cm³) (42 a 48 lb/pie³). Es importante que el pedestal este fijada a una base de concreto.



Martillo de compactación

Dispositivo de acero formado por: una base plana circular que tienen un diámetro de 98,4 (mm) (3 7/8") y un pistón deslizante con peso total de 4536 ± 9 g ($10 \pm 0,02$ lb), considerando que la altura de caída es de $457,2 \pm 1,524$ mm ($18 \pm 0,06$ ").

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Sujetador para el molde	Es un dispositivo con resorte de tensión cuya función es centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal durante el proceso de compactación.
	Extractor de probetas	Dispositivo de acero con forma de disco con un diámetro de 100 (mm) (3,95") y un espesor de 12,7 (mm) (1/2"), su función será extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión.
	Elementos de calefacción	Para calentar los agregados y el material asfáltico, se utilizará un horno o placa de calefacción que cuente con un control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 2,8° C (5° F).
	Mezcladora	La operación de mezclado se realiza a mano en una placa de calefacción o estufa, para evitar el enfriamiento de los materiales, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Termómetros blindados	<p>Debe ser un termómetro de 9,9 ° C a 204° C (50° F a 400° F) para determinar las temperaturas de la mezcla, los agregados y el asfalto, con sensibilidad de 2,8° C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con sensibilidad de 0,2° C (68° F a 158° F ± 0,4° F) y escala de 20° C a 70° C.</p>
	Balanza	<p>Una de 5 (kg) de capacidad y sensible a 1 (g) para los agregados y asfalto; otra de 2 (kg) de capacidad y sensible a 0,1 (g) para las probetas compactadas</p>
	Bandejas metálicas	<p>Planas para calentar agregados y cubetas metálicas redondas con capacidad de 4 litros (1 galón) para mezclar asfalto y agregados.</p>
	Crayolas	<p>Para identificación de las probetas.</p>
	Equipo misceláneo	<p>Es el equipo como: cucharones, recipientes, espátulas, papel de filtro, etc.</p>





GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Guantes	<p>Preferiblemente de soldador para manejar equipo y recipientes caliente y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.</p>
	Mordazas	<p>Consisten en dos segmentos cilíndricos curvos, tienen un radio de curvatura interior de 50,8 (mm) (2") maquinado con exactitud. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella, mismas que sirven de guía a la mordaza superior. El movimiento de la mordaza superior se debe efectuar sin un rozamiento apreciable.</p>
	Medidor de deformación	<p>Es un deformímetro de lectura final fija, que tiene divisiones en 0,25 (mm) (0.01"). En el momento del ensayo, el medidor deberá estar firmemente apoyado sobre la mordaza superior y su vástago se apoyará en una palanca ajustable acoplada a la mordaza inferior.</p>
	Prensa	<p>Para la rotura de las probetas se utilizará una prensa mecánica o hidráulica capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50,8 (mm por minuto) (2" /min.) y la capacidad mínima de carga deberá ser de 40 kN.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Medidor de estabilidad	<p>La resistencia de la probeta se mide con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa con capacidad de 22,2 kN (2265 kgf), con una sensibilidad de 44,5 N (4.54 kgf) hasta 4,45 kN (454 kgf) y 111,2 N (11.4 kgf) hasta 22,2 kN (2265 kgf). Las deformaciones del anillo serán medidas por un deformímetro graduado en 0,0025 mm (0.0001”).</p>
	Tanque para agua	<p>Con una profundidad mínima de 152,4 (mm) (6”), controlado termostáticamente para mantener la temperatura a 60° ± 1° C (140° ± 2.0° F). El tanque contará con un falso fondo perforado para sostener las probetas por lo menos a 50,8 (mm) (2”) sobre el fondo del tanque.</p>

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.1.7 CÁLCULOS.

Gravedad específica de los agregados Gruesos. Material (A y B)

- ✓ Gravedad específica Bulk (Gsb) del agregado

$$Gsb \text{ (agre)} = \frac{P_s}{P_{SSS} - P_{sum}} \quad \text{Ecuación 18. Método Marshall.}$$

- ✓ Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb) del agregado.

$$Gsssb \text{ (agre)} = \frac{P_{SSS}}{P_{SSS} - P_{sum}} \quad \text{Ecuación 19. Método Marshall.}$$

- ✓ Gravedad específica aparente (Gsa) del agregado.

$$Gsa \text{ (agre)} = \frac{P_s}{P_s - P_{sum}} \quad \text{Ecuación 20. Método Marshall.}$$

- ✓ Absorción (%)

$$\text{Abs (\%)} = \frac{(\text{Psss}-\text{Ps}) \times 100}{\text{Ps}} \quad \text{Ecuación 21. Método Marshall.}$$

Donde:

Ps= Peso del agregado seco (g)

Psss= Peso del agregado saturado superficialmente seco (g)

Psum= Peso del agregado sumergido (g)

Gravedad específica de los agregados Fino. Material (C)

- ✓ Gravedad específica Bulk (Gsb) del agregado fino.

$$\text{Gsb (agre. F)} = \frac{\text{Psf}}{\text{Ppa} + \text{Psssf} - \text{Ppam}} \quad \text{Ecuación 22. Método Marshall.}$$

- ✓ Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb) del agregado fino.

$$\text{Gsssb (agre. F)} = \frac{\text{Psssf}}{\text{Ppa} + \text{Psssf} - \text{Ppam}} \quad \text{Ecuación 23. Método Marshall.}$$

- ✓ Gravedad específica aparente (Gsa) del agregado fino.

$$\text{Gsa (agre. F)} = \frac{\text{Psf}}{\text{Ppa} + \text{Psf} - \text{Ppam}} \quad \text{Ecuación 24. Método Marshall.}$$

- ✓ Absorción (%)

$$\text{Abs (\%)} = \frac{(\text{Psssf}-\text{Psf}) \times 100}{\text{Psf}} \quad \text{Ecuación 25. Método Marshall.}$$

Donde:

Psf= Peso del agregado fino seco (g)

Ppa = Peso del picnómetro más agua (g)

Ppam = Peso del picnómetro más agua y el agregado fino

Psssf= Peso del agregado fino saturado superficialmente seco (g)

Mezcla de los agregados

Mezcla=A x (a) + B x (b) + C x (c).....+ N x (n) *Ecuación 26. Método Marshall.*

Donde:

Mezcla= mezcla promedio de los agregados de cada tamiz.

A, B, C, etc. = Porcentaje de cada material que pasa en cada tamiz para la granulometría correspondiente.

(a, b, c, etc.) = Porcentaje correspondiente a cada material A, B, C en el diseño de la mezcla.

Porcentaje de partida de asfalto en la mezcla.

$$P = M * (S)^{(1/5)} \quad \text{Ecuación 27. Método Marshall.}$$

Donde:

P = Es el % del asfalto en peso con respecto al peso Total

M= Es el Coeficiente del tráfico (3.75 - 4.25)

S= Es la Superficie específica de los áridos.

$$S = 0.17G + 0.33g + 2.30A + 12a + 135f \quad \text{Ecuación 28. Método Marshall.}$$

G= % material retenido en el 3/8"

g= % material que pasa tamiz. 3/8" y retiene en el tamiz. N° 4

A= % material que pasa tamiz N°4 y retiene en el tamiz. N°50

a = % material que pasa tamiz. N°50 y retiene en el tamiz. N°200

f = % material que pasa tamiz. N° 200.

Fabricación de briquetas.

✓ Preparación del material que pasa en cada tamiz para tres briquetas.

Cantidad de asfalto

$$CA (g). = P \times A\% \quad \text{Ecuación 29. Método Marshall.}$$

Donde:

CA= cantidad de asfalto (g)

P= Peso de tres briquetas (Material A, B, C + asfalto) (g)

A%= Porcentaje de asfalto para cada espécimen.

Cantidad de material de los agregados

$$MA (g) = P - CA \quad \text{Ecuación 30. Método Marshall.}$$

Donde:

MA = cantidad de material de los agregados (g).

CA= cantidad de asfalto (g)

P= Peso de tres briquetas (Material A, B, C + asfalto) (g)

Rotura de briquetas.

✓ Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada (Gmb).

$$Gmb = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w} \quad \text{Ecuación 31. Método Marshall.}$$

Donde:

Gmb= Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

Wa= Peso en el aire del espécimen seco.

Wss= Peso en el aire del espécimen saturado superficialmente seco.

Ww= Peso del espécimen saturado superficialmente seco sumergido.

✓ Gravedad específica teórica máxima Rice en estado suelto (Gmm).

$$Gmm = \frac{A}{A+B-C} \quad \text{Ecuación 32. Método Marshall.}$$

Donde:

Gmm= gravedad específica teórica máxima Rice en estado suelto

(A)= es la masa de la muestra en el aire en gramos.

(B)= es la masa del tazón más agua a una temperatura de 25°C, en gramos.

(C)= es la masa del tazón más agua y más la muestra a una temperatura de 25°C, en gramos.

- ✓ Determinar la gravedad específica Bulk en la mezcla asfáltica de la combinación de los agregados. (Gsb)

$$Gsb = \frac{P1+P2+\dots+PN}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{PN}{GN}} \quad \text{Ecuación 33. Método Marshall.}$$

Donde:

Gsb= Gravedad específica Bulk en la mezcla asfáltica de la combinación de los agregados.

P1, PN = porcentajes individuales por la masa de agregado.

G1, GN = gravedad específica bulk individual de cada agregado.

- ✓ Gravedad específica efectiva de los agregados. (Gse)

$$Gse = \frac{\frac{Pmm - Pb}{Pmm} - \frac{Pb}{Gasf}}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gasf}} \quad \text{Ecuación 34. Método Marshall.}$$

Donde:

Gse= gravedad específica efectiva de los agregados.

Pmm= porcentaje de masa de un total de la mezcla suelta correspondiente al 100%.

Pb= contenido de asfalto con el que se desarrolló el ensayo RICE.

Gmm= gravedad específica máxima del ensayo RICE.

Gasf = es la gravedad específica del asfalto.

- ✓ Gravedad específica teórica máxima para diversos contenidos de asfalto. (Gmm)

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gasf}} \quad \text{Ecuación 35. Método Marshall.}$$

Donde:

Gmm= gravedad específica teórica máxima para diversos contenidos de asfalto

Ps= Pmm-Pb (% de masa del total de la mezcla suelta - contenido de asfalto RICE).

Gse= gravedad especifica efectiva del agregado.

Gasf= gravedad especifica del asfalto.

Propiedades volumétricas.

✓ Porcentaje en volumen de agregado vs volumen total. (Vagre)

$$V_{agre} = \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad \text{Ecuación 36. Método Marshall.}$$

Donde:

Vagre= volumen de agregado vs volumen total.

Gmb= gravedad especifica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

Ps= Pmm-Pb (% de masa del total de la mezcla suelta - contenido de asfalto).

Gsb= gravedad especifica neta para el agregado total.

✓ Porcentaje de vacíos de aire (Vv)

$$V_v = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \times 100 \quad \text{Ecuación 37. Método Marshall.}$$

Donde:

Vv= Porcentaje de vacíos de aire

Gmm= gravedad especifica máxima teórica de la mezcla.

Gmb= gravedad especifica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

✓ Volumen de asfalto efectivo (Vae)

$$V_{ae} = 100 - V_{agre} - V_v \quad \text{Ecuación 38. Método Marshall.}$$

Donde:

Vae = volumen de asfalto efectivo

Vagre= volumen de agregado vs volumen total.

Vv= Porcentaje de vacíos de aire

- ✓ Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM)

$$VAM = 100 - V_{agre} \quad \text{Ecuación 39. Método Marshall.}$$

Donde:

VAM= porcentaje de vacíos en el agregado mineral

V_{agre}= volumen de agregado

- ✓ Porcentaje llenos con asfalto. (VFA)

$$VFA = \left(\frac{VAM - V_v}{VAM} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 40. Método Marshall.}$$

Donde:

VAM= vacíos en el agregado mineral.

V_v= vacíos de aire en la mezcla compactada.

Estabilidad corregida.

Estabilidad corregida = Estabilidad medida x coeficiente de corrección.

Tabla 60. Factor de corrección para la estabilidad.

Volumen de la briqueta cm ³	Espesor aproximado de la briqueta en cm.	Factor de corrección.	Volumen de la briqueta cm ³	Espesor aproximado de la briqueta en cm.	Factor de corrección.
200 - 213	2,54	5,56	421 - 431	5,24	1,39
214 - 225	2,70	5,00	432 - 443	5,40	1,32
226 - 237	2,86	4,55	444 - 456	5,56	1,25
238 - 250	3,02	4,17	457 - 470	5,71	1,19
251 - 264	3,17	3,85	471 - 482	5,87	1,14
265 - 276	3,33	3,57	483 - 495	6,03	1,09
277 - 289	3,49	3,33	496 - 508	6,19	1,04
290 - 301	3,65	3,03	509 - 522	6,35	1,00
302 - 316	3,81	2,78	523 - 535	6,51	0,96
317 - 328	3,97	2,50	536 - 546	6,67	0,93
329 - 340	4,13	2,27	547 - 559	6,82	0,89
341 - 353	4,29	2,08	560 - 573	6,98	0,86
354 - 367	4,44	1,92	574 - 585	7,14	0,83
368 - 379	4,60	1,79	586 - 598	7,30	0,81
390 - 392	4,76	1,67	599 - 610	7,46	0,78
393 - 405	4,92	1,56	611 - 625	7,62	0,76
406 - 420	5,08	1,47			

Fuente: AASHTO, T. 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.

Porcentaje óptimo de asfalto.

- ✓ Criterio actual Instituto del asfalto.

$$\% \text{ Óptimo de asfalto} = \% \text{ de asfalto para } 4\% \text{ Vv}$$

Ecuación 41. Método Marshall.

Donde:

Vv= Porcentaje de vacíos de aire

- ✓ Criterio tradicional.

$$\% \text{ Óptimo de asfalto} = \frac{4\%Vv + \text{Estabilidad Max.} + \text{Densidad Max}}{3}$$

Ecuación 42. Método Marshall.

Donde:

Vv= Porcentaje de vacíos de aire

Estabilidad máxima.

Densidad máxima Bulk.

4.1.8 NORMATIVA

INV. E- 748

ASTM D 1559 ASTM 6926 ASTM 6927

NLT 159

AASHTO T 245

4.1.9 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 5

TÍTULO: Mezcla asfáltica en caliente, Método Marshall.

OBJETIVO: Determinar contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados preparada en laboratorio.

CÁLCULOS:

ENSAYO MÉTODO MARSHALL

a) Determinación de la granulometría:

✓ Granulometría agregado grueso A

Tabla 61. Granulometría de agregado grueso A datos.

Granulometría Agregado Grueso A	
Peso Total de la Muestra (g)	10812

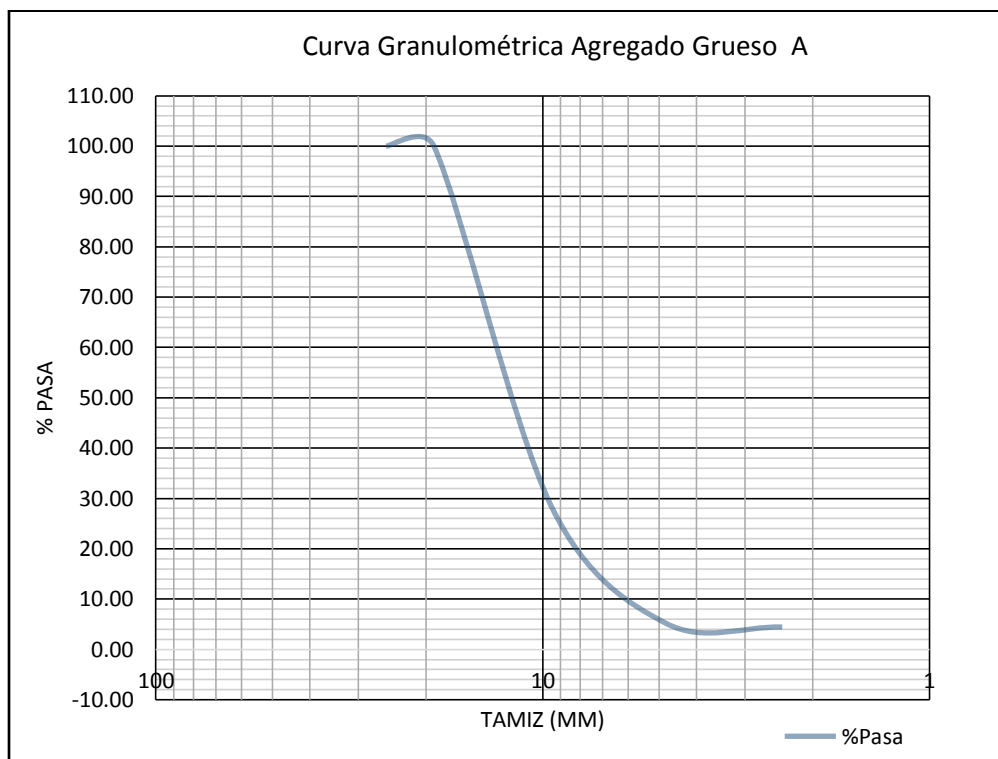
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 62. Granulometría de agregado grueso A.

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	4230.00	39.12	60.88
3/8"	9.5	7732.00	71.51	28.49
4	4.8	10250.00	94.80	5.20
8	2.4	10332.00	95.56	4.44
16	1.2	10366.00	95.87	4.13
30	0.6	10408.00	96.26	3.74
50	0.3	10468.00	96.82	3.18
100	0.15	10548.00	97.56	2.44
200	0.075	10630.00	98.32	1.68
Pasa N° 200		10790.00	99.80	0.20

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 19. Curva granulométrica A.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Granulometría agregado grueso B**

Tabla 63. Granulometría agregado grueso B datos.

Granulometría Agregado Grueso B	
Peso Total de la Muestra (g)	7456

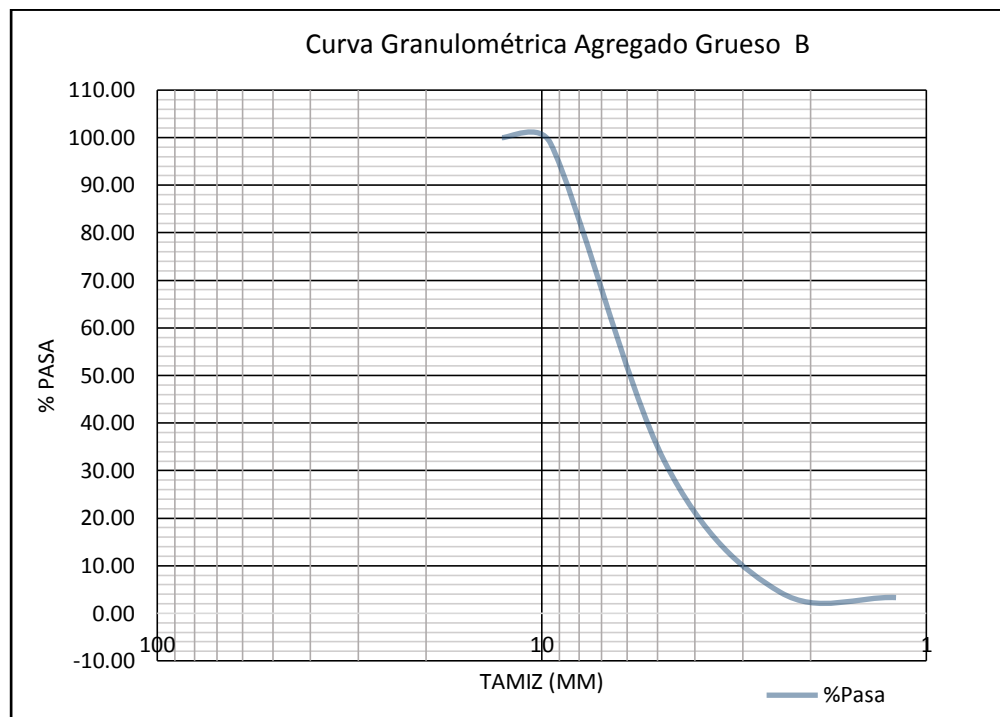
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 64. Granulometría de agregado grueso B.

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
3/4"	19.1	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	86.00	1.15	98.85
4	4.8	5074.00	68.05	31.95
8	2.4	7126.00	95.57	4.43
16	1.2	7210.00	96.70	3.30
30	0.6	7254.00	97.29	2.71
50	0.3	7284.00	97.69	2.31
100	0.15	7304.00	97.96	2.04
200	0.075	7332.00	98.34	1.66

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 20. Curva granulométrica B.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ Granulometría agregado Fino

Tabla 65. Granulometría agregado grueso C datos.

Granulometría Agregado Fino	
Peso Total de la Muestra (g)	1317.3

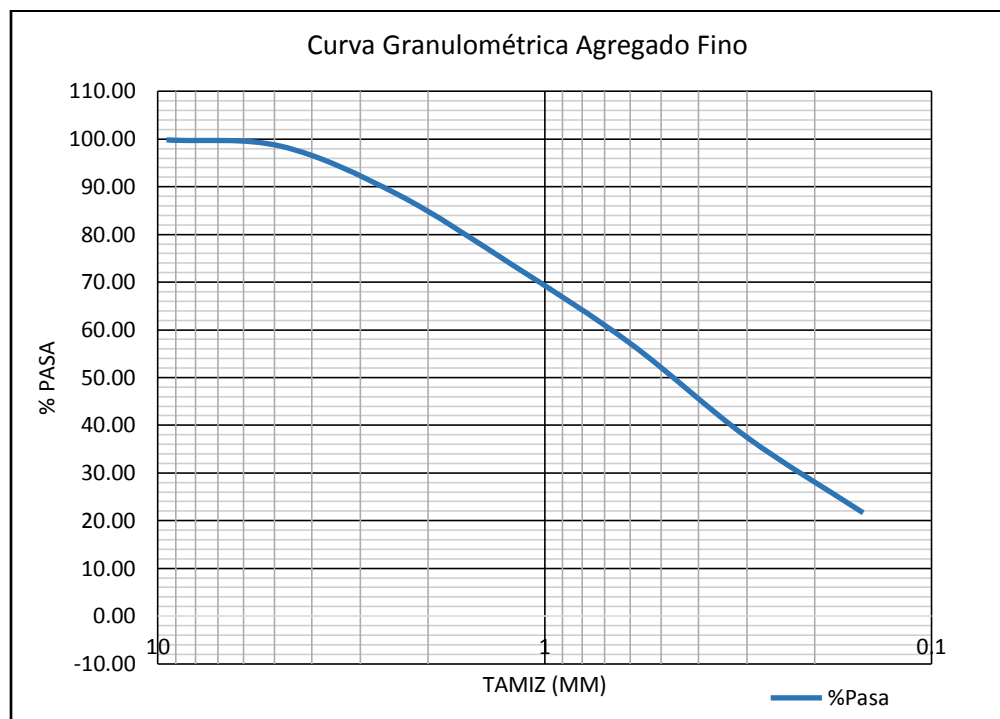
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 66. Granulometría de agregado grueso C.

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	2.24	0.17	99.83
4	4.8	19.90	1.51	98.49
8	2.4	152.73	11.59	88.41
16	1.2	350.32	26.59	73.41
30	0.6	564.52	42.85	57.15
50	0.3	823.18	62.49	37.51
100	0.15	1032.31	78.37	21.63
200	0.075	1174.01	89.12	10.88
Pasa N° 200		1313.54	99.71	0.29

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 21. Curva granulométrica C.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

b) Pesos específicos de los agregados (gruesos, finos) y mezcla asfáltica.

✓ **Agregado A**

Tabla 67. Gravedad Específica del agregado grueso A.

Gravedad Especifica del agregado grueso A	
Peso del agregado seco (g) Ps	4792
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Psss	5000
Peso del agregado sumergido (g)	2921
Gravedad específica Bulk Gsb (agre)	2.305
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsssb (agre)	2.405
Gravedad específica aparente Gsa (agre)	2.561
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	4.341

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Agregado B**

Tabla 68. Gravedad Específica del agregado grueso B.

Gravedad Especifica del agregado grueso B	
Peso del agregado seco (g) Ps	4758.123
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Psss	5000
Peso del agregado sumergido (g)	2947.653
Gravedad específica Bulk Gsb (agre)	2.318
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsssb (agre)	2.436
Gravedad específica aparente Gsa (agre)	2.628
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	5.083

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Agregado C**

Tabla 69. Gravedad Específica del agregado C.

Gravedad Especifica del agregado C	
Peso del agregado fino seco (g) Psf	471.58
Peso picnómetro más agua (g) Ppa	651.577
Peso picnómetro más aguas más agregado fino (g) Ppam	950.91
Peso del agregado saturado superficialmente seco (g) Psssf	500
Gravedad específica Bulk Gsb (agre.F)	2.350
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsssb (agre.F)	2.492
Gravedad específica aparente Gsa (agre.F)	2.738
Porcentaje de Absorción Abs % (agre.F)	6.027

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Cemento Asfáltico.**

Peso específico Sólido: 1.014 gr/cm³

c) **Mezcla de los agregados.**

✓ **Porcentajes propuestos.**

Tabla 70. Porcentajes propuestos.

% DE MEZCLA		
Porcentaje (a)	10	0.1
Porcentaje (b)	45	0.45
Porcentaje (c)	45	0.45
Sumatoria	100	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Mezcla de agregados.**

Tabla 71. Mezcla de agregados 1.1.

MEZCLA DE AGREGADOS						
Tamiz N°	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8
Diam. mm	25.4	19.1	12.7	9.5	4.8	2.4
Material A	100.00	100.00	60.88	28.49	5.20	4.44
Material B	100.00	100.00	100.00	98.85	31.95	4.43
Material C	100.00	100.00	100.00	99.83	98.49	88.41
Mezcla	100.0	100.0	96.1	92.3	59.2	42.2
Retenido Acumulado	0.00	0.00	3.91	7.75	40.78	57.78
Retenido Parcial	0.00	0.00	3.91	3.83	33.04	17.00
Peso	0.00	0.00	46.95	46.01	396.44	203.98
P. Acumu.	0.00	0.00	46.95	92.96	489.40	693.38
MOP		100	90		44	28
		100	100		74	58

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 72. Mezcla de agregados 1.2.

MEZCLA DE AGREGADOS						
Tamiz N°	16	30	50	100	200	P. 200
Diam. mm	1.2	0.6	0.3	0.15	0.075	
Material A	4.13	3.74	3.18	2.44	1.683	
Material B	3.30	2.71	2.31	2.04	1.663	
Material C	73.41	57.15	37.51	21.63	10.878	
Mezcla	34.9	27.3	18.2	10.9	5.81	
Retenido Acumulado	65.07	72.69	81.76	89.10	94.19	5.8
Retenido Parcial	7.29	7.62	9.07	7.34	5.09	
Peso	87.46	91.46	108.87	88.06	61.02	
P. Acumu.	780.84	872.30	981.17	1069.24	1130.26	1200
MOP			5		2	
			21		10	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

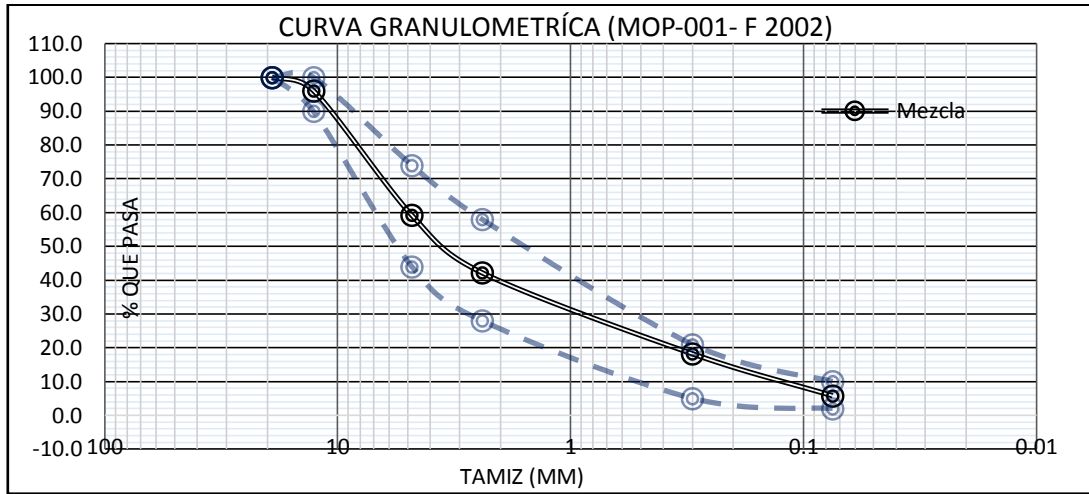
✓ **Curva Granulométrica % que pasa vs Tamiz (mm)**

Tabla 73. Datos de mezcla de agregado.

DATOS DE MEZCLA DE AGREGADO			
Tamiz (mm)	MOP-001-F 2002		%QUE PASA
	Especificación. Min	Especificación. Max	
19.1	100	100	100.0
12.7	90	100	96.1
4.8	44	74	59.2
2.4	28	58	42.2
0.3	5	21	18.2
0.075	2	10	5.8

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 22. Curva granulométrica (MOP-001- F 2002).



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

d) Porcentaje de partida de asfalto en la mezcla.

Tabla 74. Porcentaje de partida de asfalto.

$P = M \times (S)^{(1/5)}$	
Donde:	
P= % del Asfalto en peso /al Peso	
M= Coeficiente del tráfico (3.75 -425)	
S= Superficie específica de los áridos	
$S = 0.17 G + 0.33g + 2.30 A + 12a + 135f$	10.401
Donde:	
G= % material retenido en el 3/8 "	7.747 0.077
g= % material que pasa T. 3/8" y retiene en el T. N° 4	33.037 0.330
A= % material que pasa T. N°4 y retiene en el T. N°50	40.981 0.410
a = % material que pasa T. N°50 y retiene en el T. N°200	12.424 0.124
f = % material que pasa T. N° 200	5.812 0.058
M= 3.75 -4.25	4
P (%) = M x (S)^(1/5)	6.390

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

e) Peso para tres briquetas.

Tabla 75. Pesos para la fabricación de briquetas.

Peso para Tres Briquetas (Material A, B,C) + (asfalto) (g)			3600
Asfalto (%)	Asfalto (g)	Peso del Material [(A+B+C) -Asfalto](g)	
5	180	3420	
5.5	198	3402	
6	216	3384	
6.39	230.04	3369.96	
6.5	234	3366	
7	252	3348	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

f) Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

Tabla 76. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente 1.1.

BRIQUETA N°	Cemento Asfáltico		MEZCLA		Gsb	PESO MUESTRA (gramos)			VOL. cm3	DENSIDAD (gr/cm3)	
	% ASF.	(Gasf)	Tipo de material	% Agregado		Aire Wa	Saturado Wss	Agua Ww		BULK Gmb	RICE Gmm'
1	5	1.014	A	10	2.331	1099.34	1106.83	591.62	515.21	2.134	2.381
2			B	45		1098.31	1102.53	590.51	512.02	2.145	
3			C	45		1100.15	1103.09	593.64	509.45	2.159	
						1099.27	1104.15	591.92	512.23	2.146	
1	5.5	1.014	A	10	2.331	1099.65	1106.73	596.59	510.14	2.156	2.364
2			B	45		1100.98	1102.76	603.8	498.96	2.207	
3			C	45		1100.46	1108.02	597.11	510.91	2.154	
						1100.36	1105.84	599.17	506.67	2.172	
1	6	1.014	A	10	2.331	1100.74	1104.71	603.52	501.19	2.196	2.348
2			B	45		1098.98	1101.54	606.59	494.95	2.220	
3			C	45		1099.36	1103.23	604.48	498.75	2.204	
						1099.69	1103.16	604.86	498.30	2.207	
1	6.39	1.014	A	10	2.331	1102.18	1104.87	610.9	493.97	2.231	2.335
2			B	45		1098.62	1101.04	603.74	497.3	2.209	
3			C	45		1099.8	1101.03	611.63	489.4	2.247	
						1100.20	1102.31	608.76	493.56	2.229	
1	6.5	1.014	A	10	2.331	1100.95	1107.13	598.81	508.32	2.166	2.331
2			B	45		1101.81	1103.77	608.52	495.25	2.225	
3			C	45		1099.01	1100.22	611.04	489.18	2.247	
						1100.59	1103.71	606.12	497.58	2.212	
1	7	1.014	A	10	2.331	1098.89	1100.5	609.83	490.67	2.240	2.315
2			B	45		1105.79	1102.44	613.01	489.43	2.259	
3			C	45		1099.94	1100.7	611.59	489.11	2.249	
						1101.54	1101.21	611.48	489.74	2.249	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 77. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente 1.2.

BRIQUETA N°	Volumen % Total			VAM %	VFA %	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD			FLUJO	
	Vagre	Vv	Vae				Medida KN	Medida Lb	Correg.	(mm)	1/100"
1						1	16.841	3786.008	3786.008	2.271	9
2						1	20.886	4695.361	4695.361	2.651	10
3						1	25.272	5681.373	5681.373	2.633	10
	87.458	9.865	2.676	12.542	21.339		21.000	4720.914	4720.914		10
1						1	16.614	3734.977	3734.977	2.389	9
2						1.04	21.199	4765.726	4956.355	2.377	9
3						1	20.461	4599.817	4599.817	2.558	10
	88.049	8.130	3.822	11.951	31.977		19.425	4366.840	4430.383		10
1						1.04	18.251	4102.989	4267.109	2.994	12
2						1.04	24.018	5399.463	5615.441	2.659	10
3						1.04	20.883	4694.686	4882.474	2.636	10
	88.992	5.994	5.014	11.008	45.548		21.051	4732.379	4921.674		11
1						1.09	17.165	3858.846	4206.143	3.226	13
2						1.04	19.850	4462.459	4640.957	2.708	11
3						1.09	21.954	4935.457	5379.648	3.121	12
	89.517	4.528	5.956	10.483	56.812		19.656	4418.921	4742.249		12
1						1.04	13.359	3003.223	3123.352	2.859	11
2						1.09	23.658	5318.531	5797.199	2.768	11
3						1.09	26.615	5983.292	6521.788	2.912	11
	88.737	5.102	6.160	11.263	54.697		21.211	4768.349	5147.446		11
1						1.09	17.434	3919.320	4272.059	3.266	13
2						1.09	18.634	4189.091	4566.109	3.473	14
3						1.09	19.733	4436.156	4835.410	3.720	15
	89.732	2.852	7.416	10.268	72.224		18.600	4181.522	4557.859		14

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

g) Cálculo del porcentaje de asfalto óptimo.

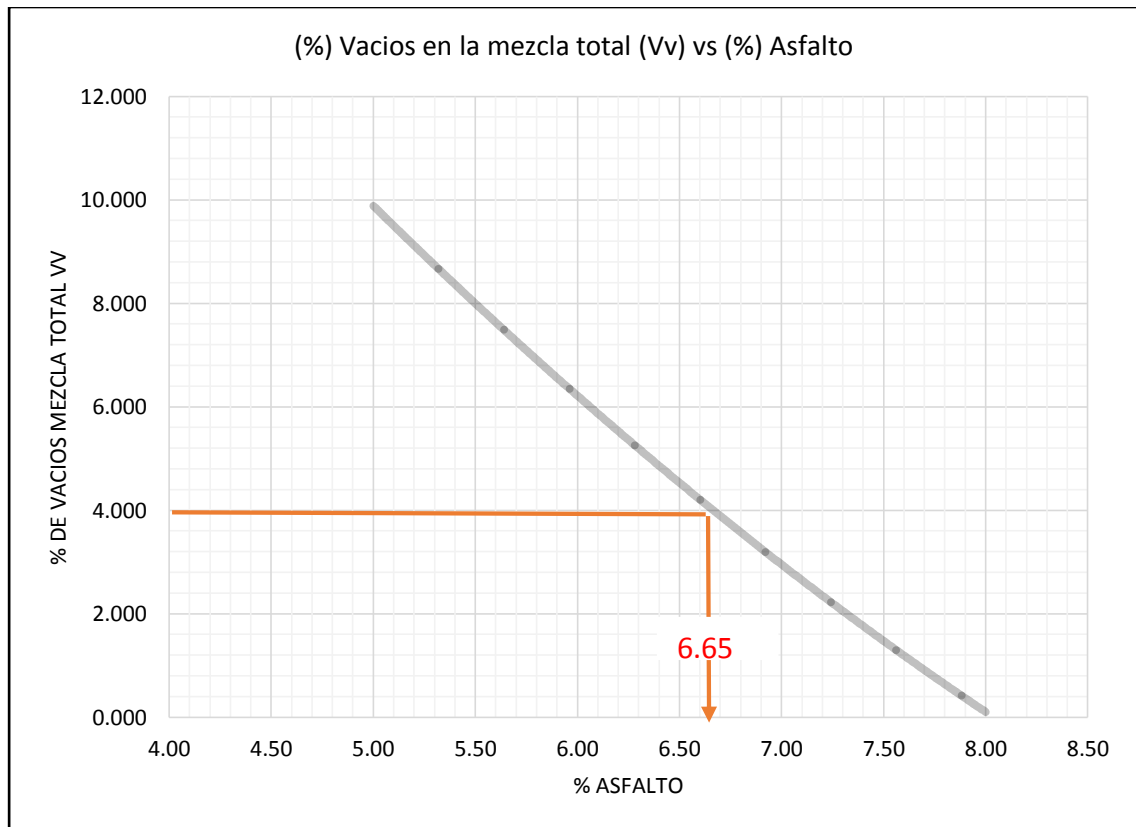
Tabla 78. Resumen de datos.

RESUMEN DE DATOS						
% Asfalto.	Densidad Bulk	V _v	VAM	VFA	Estabilidad	Flujo
5.00	2.146	9.865	12.54	21.34	4720.914	10
5.50	2.172	8.130	11.95	31.98	4430.383	10
6.00	2.207	5.994	11.01	45.55	4921.674	11
6.39	2.229	4.528	10.48	56.81	4742.249	12
6.50	2.212	5.102	11.26	54.70	5147.446	11
7.00	2.249	2.852	10.27	72.22	4557.859	14

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

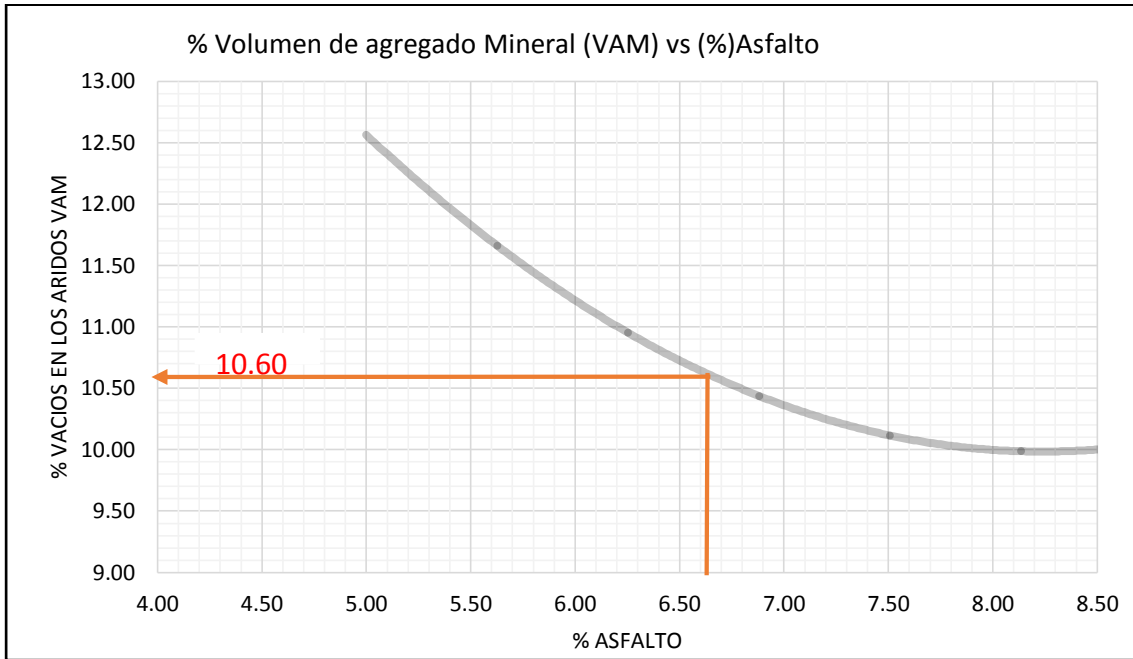
✓ **Propiedades volumétricas.**

Ilustración 23. (%) Vacíos en la mezcla total (V_v) vs (%) Asfalto.



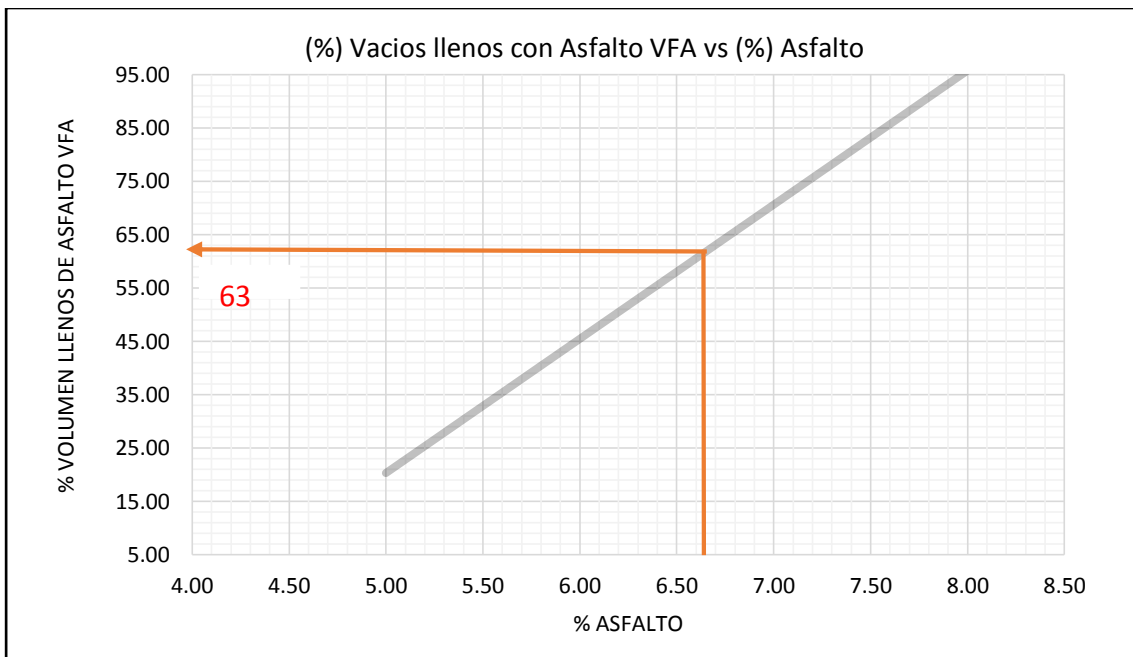
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 24. (%) Volumen de agregado Mineral (VAM) vs (%) Asfalto.



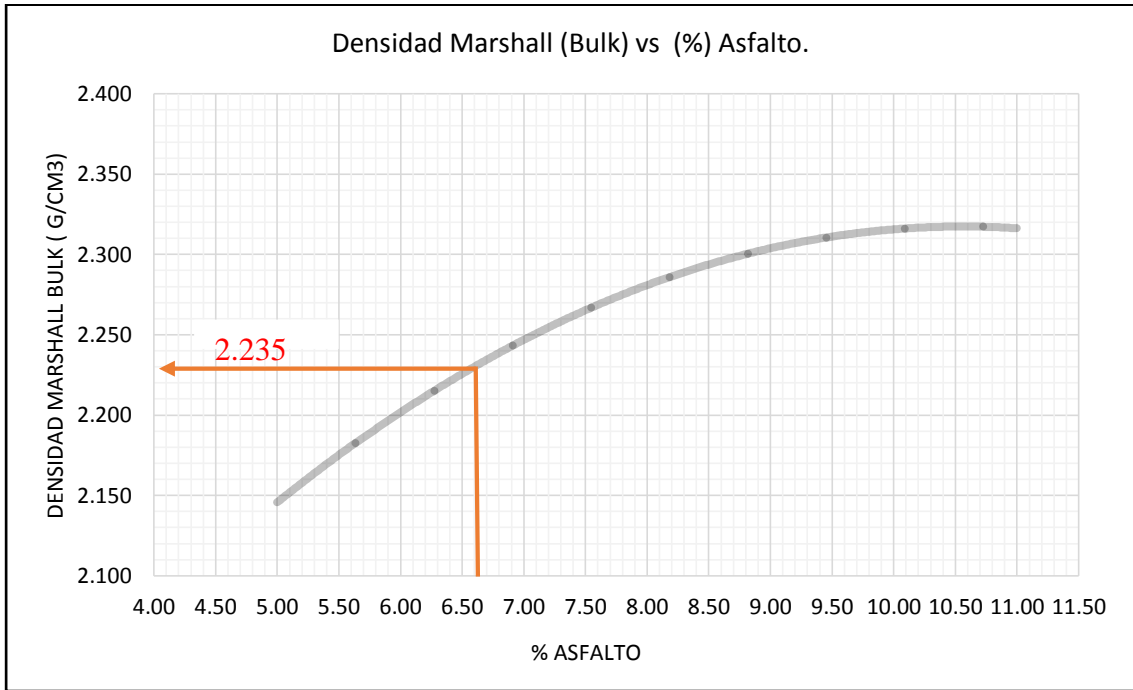
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 25. (%) Vacíos llenos con Asfalto VFA vs (%) Asfalto.



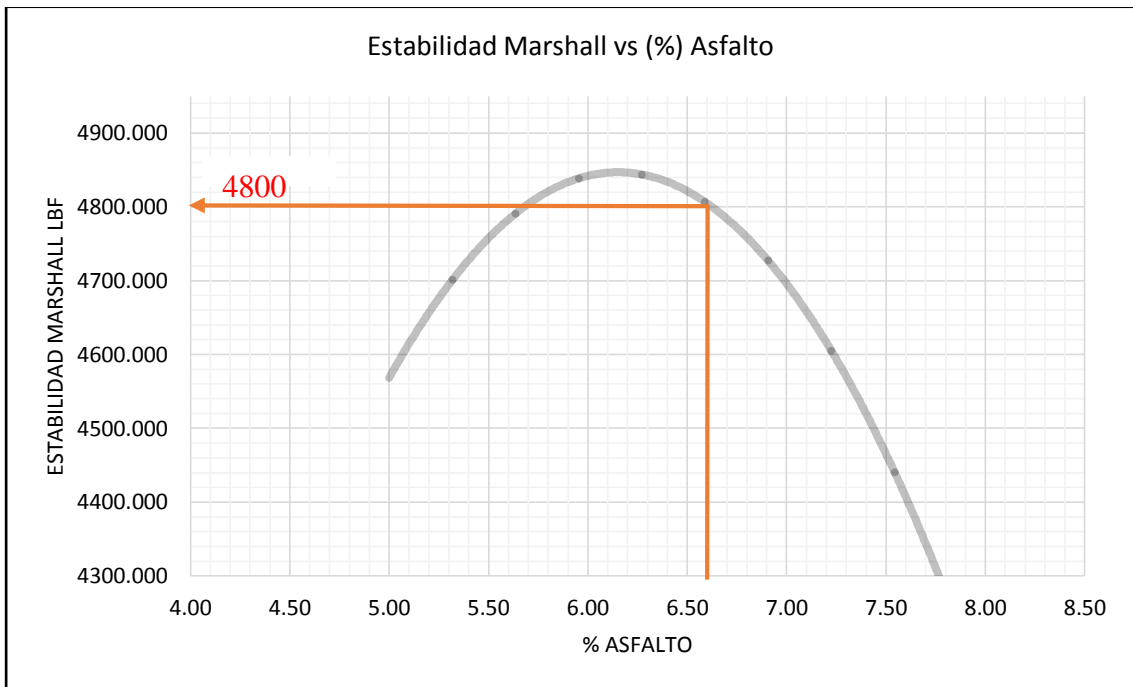
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 26. Densidad Marshall (Bulk) vs (%) Asfalto.



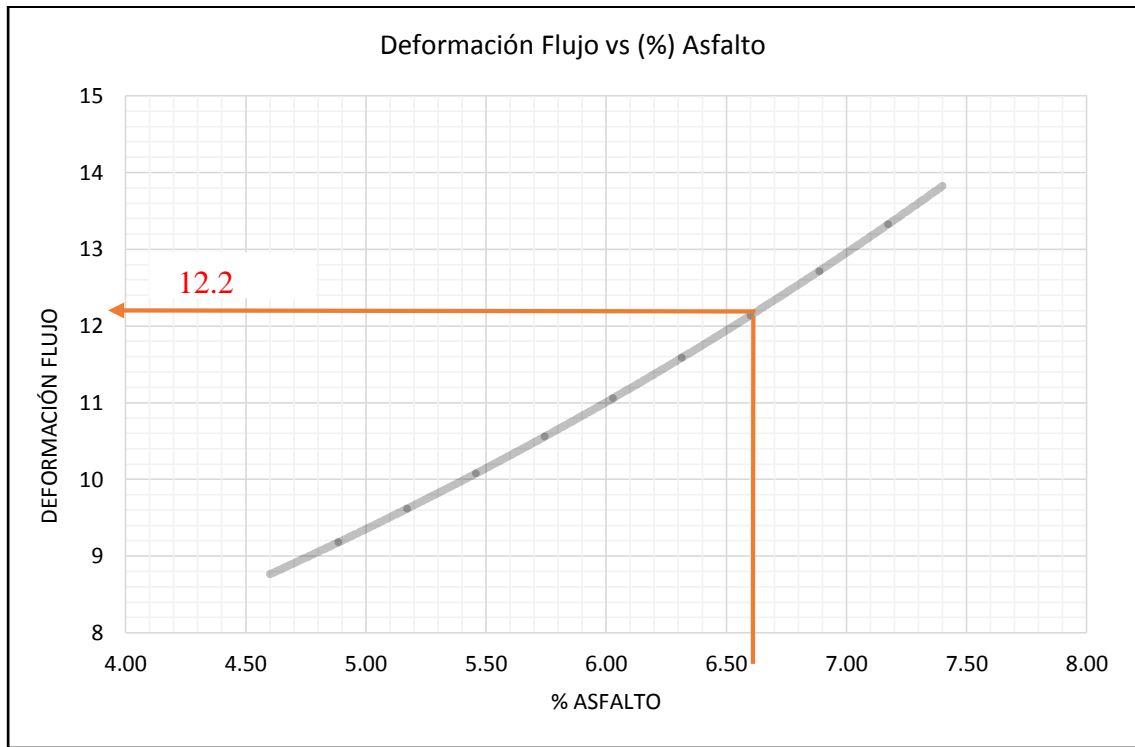
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 27. Estabilidad Marshall vs (%) Asfalto



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 28. Deformación Flujo vs (%) Asfalto.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

h) Tabla de resultados

Tabla 79. Tabla de resultados Marshall.

Propiedades de la mezcla	Laboratorio	Especificación Marshall
Estabilidad (lb)	4800	min 1800 lb
Flujo (pulg/100)	12.2	8-14 pul/100
Densidad Bulk	2.235	
Vacíos de agregado mineral V.A.M (%)	10.6	min 14%
Vacíos llenos de asfalto V.F.A (%)	63	65-75%
Vacíos de aire (%)	4	3-5%
Relación Filler-Betún	0.87	0.8-1.2
Contenido óptimo de asfalto (%)	6.65	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base a los resultados obtenidos en laboratorio, se presenta la mezcla de agregados con el contenido óptimo de asfalto la misma que es adecuada para resistir esfuerzos a la deformación acorde al ensayo de estabilidad en tanto que las propiedades volumétricas adoptando el 4% de contenido de vacíos no cumplen con los criterios Marshall tanto en vacíos llenos de asfalto VFA como en vacíos de agregado mineral VAM.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se concluye que la estabilidad, flujo cumplen con las especificaciones MOP-001- F 2002 y las propiedades volumétricas que caracterizan la mezcla compactada no entran en el rango establecido por lo que indica que se deberá realizar un rediseño de la mezcla.

RECOMENDACIONES.

Es importante que el asfalto utilizado en la mezcla compactada en laboratorio sea de similares características a las del asfalto que va a ser usado en campo de la misma manera las muestras de agregado con la finalidad de evitar variaciones en los resultados obtenidos.

4.1.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Las gráficas del ensayo Marshall determina el comportamiento de la mezcla asfáltica en base a la tendencia de cada curva

- ✓ En la curva Densidad Bulk crece acorde al incremento de asfalto, llegando a un máximo y después del cual decrece.
- ✓ La curva de Estabilidad crece acorde al incremento de asfalto, llegando a un máximo y después del cual decrece es semejante a la Densidad Bulk teniendo en cuenta que

la máxima estabilidad, presenta con un contenido de asfalto inferior al de, densidad máxima.

- ✓ La curva Deformación flujo, crece acorde al incremento de asfalto.
- ✓ La curva vacíos de aire, decrece acorde existe un incremento asfalto, tendiendo al mínimo.
- ✓ La curva, vacíos de agregado mineral VAM decrece acorde al incremento de asfalto, llegando a un mínimo después del cual aumenta.
- ✓ La curva vacíos llenos de asfalto VFA, crece acorde al incremento de asfalto.

Acorde las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., Tabla 405-5-4, establece los siguientes criterios ser aceptada.

Tabla 80. Criterios Marshall.

	Muy pesado	Pesado	Medio	Liviano
Criterios Marshall	Min -Max	Min -Max	Min -Max	Min -Max
N° de golpes /Cara	75	75	50	50
Estabilidad (Lb)	2200 - -	1800 - -	1200 - -	1000 - 2400
Flujo (pulg/100)	8 -- 14	8 -- 14	8 -- 16	8 -- 16
% De vacíos en la mezcla				
-- Capa de rodadura.	3 -- 5	3 -- 5	3 -- 5	3 -- 5
-- Capa intermedia.	3 -- 8	3 -- 8	3 -- 8	3 -- 8
-- Capa de base.	3 -- 9	3 -- 9	3 -- 9	3 -- 9
Relación Filler/Betún	0.8 -- 1.2	0.8 -- 1.2		
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente.				
-- Capa de rodadura.	70 - -	70 - -		
-- Intermedia o base	60 - -	60 - -		

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002 Tabla 405-5-4.

Tabla 81. Vacíos en agregados.

% Vacíos agregados	
Tipo de Mezcla	VAM, mínimo (%)
A	16
B	15
C,D	14
E	13

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002 Tabla 405-5-4.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste en seleccionar el tipo y granulometría del agregado, así como el contenido óptimo de asfalto de tal manera que cumplan con las especificaciones vigentes.

Tabla 82. Requisitos granulométricos en base al tamaño máximo nominal del agregado.

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
Pulg.	mm	3/4"	1/2"	3/8"	N°4
1	25.4	100	--	--	--
3/4	19.0	90-100	100	--	--
1/2	12.7	--	90-100	100	--
3/8	9.5	56-80		90-100	100
N°4	4.75	35-65	44-74	55-85	80-100
N°8	2.36	23-49	28-58	32-67	65-100
N°16	1.18	--	--	--	40-80
N°30	0.60	--	--	--	25-65
N°50	0.30	5-19	5-21	7-23	7-40
N°100	0.15	--	--	--	3-20
N°200	0.075	2-8	2-10	2-10	2-10

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002. Tabla 405-5.1.

4.2 DENSIDAD RICE (MÉTODO MARSHALL). ENSAYO N. ° 7

4.2.1 INTRODUCCIÓN.

Parte del procedimiento que concierne al ensayo por el método Marshall, el mismo que se enfoca en análisis de las propiedades volumétricas en específico para este ensayo es el análisis de densidad bulk y los vacíos de aire, para lo cual es importante determinar las gravedades específicas tanto del asfalto como la máxima teórica Rice mismas que serán utilizadas en el cálculo de los diferentes parámetros con la finalidad de realizar las gráficas correspondientes para cada propiedad volumétrica y de esta manera obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico calculado.

4.2.2 OBJETIVO.

Determinar la gravedad específica máxima teórica para la mezcla asfáltica en caliente.

4.2.3 ALCANCE.

El presente ensayo tiene como objeto el poder determinar la gravedad específica máxima teórica Rice, misma que será usada en los cálculos de:

Vacíos de aire en la mezcla asfáltica en caliente posteriormente a la compactación

En la cantidad de asfalto absorbido por el agregado en la mezcla compactada.

Determina los valores referenciales para que su posterior compactación en la mezcla asfáltica cumpla con los requisitos mínimos.

4.2.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

La determinación de las propiedades volumétricas, son fundamentales en la construcción de carreteras específicamente en la carpeta asfáltica (pavimentación) por lo que es importante obtener una mezcla idónea que cumpla con las especificaciones mínimas tanto en el empleo de los agregados como el asfalto utilizado.

La determinación de la gravedad específica teórica máxima esta direccionada a obtener las propiedades volumétricas de la mezcla compactada específicamente los vacíos de aire, también es empleada como base para la determinación de los diferentes contenidos de asfalto en las diversas briquetas fabricadas.

4.2.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Primeramente, tomamos una biqueta que se acerque al porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla compactada la misma que se somete a un proceso de calentamiento mediante un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante un lapso de tiempo de 15 a 20 minutos específicamente hasta que la muestra se caliente.
- ✓ Posteriormente sacamos el espécimen compactado del horno y realizamos la disgregación de las partículas que la conforman con ayuda de guantes para prevenir lesiones locales, el procedimiento deberá ser cuidadoso en no fracturar las partículas del agregado el procedimiento se lo realiza hasta obtener partículas en estado suelto.
- ✓ Seguidamente pesamos una cantidad el material aproximado de 1500 g de material disgregado para la realización del ensayo descrito.
- ✓ Colocamos este material en una capsula de superficie onda con una gran capacidad de volumen capaz de receptar los 1500 g este peso se lo denotara como la masa de la muestra en el aire en gramos.
- ✓ Preparamos el equipo bomba de vacíos el cual se coloca un lubricante en la parte perimetral de tapa de igual manera en compresor de aire.
- ✓ Posteriormente colocamos la muestra en la bomba de vacíos o picnómetro en la cual se le agrega agua hasta cubrir completamente la muestra y la misma que debe tener una temperatura aproximada de 25°C, finalmente se cubre esta bomba de vacíos.

- ✓ Seguidamente se realiza una agitación mecánica se asegura las partes que conforma la bomba de vacíos la misma que debe de fijarse en superficie manejable el procedimiento consiste en remover el aire atrapado en la muestra a través de un compresor de aire y un manómetro que leerá una presión residual de $(3,7 \pm 0,3 \text{ kPa})$.
- ✓ El procedimiento se lo realiza agitando el equipo tratando de sacar la máxima cantidad de vacíos en la muestra.
- ✓ Una vez cumplido con el procedimiento anterior se pesa tanto la bomba de vacíos conjuntamente con el agua y la muestra teniendo en cuenta que la temperatura debe estar a 25°C .
- ✓ Finalmente se escurre el agua que se encuentra en la bomba de vacíos y se obtiene peso del recipiente de la bomba más el agua de igual manera a una temperatura de 25°C .

4.2.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 83. Equipo utilizado en el ensayo de densidad rice.


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Recipiente	<p>Debe ser un recipiente de plástico cuya capacidad mínima sea de 1000 (ml), deberá tener una tapa que se ajustara con empaquetadura de caucho y una manguera de conexión. El recipiente debe ser capaz de resistir un vacío esencialmente completo.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Balanza	Será una balanza que pueda pesar 1500 (g) con precisión de 0,1 (g) para la taza de 1000 (ml), que tenga sensibilidad suficiente y capacidad amplia al momento de pesar las muestras.
	Bomba de vacío	Debe ser capaz de evacuar el aire del recipiente hasta llegar a una presión residual de 4,0 (kPa) (30 mm de Hg) o menos.
	Manómetro	Adecuado para medir el vacío especificado.
	Baño de agua	Será un baño de tamaño adecuado y a temperatura constante.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Equipo para agitación mecánica	Equipo que permitirá la agitación suave pero consistente en la muestra, contará con un sistema de soporte para el recipiente y con un caucho resistente como precaución de seguridad, ya que este evitará el impacto sobre la superficie durante lo que dure el ensayo, mientras esta bajo vacío.
	Horno	Controlado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
	Equipo misceláneo	Es el equipo como: recipientes, espátulas, guantes, etc.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

4.2.7 CÁLCULOS.

✓ PESO ESPECÍFICO RICE.

$$\text{PESO ESPECIFICO RICE} = \frac{A}{A+B-C} \quad \text{Ecuación 43. Densidad rice.}$$

Donde:

(A)= es la masa de la muestra en el aire en gramos.

(B)= es la masa del recipiente bomba de vacíos más agua a una temperatura de 25°C,
en gramos.

(C)= es la masa del recipiente bomba de vacíos más agua y más la muestra a una
temperatura de 25°C, en gramos.

4.2.8 *NORMATIVA*

INV. E- 735

ASTM D 2041 AASHTO T 209

4.2.9 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 7*

TÍTULO: Densidad Rice, Método Marshall.

OBJETIVO: Determinar la gravedad específica máxima teórica asfáltica en caliente.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

Tabla 84. Tabla de datos ensayo Rice.

TABLA DE DATOS		
MASA DE LA MUESTRA EN EL AIRE (g.)	1500	A
MASA BOMBA VACIOS + AGUA (a 25° C) (g)	18396	B
MASA BOMBA DE VACÍOS + AGUA + MUESTRA (a 25 ° C) (g)	19266	C

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

b) Resultado obtenido.

Peso específico Rice= 2.381 (g/cm³)

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la gravedad específica máxima teórica (Rice), acorde a la norma que lo rige, por lo que se concluye que el valor calculado es correcto.

RECOMENDACIONES

Es importante que al momento de disgregar la briqueta se lo realice sin afectar el tamaño máximo nominal del mismo.

4.2.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El valor de la densidad Rice es muy importante para el posterior cálculo de vacíos en la mezcla compactada y así proporcionar el comportamiento de la misma arrojando valores, los cuales se comparan con las especiaciones Marshall.

Un parámetro que rige el ensayo es la masa mínima que necesita y se define acorde al tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla.

Tabla 85. Tamaño mínimo de la muestra.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	MASA MÍNIMA DE MUESTREO (g)
1 1/2 " o mayor	5000
3/4 " a 1"	2500
1/2 " o menor	1500

Fuente: ASTM, D. (2000). 2041, Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures. 2003 Annual Book of ASTM Standards, 4.

4.3 PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO CON HORNO DE IGNICIÓN. ENSAYO N. ° 8

4.3.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad por determinar el contenido exacto de asfalto, para así poder evaluar de una forma clara una mezcla asfáltica en caliente, se ha visto en la necesidad de incorporar un horno de ignición con balanza incluida, el cual es uno de los métodos más económicos y sin lugar a duda amigable con el planeta, debido a que el horno de ignición reduce el tiempo de prueba significativamente en comparación a otros métodos como por ejemplo uno que utilice solventes.

Por otra parte, el horno de ignición al tener un funcionamiento automático, será de gran ayuda para los técnicos que podrán realizar tareas paralelas a esta.

4.3.2 OBJETIVO.

Determinar el contenido de cemento asfáltico de una mezcla asfáltica en caliente por ignición en un horno a 538°C de temperatura.

4.3.3 ALCANCE.

Ensayo que será usado para un control de calidad en muestras de pavimentos, de igual forma para determinar la degradación de una mezcla asfáltica en caliente, este ensayo nos aporta para una determinación cuantitativa de ligante asfáltico que está presente en la muestra.

Las muestras de agregados que se obtienen del método de ensayo también podrán ser sometidas a un análisis granulométrico de procedencia con la norma INV.- E- 782.

4.3.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

En el presente ensayo se determina el contenido de cemento asfáltico, que será expresado como un porcentaje de la masa de la mezcla en caliente que será utilizada, la misma que estará libre de humedad. Es decir, lo que se determina es el contenido de ligante asfáltico mismo que posteriormente será calculado determinando la resta entre la masa de la mezcla asfáltica inicial y la masa residual del agregado, para esto se tomará muy en cuenta que se debe involucrar unos ajustes tanto por el contenido de humedad, así como por un factor de corrección.

4.3.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Como primer paso deberemos obtener una muestra fresca misma que será tomada de una producción reciente de la mezcla asfáltica en caliente.
- ✓ Paso seguido procedemos a un cuarteo de la muestra significativa que tomamos, para poder obtener un peso requerido de 2000 g mismo que es necesario para iniciar con el ensayo.
- ✓ Es muy importante que la muestra esté bajo condiciones manejables, misma que al ser manipulada se separe con facilidad mediante el uso de una espátula. Al no percibir que este así se procederá a calentar la muestra en un horno a una temperatura de $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para lo cual la colocaremos en una bandeja grande libre de impurezas, evitando dejarla por un periodo de tiempo muy prolongado.
- ✓ Como siguiente paso procederemos a precalentar el horno de ignición con una temperatura inicial de 538°C , esta temperatura constará como el primer punto de referencia misma que será registrada automáticamente por el horno de ignición.

- ✓ Secamos en un horno convencional nuestra muestra al grado de conseguir una masa constante, a una temperatura de 105°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- ✓ Es muy importante ingresar un factor de corrección para la mezcla específica que va a ser ensayada en el horno de ignición.
- ✓ El factor de corrección es establecido mediante el ensayo de un conjunto de muestras del tipo de mezcla.
- ✓ Paralelamente se procede a pesar la bandeja de retención, la canasta de muestra con las protecciones en posición, haciéndola un solo cuerpo y registramos su masa, dato que será requerido más adelante.
- ✓ Como siguiente paso, procedemos a distribuir uniformemente toda la muestra en la canasta, con un cuidado especial de no colocar nada de la muestra fuera de los bordes de la misma y la enrasamos con ayuda de una espátula.
- ✓ Procedemos a pesar la totalidad de la masa es decir muestra, más canasta, más protecciones, más bandeja de retención. Para registrar y seguidamente poder calcular la masa inicial de la muestra. Misma que será la diferencia entre la masa total y la masa del equipo armado.
- ✓ Paso a seguir es ingresar el valor de la masa inicial, este se registra en el controlador del horno de ignición, debiendo verificar que este correcto.
- ✓ Una vez ingresado todos estos datos procedemos a colocar la canasta armada con la muestra en el interior de la cámara, cerramos la puerta y automáticamente se coloca el seguro, deberemos verificar que todos los datos que aparecen en la pantalla del horno sean iguales a los que fueron registrados por la persona que opero. La variación que se podría tolerar no debe superar los ± 5 , puesto que si sobrepasa este valor se

procederá a reabrir la puerta del horno para verificar que la muestra no esté en contacto con las paredes del mismo.

- ✓ Una vez que se a verificado todos iniciaremos con el ensayo, para lo cual se presiona el botón de “PARTIR y PARAR” mismo que da partida al ventilador de combustión y paso seguido bloquea la cámara.
- ✓ Comienza la ignición de la muestra, dejaremos transcurrir el tiempo requerido.
- ✓ Una vez que el ensayo concluya se despliega una alarma y una luz parpadeante, emitidas por el horno de ignición. Se procede a desbloquear la puerta del horno y paso seguido automáticamente la impresora incluida en el horno arrojará todos los resultados requeridos en el ensayo.
- ✓ El contenido de ligante asfáltico será mostrado mediante una etiqueta impresa por el horno de ignición en cantidades de porcentaje.
- ✓ Para finalizar el ensayo procederemos a abrir la puerta del horno para dejar que se enfríe a temperatura ambiente la cámara, una vez ya fría la canasta procedemos a removerla para que las muestras puedan enfriar por un período de tiempo de treinta minutos.
- ✓ Una ampliación del ensayo que puede ser requerida es la ejecución del análisis granulométrico según la norma INV. E-782.

4.3.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 86. Equipo utilizado en el ensayo de porcentaje del cemento asfáltico con horno de ignición.


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Horno de ignición	Debe ser un horno de circulación forzada capaz de mantener una temperatura de 578° C (1072° F), provista de una balanza interna con una precisión de 0,1 g térmicamente aislada de la cámara del horno. La balanza debe ser idónea de pesar las canastas para las muestras, así como una muestra de 3.500 g. Debe contar con un sistema automático para determinar el peso y mostrarse durante el ensayo.
	Canasta para las muestras	Deben ser del tamaño apropiado para permitir al aire fluir alrededor y a través de las partículas y de forma que las muestras se extiendan delgadamente. La muestra se cubrirá en su totalidad con una placa perforada de acero inoxidable.
	Bandeja de retención	De tamaño adecuado cuya función será retener a través de la pantalla de malla las partículas de agregados y ligante asfáltico al contener las canastas de muestras.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Horno	Un horno capaz de mantener una temperatura de $125 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($257 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$).
	Balanza	Una balanza con aproximación de 0,01% de la masa de la muestra y con suficiente capacidad
	Equipo misceláneo	Una bandeja de dimensiones mayores que las canastas de muestras para poder trasladar las muestras después de la ignición, espátulas, cepillos de alambre y recipientes.
	Equipo de seguridad	Guantes para altas temperaturas, gafas de seguridad para la cara.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.3.7 CÁLCULOS.

✓ Cálculo del factor corrección.

$$CF (\%) = \% ACo - Act$$

Ecuación 44. Porcentaje de cemento asfáltico con horno de ignición.

Donde:

% ACo: Contenido de asfalto determinado por el horno de ignición.

% ACt: Contenido de asfalto real.

✓ **Cálculo de porcentaje asfáltico.**

$$AC (\%) = \left[\frac{Mm - pf}{Pf} \times 100 \right] - CF$$

Ecuación 45. Porcentaje de cemento asfáltico con horno de ignición.

Donde:

Mm: Masa de la muestra (gr).

Pf: Peso final después de ignición (gr).

CF: Factor corrección.

4.3.8 **NORMATIVA**

INV. E- 729- 07

NORMA CHILENA 8.302.56, AASHTO T 308 – 05

4.3.9 **EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 8**

TÍTULO: Porcentaje de cemento asfáltico con horno de ignición.

OBJETIVO: Determinar el contenido de cemento asfáltico de una mezcla asfáltica en caliente por ignición en un horno a 538 °C de temperatura.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

Tabla 87. Valores de masas previamente obtenidos.

Valores de masas	
Masa de la canastilla (gr)	4596
Masa de la muestra (gr)	2000
Masa de la canastilla + Muestra (gr)	6596

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

b) Resultados obtenidos en el ensayo.

Tabla 88. Resultados del ensayo.

Resultados del ensayo	
Duración del ensayo (min.)	63
Peso final (gr.)	1864.8
Pérdida de peso (gr.)	135.2
Pérdida de peso (%)	6.75

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

c) Cálculo del factor corrección.

$$CF (\%) = \% ACo - ACt$$

Donde:

% ACo: Contenido de asfalto determinado por el horno de ignición.

% ACt: Contenido de asfalto real.

Tabla 89. Factor de corrección.

Parámetros	Valores
% Aco: Contenido de asfalto determinado por el Horno	7,3
% Act: Contenido de asfalto Real	6,4
CF (%) FACTOR CORRECCIÓN	0,86

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

d) Cálculo de porcentaje asfáltico.

$$AC (\%) = \left[\frac{Mm - pf}{Pf} \times 100 \right] - CF$$

Donde:

Mm: Masa de la muestra (gr).

Pf: Peso final después de ignición (gr).

CF: Factor corrección.

Tabla 90. Porcentaje de cemento asfáltico.

Resultado	
AC %	6,39

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El contenido de cemento asfáltico determinado en el ensayo es 6.39 % asemejándose al valor óptimo calculado de cemento asfáltico para la mezcla.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina el contenido de asfalto en la mezcla compactada por el horno de ignición arrojando un valor similar a la probeta de ensayo, por lo que, se concluye que el ensayo es aceptable.

RECOMENDACIONES.

Es importante que el equipo tenga programado los factores de corrección y una calibración pertinente.

4.3.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La determinación del porcentaje de cemento asfáltico mediante el ensayo horno de ignición es importante para determinar la gradación de la mezcla asfáltica y determina cuantitativamente el contenido de asfalto en la mezcla.

El factor corrección en el ensayo corresponde a la pérdida de material fino y cenizas del cemento asfáltico, que se producen al momento de calcinar la muestra, el mismo que se va por el ducto de ventilación.

Un parámetro que rige el ensayo es la masa mínima y máxima que necesita y se define acorde al tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla.

Tabla 91. Tamaño mínimo y máximo de la muestra.

Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima de muestreo (gr)	Masa máxima de muestreo (gr)
N° 4	1200	1700
3/8 "	1200	1700
1/2 "	1500	2000
3/4 "	2000	2500
1 "	3000	3500
1 1/2"	4000	4500

Fuente: Estándar, AASHTO T308, 2009 ". Método estándar de prueba para determinar el aglomerante asfáltico.

4.4 DUCTILIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 9

4.4.1 INTRODUCCIÓN.

Se define como ductilidad de un cemento asfáltico a la medida a la cual puede llegar una muestra de bitumen siendo estirada antes de su ruptura, se forma un hilo de material bituminoso en cual se rompe en dos, y es en ese determinado momento en que se tomará la medida de su longitud alcanzada en centímetros, a la que se denomina ductilidad de la muestra.

Es importante saber que una de las características de un cemento asfáltico dúctil es que cumple con propiedades aglomerantes excelentes, mientras que por otro lado un cemento asfáltico que tenga una ductilidad muy elevada será perceptibles a altas deformaciones con mucha facilidad.

4.4.2 OBJETIVOS

Determinar la ductilidad del cemento asfáltico de consistencia sólida o semisólida.

4.4.3 ALCANCE

Encontrar la ductilidad del cemento asfáltico consiste específicamente en conseguir una medida a la cual puede estirarse la muestra antes de que llegue a romperse en dos.

En general el ensayo toma una velocidad de tracción de $50 \pm 2,5$ mm por min. Y bajo una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C ($77 \pm 1,0$ °F).

4.4.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Cuando una vía es construida con un pavimento flexible se la ejecuta para una determinada vida útil, y en el transcurso de esta vida útil el pavimento flexible va a estar expuesto a deformaciones grandes o pequeñas, todo dependerá de la demanda de tráfico que se presente en dicho pavimento.

Entonces tomando en cuenta esta característica que afecta al pavimento, se determina que el ensayo de ductilidad aporta mucho para poder determinar el momento más cercano en el cual el material bituminoso podrá llegar a fracturarse.

4.4.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Para el siguiente ensayo se deberá cumplir una serie de pasos comenzando con la preparación de probetas.
- ✓ Como primer paso se toma tres probetas, mismas que deberán ser curadas mediante un recubrimiento de la placa y el molde con una película delgada de talco, caolín o una mezcla de glicerina y dextrina que tengan iguales proporciones.
- ✓ Seguidamente procedemos a montar los moldes ya curados como se describe a continuación.


- ✓ Primero, colocaremos tanto la placa como el molde en una superficie que este horizontal, se deberá comprobar que la placa se encuentre bien apoyada para que así todas las piezas del molde se apoyen por completo en la misma.
- ✓ Segundo, calentamos en horno el recipiente que contiene el cemento asfáltico con sumo cuidado, agitándolo siempre que su consistencia nos lo permita, para así prevenir los sobrecalentamientos locales. El cemento asfáltico deberá estar lo suficientemente fluido para poder verterlo de una forma simple en las probetas.
- ✓ Tercero, se llenan las tres probetas con cuidado de no regar el material y procurando mantener el correcto montaje de sus piezas, se vierte el material de un extremo al otro por medio de un chorro fino y constante hasta llenar completamente el molde con un ligero exceso. Y por ningún motivo se debe dejar burbujas de aire en el interior de la probeta.
- ✓ Una vez llenadas las tres probetas dejaremos enfriar durante un periodo de tiempo entre los 30 - 40 minutos a una temperatura ambiente.
- ✓ La placa, el molde y la probeta se deberán introducir en conjunto en baño de agua, a temperatura de ensayo con una máxima variación de 0,1 °C durante un intervalo de tiempo comprendido entre 85 y 95 minutos.
- ✓ Transcurrido este tiempo se procede a retirar la placa del molde, las pinzas laterales y se procede con el inicio del ensayo.
- ✓ Como segunda parte para la ejecución del ensayo, se deberá proceder de la siguiente forma.

- ✓ Montar cada una de las probetas en el ductilómetro, para lo cual se deberá introducir cada una de las parejas de clavijas del sistema fijo y móvil en los orificios que corresponden a cada pinza.
- ✓ Una vez fijadas las probetas se procede a poner en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo, teniendo en cuenta que deberá estar especificada la velocidad de arrastre y la temperatura de ensayo.
- ✓ Se ejecuta el ensayo hasta que se produzca la rotura, una vez concluido se procede a medir la distancia de separación entre ambas pinzas hasta el instante en que se produce la rotura, la medida tomada será en centímetros.
- ✓ Durante el tiempo que tarde el ensayo, la probeta se ira estirando de una forma paulatina formando un hilo cada vez más delgado, el mismo que deberá estar en todo momento sumergido en el agua del ductilómetro para que sea válido el ensayo, sin aproximarse tanto a la superficie o al fondo del equipo.
- ✓ De no cumplirse esta condición se procederá a ajustar tanto la densidad relativa del agua o la del material ensayado, para esto se podrá optar por añadir cloruro de sodio o alcohol metílico según lo requiera el caso.
- ✓ Mientras avanza el ensayo el cemento asfáltico de la probeta se va estirando de una forma secuencial formando así un hilo, mismo que será estirado hasta romperse, es en dicho instante donde se procede a tomar las medidas.
- ✓ Para una veracidad de ensayo se repetirá un mínimo de tres veces el procedimiento con la misma muestra de cemento asfáltico.

4.4.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 92. Equipo utilizado en el ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Moldes	Los moldes para la fabricación de probetas pueden ser de bronce o zinc.
	Placa	Para realizar el llenado de los moldes se colocará una placa de bronce plana, misma que deberá estar provista de un tornillo lateral de sujeción.
	Baño de agua	El volumen de agua no deberá ser inferior a 10 litros, el mismo que contará con una placa perforada para la colocación de las probetas, esta placa deberá estar localizada a una distancia mínima de 50 (mm) en el fondo y de 100 (mm) de la superficie.
	Ductilómetro	Es un aparato para realizar el ensayo de tracción el cual consta de: un tanque de agua para sumergir las probetas, equipado de un mecanismo de arrastre que no provoque vibraciones, capaz de separar la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, mismos que permanecen fijos.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Termómetro	Debe ser resistente al agua para su empleo durante la inmersión.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.4.7 CÁLCULOS.

✓ DUCTILIDAD:

$$Ductilidad = \sum \frac{d1 + d2 + d3}{n}$$

Ecuación 46. Ductilidad del cemento asfáltico.

Donde:

d: distancia de rotura

n: número de probetas.

4.4.8 NORMATIVA DUCTILIDAD

INV. E- 702

ASTM D 113

AASHTO T 51

NTL 126

4.4.9 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 9

TÍTULO: Ductilidad del cemento asfáltico.

OBJETIVO: Determinar la ductilidad del cemento asfáltico de consistencia sólida o semisólida.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

Tabla 93. Distancia de rotura de las probetas.

TABLA DE DATOS

Probeta N°	Distancia de Rotura(cm)
1	114
2	117
3	123

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

b) Resultados.

Tabla 94. Valor promedio de ductilidad.

PROMEDIO

118	cm
-----	----

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde a los resultados obtenidos en laboratorio se puede observar que las tres probetas arrojan valores similares cumpliendo con las especificaciones MOP-001- F 2002.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la ductilidad del cemento asfáltico, la misma que cumple con el rango propuesto por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIONES.

Es importante que exista una lubricación en los moldes que van a realizar el ensayo para que no exista una adhesión al mismo.

4.4.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El ensayo de ductilidad determina el comportamiento a la tracción del cemento asfáltico para posteriormente dicho valor obtenido compararlo con las especificaciones vigentes y así aprobar el material dentro de la mezcla asfáltica.

Acorde a las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., donde existe una clasificación acorde al grado de penetración, establece los siguientes criterios ser aceptado.

Tabla 95. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Penetración (25°C, .100 gr, 5s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**).	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %	---	2,2	---	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm.	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, página VIII-68, Tabla 810.2.1.

4.5 PENETRACIÓN PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 10

4.5.1 INTRODUCCIÓN

El ensayo de penetración en un cemento asfáltico se define como la distancia a la cual penetra una aguja que está normalizada de una forma vertical en dicho material, la distancia se deberá expresar en décimas de milímetro. Para el ensayo se deberá definir tanto condiciones de temperatura, como de tiempo y carga.

4.5.2 OBJETIVOS

Determinar la consistencia de un material asfáltico sólido o semisólido.

4.5.3 ALCANCE

La distancia que se expresa en décimas de milímetro a la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura se denomina penetración.

En general, las condiciones definidas para este ensayo son a una temperatura de 25° C (77° F), durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total de 100 g, incluida la aguja. Cabe mencionar que adicional se puede emplear otras condiciones que estén definidas previamente.

4.5.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

En esencia se debe garantizar un diseño duradero y con una alta calidad para una vía, para esto se deberá tomar en cuenta cada una de las características que influirán en el diseño y proceso constructivo de la misma. Razón por la cual es indispensable tener un conocimiento tan claro como sea posible del tipo de asfalto a utilizarse en la ejecución del proyecto. En virtud de esto el presente ensayo tiene como finalidad definir el tipo de pavimento según su penetración, o consistencia.

4.5.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Primeramente, para este ensayo tomaremos una muestra homogénea, que este sin ningún tipo de contaminación y una cantidad que sea representativa.
- ✓ Paso seguido procedemos a calentar cuidadosamente una cantidad de 400 a 500 g en un recipiente, se deberá agitarlo para así poder evitar los calentamientos locales perjudiciales para el ensayo, como también para homogenizar el material hasta conseguir la fluidez necesaria para el posterior vertido en los moldes.
- ✓ El tiempo para el calentamiento total de nuestro material no deberá exceder los 30 minutos, y es importante el evitar a toda costa la formación de burbujas de aire en el recipiente de nuestra mezcla.
- ✓ Se deberá cumplir con las condiciones normalizadas para el ensayo siendo estas de 25°C (77°F) de temperatura, 100 g de carga, y 5 segundos de tiempo.
- ✓ No obstante, es imprescindible aclarar que se puede emplear otras condiciones para este ensayo especificados en la norma INV. E-706.
- ✓ Para la buena ejecución del ensayo el operario deberá asegurarse que el vástago de soporte donde se encuentra la aguja este limpio y seco, para que así por ningún motivo dificulte el paso de la aguja.
- ✓ Seguidamente colocaremos un peso complementario de 50 g sobre el vástago, mismo que servirá para completar los $100\text{g} \pm 0,1$ g de peso móvil total requeridos.
- ✓ Una vez con la muestra lista, se procede a sumergirla a baño maría durante un periodo de 60 minutos.
- ✓ Una vez que hayan transcurrido estos 60 minutos se procede a colocar la muestra en el penetrómetro para la ejecución del ensayo.

- ✓ Colocada la muestra, paso seguido aproximaremos el mecanismo comprendido de la aguja del Penetrómetro hasta que la punta de la aguja rose con la muestra sin que penetre, para visualizar esto se puede ayudar el operario mediante una lámpara auxiliar que viene incluida en el sistema.
- ✓ Cuando se encuentre el sistema listo procedemos a encerar el Penetrómetro.
- ✓ Después de encerado liberamos el mecanismo durante un tiempo determinado de 5 segundos.
- ✓ Concluido el tiempo anotamos las lecturas de la distancia que haya penetrado la aguja en la muestra misma que será expresadas en decimas de milímetro.
- ✓ La completa ejecución del ensayo consistirá en realizar un mínimo de tres penetraciones para cada uno de los recipientes, mismas que se realizaran en diferentes puntos que estén equidistados 10 mm (3/8") entre sí y entre las paredes del recipiente.
- ✓ Ya concluidas las penetraciones se procede a desmontar la aguja del equipo para limpiarla cuidadosamente con un trapo seco y limpio.

4.5.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 96. Equipo utilizado en el ensayo de penetración del cemento asfáltico.



GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Penetrómetro	<p>Es un aparato para determinar la medida de las penetraciones, el cual consta de: con un mecanismo que admita el movimiento vertical sin rozamiento apreciado de un vástago que se moverá, mismo que se fijará firmemente por su parte inferior, una aguja de penetración es importante que el aparato este calibrado para dar claramente la lectura en unidades de penetración.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Aguja de penetración	<p>Deberá ser de acero inoxidable endurecido y templado, con una longitud de 50 (mm) (2") y un diámetro entre 1 y 1,02 (mm) con uno de sus extremos simétricamente afilado hasta formar un cono comprendido entre 8°40' y 9°40' de ángulo en toda su longitud, cuyo eje sea coaxial con el de la aguja.</p>
	Recipiente para la muestra	<p>Los recipientes para las muestras serán de forma cilíndrica, de fondo plano y pueden ser de metal.</p>
	Baño de agua	<p>El baño deberá tener una mínima capacidad de 10 litros y equipado de un dispositivo capaz de mantener la temperatura para el ensayo con una variación de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (0.2°F). Adicional a eso se deberá contar con una placa soporte perforada, ubicada a una distancia no menor de 50 (mm) del fondo, ni mayor de 100 (mm) del nivel superior del líquido en el baño.</p>
	Cronómetro	<p>Reloj de gran precisión que permitirá medir intervalos de tiempo muy pequeños, hasta fracciones de segundo.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Termómetro	En el baño de agua se dispondrá de un termómetro de mercurio con varilla de vidrio, de inmersión total el cual tendrá subdivisiones y escala máxima de error de 0,1°C o cualquier otro dispositivo que mida temperaturas con igual precisión, exactitud y sensibilidad.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.5.7 NORMATIVA

INV. E- 706

ASTM D 5

AASHTO T 49-NTL 124

4.5.8 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 10

TÍTULO: Penetración para el cemento asfáltico.

OBJETIVO: Determinar la consistencia de un material asfáltico sólido o semisólido.

CÁLCULOS:

a) **Datos previos.**

✓ **Parámetros del ensayo normalizado.**

Tabla 97. Datos previos para el ensayo de penetración.

Parámetros	Valores
Temperatura de ensayo (°C)	25
Carga (gr.)	100
Tiempo de carga (segundo)	5

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Penetrómetro.**

Tabla 98. Datos del Penetrómetro.

Parámetros	Valores
Peso aguja (gr)	2.5
Peso vástago (gr)	47.5
Peso de pesa (gr)	50
Peso Penetrómetro (gr)	100

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

b) Lectura de penetración.

Tabla 99. Valor de penetración.

Punto	Temperatura (°C)	Penetración (mm*10 ²)
1	25	62.00
2	25	65.60
3	25	63.70
Promedio		63.77

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde a los resultados obtenidos en laboratorio se puede observar que los tres puntos arrojan valores similares cumpliendo con la especificación MOP-001- F 2002.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la penetración en el cemento asfáltico, el mismo que cumple con el rango propuesto por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIONES.

Es importante que se cumpla con el baño maría durante 60 minutos, después del cual se ejecute el ensayo.

4.5.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El ensayo de penetración describe la consistencia del cemento asfáltico, en base a la penetración se pueden clasificar en blando o duro, el valor obtenido en el ensayo se compara con las especificaciones vigentes y así aprobar el material dentro de la mezcla asfáltica.

Acorde las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., donde existe una clasificación acorde al grado de penetración, establece los siguientes criterios ser aceptado.

Tabla 100. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Penetración (25°C, .100 gr, 5s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**).	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %	---	2,2	---	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm.	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, página VIII-68, Tabla 810.2.1

Se descarta el ensayo en caso de que no cumpla la siguiente tabla.

Tabla 101. Relación entre valores de penetración.

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	> 250
Diferencia máxima entre valores extremos	2	4	6	8

Fuente: NTE INEN 0917:83.

4.6 PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ANILLO Y BOLA) PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N. ° 11

4.6.1 INTRODUCCIÓN.

En construcción de vías, es estrictamente necesario contar con una serie de materiales de excelente calidad para que puedan aportar con el cumplimiento para garantizar la vida útil de la misma. Es en virtud de esto que la determinación del punto de ablandamiento del cemento asfáltico se ha convertido en un parámetro de calidad para así ayudar a garantizar dicho proceso.

4.6.2 OBJETIVO.

Determinar el punto de ablandamiento del cemento asfáltico para un intervalo de (30-157) °C.

4.6.3 ALCANCE.

El punto de ablandamiento no es otra cosa que la temperatura a partir de la cual el cemento asfáltico adquiere una textura blanda lo suficiente como para comenzar a fluir, por lo que en términos amplios se supone que en este punto la consistencia es equivalente a la misma que presenta cuando la penetración es 0,1mm.

4.6.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Este ensayo considera el valor promedio de las temperaturas a partir de las cuales un par de discos hechos de cemento asfáltico fundidos en anillos de bronce se ablandan lo suficiente que permiten recubrir cada una de las bolas de acero con material bituminoso. Mismas bolas caerán desde una distancia de 25mm (1”) denominándose a esto, el punto de ablandamiento de dicho cemento asfáltico.

4.6.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Para dar inicio al ensayo se debe verificar todos los equipos y materiales debiendo estar listos y en buen estado pues la culminación del ensayo será en el lapso máximo de 6 horas.
- ✓ Paso siguiente procedemos a calentar la muestra de cemento asfáltico, agitándola de cuando en cuando para evitar los sobrecalentamientos locales, hasta un punto que la fluidez sea suficiente para ser vertida. Este proceso por ningún concepto debe sobrepasar las 2 horas de calentamiento cuya temperatura no supere los 110°C.
- ✓ Si por algún concepto el ensayo amerita repetirse, se deberá utilizar una nueva muestra y por ningún desechando la anterior, y bajo ningún concepto se podrá reutilizar la muestra volviéndola a calentar.
- ✓ Paralelamente se procede a calentar en el horno los anillos de bronce sin su plato base, para así poder conseguir una temperatura igual o por lo menos similar a la del cemento asfáltico.
- ✓ Una vez calentados los anillos de bronce procedemos a armarlos con su plato base, listo esto se vierte el cemento asfáltico en ellos dejando un ligero exceso, concluido el vertido se dejará enfriar por 30 minutos a temperatura ambiente.

- ✓ Ya fríos y listos para manipularse ambos discos procedemos a retirar el exceso con una espátula o cuchillo precalentados, en forma de corte para conseguir una superficie uniforme entre la parte superior del anillo y el disco de cemento asfáltico.
- ✓ Ya conseguidos los discos por ningún concepto deberá pasar más de 240 minutos para dar por concluido el ensayo.
- ✓ Como siguiente paso se realiza un baño con agua destilada que deberá ser hervida en ese instante, misma que será para un ablandamiento esperado de entre (30-80) °C, o (86-176) °F. Para empezar el baño la temperatura deberá estar en 5°C con una tolerancia de $\pm 1^\circ\text{C}$, para lo cual se usará un termómetro DE 15°C.
- ✓ Seguidamente colocaremos los anillos con el cemento asfáltico, los termómetros, las guías para las bolas, en un lugar con buena ventilación para hacer su apropiado montaje. Procedemos a llenar con el baño de agua destilada hasta una altura de 105mm con una tolerancia de $\pm 3\text{mm}$.
- ✓ Con ayuda de unas tenazas coloque las bolas en el fondo del baño para que así adquieran la temperatura del sistema, una vez conseguido esto retírelas con las mismas tenazas y colóquelas en las guías para su centrado.
- ✓ Deberá asegurar la constancia en la rata de elevación de la temperatura de 5°C/minuto esto se logra calentando de una forma pausada el baño y protegiéndolo de corrientes de aire.
- ✓ Para poder concluir el ensayo cada una de las bolas deben estar rodeadas de cemento asfáltico y que toquen el fondo, una vez logrado esto se registra la temperatura que muestra el termómetro en dicho momento.

- ✓ Dependiendo del punto de ablandamiento esperado usted podrá realizar el ensayo ya sea con Baño de agua destilada recién hervida, Baño con glicerina USP, o Baño con glicol etileno siempre y cuando respete su procedimiento y parámetros.

4.6.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 102. Equipo utilizado en el ensayo de punto de ablandamiento para el cemento asfáltico.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Anillos	Anillos de bronce cuyos bordes serán cuadrados.
	Platos de base	Serán de un material no absorbente, de tamaño de 50 x 75 (mm) (2 x 3"), cuyo espesor será suficiente para prevenir la deformación.
	Bolas	Esferas de acero con un diámetro de 9,5 (mm) (3/8"), y con un peso cada una de 3,5 ± 0,05 (g).
	Guía de contacto para bolas	Hecho de bronce.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	<p>Recipiente para baño</p>	<p>Recipiente de vidrio que se pueda calentar, con capacidad de 800 (ml), con un diámetro interno mínimo de 85 (mm), y altura mínima entre la base y el borde de 120 (mm).</p>
	<p>Soporte de anillos y montaje completo</p>	<p>Es un soporte de bronce diseñado para sostener en posición horizontal los dos anillos, el montaje con la base de los anillos se colocará a $25 \pm 0,8$ (mm) (1 ± 0.03") por encima de la superficie superior del plato de base, de igual forma se considerará que la superficie inferior del plato base deberá estar 16 ± 3 mm ($5/8 \pm 1/8$") por encima del fondo del baño.</p>
	<p>Termómetro</p>	<p>El termómetro adecuado según la especificación ASTM E1 se colocará en el montaje cuidando que el extremo del bulbo esté a nivel con el fondo de los anillos y dentro de los 13 (mm) (0.5") alrededor de ellos, pero sin tocar el soporte ni los anillos.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Líquido para baño	Agua destilada para impedir la formación de burbujas sobre la superficie de la muestra, para lo cual debe estar recién hervida.
	Agentes aislantes	Se considera a aceites o grasas con siliconas utilizados para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato de base cuando se hacen los discos, misma que se colocará ligeramente sobre la superficie que se desee proteger.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.6.7 *NORMATIVA*

INV. E- 712

ASTM D 36

AASHTO T 53

4.6.8 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 11*

TÍTULO: Punto de ablandamiento (Anillo y Bola) para el cemento asfáltico.

OBJETIVO: Determinar el punto de ablandamiento del cemento asfáltico para intervalo de (30-157) °C.

CÁLCULOS:

a) **Datos previos.**

✓ **Lecturas del ensayo.**

Tabla 103. Lecturas del índice de penetración.

Temperatura °C	Anillo N°	Distancia de envoltura (mm)
51	1	25
49	2	25

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Tabla de resultado.**

Tabla 104. Temperatura promedio.

PROMEDIO	50	°C
-----------------	-----------	-----------

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde a los resultados obtenidos en laboratorio se puede observar que los dos anillos arrojan valores de temperatura similares cumpliendo con la especificación MOP-001- F 2002.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina el punto de ablandamiento en el cemento asfáltico, el mismo que cumple con el rango propuesto por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIONES.

Es importante que se realice un enrazado en la parte superficial del anillo con la finalidad que se obtenga una superficie lisa y se coloquen de forma adecuada las bolas metálicas.

4.6.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El ensayo de punto de ablandamiento (anillo y bola) es una prueba de consistencia además es un indicador a la susceptibilidad térmica es decir indica la temperatura a la que el asfalto se ablanda, el valor obtenido en el ensayo se compara con las especificaciones vigentes y así aprobar el material dentro de la mezcla asfáltica.

Acorde las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., donde existe una clasificación acorde al grado de penetración, establece los siguientes criterios ser aceptado.

Tabla 105. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100		
	Betún original	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Penetración (25°C, .100 gr, 5s), mm/10.		60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.		48	57	45	53
Índice de penetración (*).		-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.		100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.		---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.		99	---	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C.		232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C		1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**).		NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %		---	2,2	---	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Variación de masa, %.		---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.		54	---	50	---
Ductilidad, cm.		50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)		---	5,0	---	5,0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, página VIII-68, Tabla 810.2.1

4.7 ÍNDICE DE PENETRACIÓN PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO.

ENSAYO N. ° 12

4.7.1 INTRODUCCIÓN.

El índice de penetración del cemento asfáltico complementa a los ensayos de penetración y punto de ablandamiento del cemento asfáltico dando lugar a el cumplimiento de los parámetros de calidad que ayuda a garantizar el proceso en el diseño de la vida útil de una vía.

4.7.2 OBJETIVO

Determinar el índice de penetración (IP) del cemento asfáltico.

4.7.3 ALCANCE

Mediante este ensayo se proporciona el criterio de medida a la susceptibilidad del cemento asfáltico a su comportamiento reológico y sus cambios de temperatura, calculado a partir de los valores obtenidos tanto de la penetración como del punto de ablandamiento.

4.7.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

El método para la obtención del índice de penetración del cemento asfáltico se fundamenta admitiendo que a la temperatura del punto de ablandamiento es de 800 la penetración, y que en función de la temperatura los valores de la penetración se representan por una línea recta en escala logarítmica.

4.7.5 PROCEDIMIENTO Y CÁLCULO.

- ✓ Para determinar el índice de penetración del cemento asfáltico nos valdremos de la expresión:

$$IP = \frac{20u - 300v}{u + 30v}$$

Ecuación 47. Índice de penetración para el cemento asfáltico.

Donde:

$$U = \log 4 (t_{ab} - t_p)$$

$$V = \log 800 - \log p_t$$

T_{ab} = es la temperatura del punto de ablandamiento en °C.

T_p = es la temperatura a la que se efectúa la penetración en °C.

P_t = penetración a la temperatura t_p .

- ✓ El resultado obtenido se redondeará a la primera cifra decimal.
- ✓ Con las características de nuestro ensayo de penetración de 100g, 25°C, y 5 segundos (NORMALIZADO) podremos obtener el cálculo del índice de penetración del cemento asfáltico gráficamente mediante el nomograma que se puede encontrar en la norma INV-E-724.
- ✓ Una vez obtenido el índice de penetración podremos clasificar al cemento asfáltico mediante sus valores límites de una forma general.
- ✓ Para un $IP > +1$ se clasificará como cemento asfáltico con poca susceptibilidad a la temperatura, con cierta tixotropía y elasticidad. Denominado como tipo gel o soplado, denotando que la mayoría de los asfaltos oxidados son de este grupo.
- ✓ Para un $IP < -1$ se clasificará como cemento asfáltico con mayor susceptibilidad a la temperatura, de comportamiento viscoso y rico en resinas.
- ✓ Para un $(+1 \text{ IP } -1)$ clasificado como un cemento asfáltico con características intermedias entre los dos anteriores, siendo muy importante ya que la mayoría de los cementos asfálticos utilizados en la construcción de carreteras pertenecen a este grupo.

4.7.6 EQUIPO UTILIZADO

No Aplica.

4.7.7 NORMATIVA

INV. E- 724

UNE 104-281-86

NTL 181

4.7.8 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 12

TÍTULO: Índice de penetración para el cemento asfáltico.

OBJETIVO: Determinar el índice de penetración (IP) del cemento asfáltico.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

✓ Penetración (0,1 mm).

Tabla 106. Valor de penetración para calcular el índice de penetración.

Punto	Temperatura (°C)	Penetración (mm*10 ²)
1	25	62.00
2	25	65.60
3	25	63.70
Promedio		63.77

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ Punto de ablandamiento:

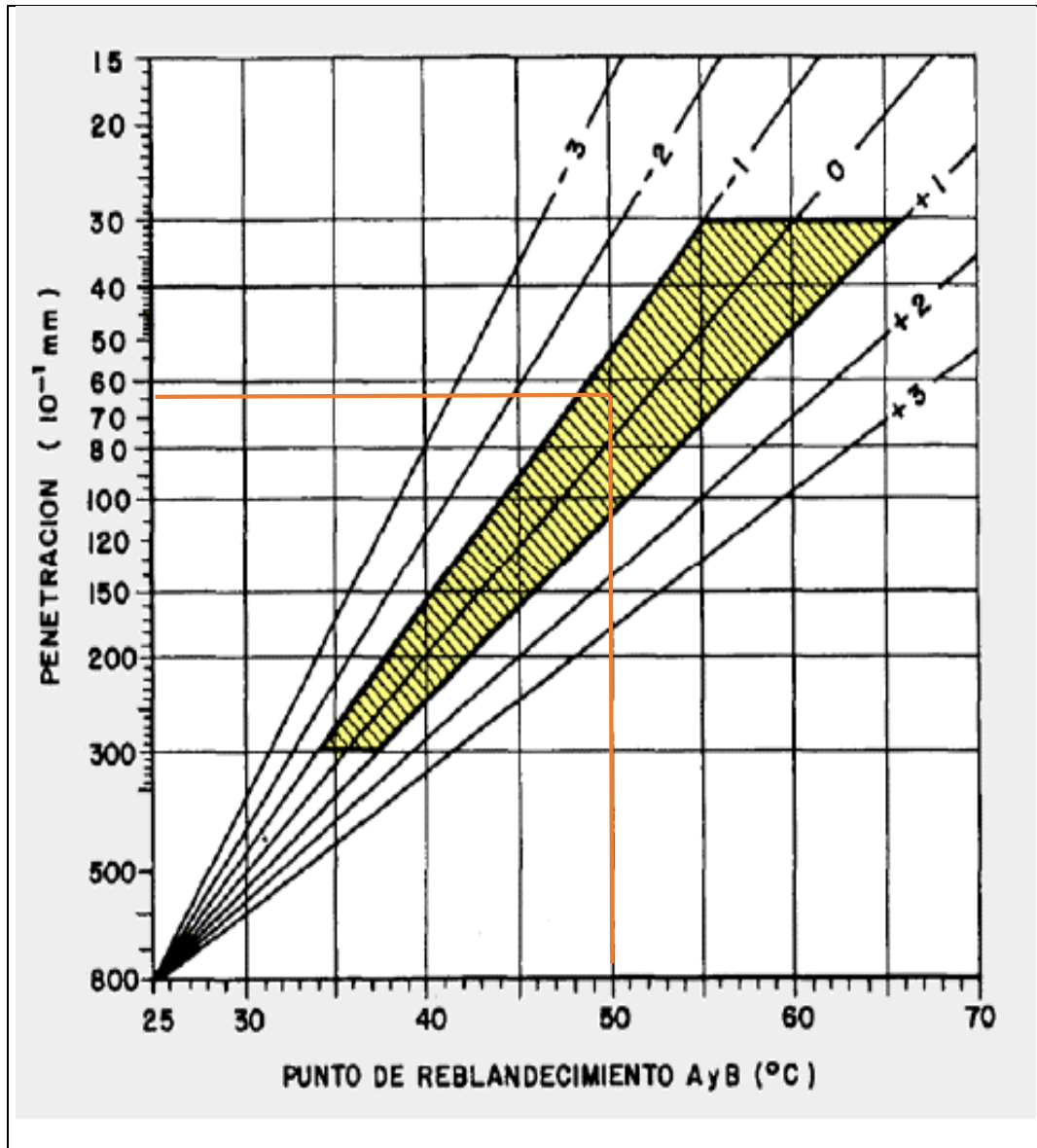
Tabla 107. Temperatura promedio.

PROMEDIO	50	°C
-----------------	-----------	-----------

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

b) Determinación del Índice de penetración.

Ilustración 29. Diagrama índice de penetración.



Fuente: Bañón, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento. Caminos II. pág. 167.

Índice de penetración obtenido: -0,5

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde al resultado obtenido en base al ábaco empleado para el cálculo del índice de penetración se puede determinar que el valor es de -0.5 valor que cumple la especificación MOP-001- F 2002.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina el índice de penetración del cemento asfáltico, el mismo que cumple con el rango propuesto por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

4.7.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En base a los resultados obtenidos de los ensayos penetración y punto de ablandamiento (anillo y bola) se determina el índice de penetración del cemento asfáltico que es un indicador de las características reológicas del mismo, el valor obtenido se compara con las especificaciones vigentes y así aprobar el material dentro de la mezcla asfáltica.

Acorde las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., donde existe una clasificación acorde al grado de penetración, establece los siguientes criterios ser aceptado.

Tabla 108. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Penetración (25°C, .100 gr, 5s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**).	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %	---	2,2	---	2,2

Ensayos al residuo del TFOT:	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm.	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, página VIII-68, Tabla 810.2.1

4.8 VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO. ENSAYO N.

° 13

4.8.1 INTRODUCCIÓN.

Es bien conocido que el asfalto ha estado presente en la construcción de carreteras desde hace muchísimos años atrás, gracias a todas sus características físicas que le permiten a su vez ser un aglutinante neto que obligatoriamente deberá estar presente en una mezcla asfáltica, es por tal razón que se ve en la necesidad de poder determinar todas y cada una de sus propiedades.

La necesidad de poder medir la viscosidad cinemática tanto de los betunes asfálticos, así como de los asfaltos fluidificados a denotado la aparición de una serie de viscosímetros con diferente grado de calibración, cuya principal diferencia está enfocada en el tamaño del tubo capilar. Tomando como base para el ensayo de la viscosidad cinemática a la medida del tiempo que se necesita para que fluya un material con volumen constante, esto bajo 4 condiciones que ya están establecidas tanto de temperatura, así como también la altura del líquido.

4.8.2 OBJETIVO.

Determinar la viscosidad cinemática del cemento asfáltico a una temperatura definida.

4.8.3 ALCANCE.

Este es un método en el cual se mide el tiempo que es necesario para que un volumen de cierto líquido fluya por capilaridad, para poder realizar esta medida debe ser necesario tener un viscosímetro que trabaja bajo una cabeza que este exactamente reproducible, para lo cual la temperatura deberá estar muy bien definida.

La multiplicación del factor de calibración del viscosímetro, por un determinado tiempo de flujo estará denominada como Viscosidad Cinemática.

4.8.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

La viscosidad cinemática no es otra cosa que la relación entre la viscosidad dinámica o absoluta y la densidad de un líquido. Esta relación debe ser medida como la resistencia al flujo que está bajo la acción de la gravedad, cuyas unidades bajo el sistema internacional (SI) son m^2/s .

En la práctica la unidad que se utiliza es 1 centistoke. Cuya equivalencia es a $1mm^2/s$.

Cuya nomenclatura viene definida como: $(1cSt=10^{-2}St)$.

4.8.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Como primer paso tenemos la preparación de la muestra, para lo cual deberemos calentar un mínimo de 20 ml de dicha muestra obtenida.
- ✓ Tomamos la muestra, la colocamos en un recipiente adecuado para llevarla al horno en donde la calentaremos hasta alcanzar una temperatura de $135 \pm 5,5^{\circ}C$, esto es para que nuestra muestra adquiera la fluidez necesaria para poder ser vertida con mucha facilidad dentro del viscosímetro.
- ✓ Se debe tener muy en cuenta que por ningún concepto el calentamiento de la muestra podrá exceder los treinta minutos.

- ✓ La muestra tendrá que estarse agitando ocasionalmente, ya que debemos evitar los sobrecalentamientos locales, como también para que ayude de alguna forma a la transferencia de calor, asegurar la uniformidad de la misma, y sobre todo tener cuidado de evitar el entrapo de aire.
- ✓ Para operar el viscosímetro el técnico a cargo procederá según los detalles específicos para un tipo de viscosímetro previamente escogido.
- ✓ De forma simultánea se deberá mantener un baño maría a una temperatura específica, cuya tolerancia estará en un rango de $\pm 0,06$ °C.
- ✓ En caso de que haya correcciones de temperatura será estrictamente necesario hacerlas a todas y cada una de las lecturas, de los termómetros.
- ✓ Escogemos un viscosímetro el cual deberemos limpiarlo y secarlo perfectamente, mismo que nos emitirá características de tiempo de flujo mayor a 60 segundos.
- ✓ Paso seguido procederemos a calentar el viscosímetro, hasta alcanzar la temperatura de ensayo.
- ✓ Una vez que este calentado nuestro viscosímetro, procederemos a cargarlo, para lo cual deberemos tomar al pie de la letra las especificaciones que vendrán denotadas en el diseño del equipo a usarse.
- ✓ Ya cargado el viscosímetro lo dejaremos reposar para que así se regulé la temperatura de ensayo por un tiempo requerido.
- ✓ Se da inicio al flujo del cemento asfáltico en el viscosímetro.
- ✓ Medimos el tiempo requerido en el cual el borde guía del menisco pase por la primera marca de tiempo hasta la segunda, esto se lo realizara con una tolerancia de 0,1 segundos.

- ✓ Si el tiempo de flujo requerido es menor a 60 segundos, inmediatamente se deberá cambiar por un viscosímetro con un diámetro capilar más pequeño, y se repite el proceso.
- ✓ Ya con el nuevo diámetro capilar se debe determinar el tiempo de flujo en segundos.
- ✓ Cuando se haya culminado el ensayo se procede a limpiar completamente el viscosímetro, para lo cual es necesario la utilización de un solvente apropiado completamente miscible con la muestra.

4.8.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 109. Equipo utilizado en el ensayo de viscosidad cinemática del cemento asfáltico.




GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Viscosímetro	Viscosímetro adecuado para ensayo de cemento asfáltico.
	Termómetro	Se utiliza un termómetro calibrado de vidrio con una precisión de 0,02°C (0,04°F). Los termómetros para la viscosidad cinemática son: termómetros ASTM para viscosidad cinemática 110C y 110F son adecuados para emplearlos a 135°C (275°F). Los termómetros están normalizados para una inmersión total, es necesario que los termómetros de líquido en vidrio sean periódicamente recalibrados usando las técnicas dadas en el método ASTM E-77.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Cronómetro	<p>Es un reloj de detención de tiempo activado con resorte, con una precisión de 0,05% cuando se ensaya a intervalos no menores de 15 minutos, graduado en divisiones de 0,1 segundo o menos.</p>

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.8.7 CÁLCULOS.

Viscosidad cinemática del cemento asfáltico se procederá de la siguiente forma:

En primer lugar, se deberá calcular con un mínimo de tres cifras significativas

Aplicar la ecuación:

$$\text{Viscosidad Cinemática en (cSt)} = C * t$$

Ecuación 48. Viscosidad cinemática del cemento asfáltico

Donde:

C= es la constante de calibración del viscosímetro. En centistoke/segundo.

T= es el tiempo del flujo en segundos.

El ensayo de la viscosidad cinemática para el cemento asfaltico será aceptado si cumple con los siguientes rangos.

Tabla 110. Condiciones para aceptar el ensayo de la viscosidad cinemática para el cemento asfáltico.

Material y tipo de índice	Coefficiente de variación (% de la media) (1)	Diferencia aceptable entre dos resultados del ensayo (% de la media) (1)
Precisión de un operario solo Cemento Asfáltico a 135°C (275°F)	0.64	1.8
Precisión en varios laboratorios Asfalto sólido a 135°C (275°F)	3.1	8.8

Fuente: INVIAS E - 715.

4.8.8 *NORMATIVA*

INV. E- 715

ASTM D 2170 ASTM D 3381

AASHTO T 201

4.8.9 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 13*

TÍTULO: Viscosidad cinemática del cemento asfáltico.

OBJETIVO: Determinar la viscosidad cinemática del cemento asfáltico a una temperatura definida.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

Tabla 111. Datos previos para el ensayo de viscosidad cinemática del cemento asfáltico.

Parámetros	Valores
Cantidad de cemento asfáltico (gr)	7
Tiempo de ejecución del ensayo (min)	15

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

b) Viscosidad cinemática.

Tabla 112. Viscosidad cinemática.

CALCULO DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA				
MUESTRA	TEMPERATURA °C	TORQUE (%)	VELOCIDAD (rpm)	Viscosidad Cinemática (cSt) (mm ² /s)
1	135°	28,1	3	313,3
2	135°	28,1	3	313,6
PROMEDIO	135°	28,1	3	313,45

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

c) Tabla de resultados.

Tabla 113. Viscosidad cinemática promedio.

Viscosidad Cinemática	313,45	cSt
-----------------------	--------	-----

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde al resultado obtenido en laboratorio es de 313,45 ensayado a una temperatura de 135 °C el mismo que cumple la especificación ASTM D 3381.

El torque necesario para la ejecución del ensayo vendrá descrito en el equipo, y el técnico será el encargado de afinar el equipo con las condiciones requeridas.

La velocidad es un dato que permanecerá constante en el ensayo para la determinación de la viscosidad cinemática.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la viscosidad cinemática del cemento asfáltico, el mismo que cumple con el rango propuesto por las especificaciones ASTM D 3381, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIONES:

Es importante tener en cuenta el tiempo de ejecución del ensayo, ya que es el que permitirá que el cemento asfáltico llegue a las propiedades óptimas para su ejecución.

Se deberá cumplir con los requerimientos explícitos del equipo para su correcto funcionamiento al momento de la ejecución del ensayo.

4.8.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La clasificación basada en la viscosidad del asfalto es un sistema de clasificación de mayor aplicabilidad en los Estados Unidos, donde al realizar diferentes pruebas se dan una nomenclatura para cada comportamiento de asfalto, este puede ir de un AC-2,5 el cual es un asfalto blando a un AC-40 asfalto duro, en el Ecuador tenemos el asfalto AC-20 que representa un asfalto con una viscosidad de 2000 poises.

Tabla 114. Requisitos para la clasificación del asfalto en base a la especificación ASTM D 338.

ENSAYO	Norma de ensayos ASTM	Clasificación por viscosidad (Basado en los grados del asfalto original)									
		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30		AC-40	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Viscosidad Absoluta (Poise)	D 2171	400	600	800	1200	1600	2400	2400	3600	3200	4800
Viscosidad Cinemática (cSt)	D 2170	175	-	250	-	300	-	350	-	400	-
Penetración (0,1 mm)	D 5	140	-	80	-	60	-	50	-	40	-
Flash Point (° C)	D 92	177	-	219	-	232	-	232	-	232	-
Solubilidad (%)	D 2042	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
Ensayo en residuo de asfalto después de ensayo de película delgada ASTM D 1754											
Viscosidad Absoluta (Poise)	D 2171	177	-	219	-	232	-	232	-	232	-
Ductilidad	D 113	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-

Fuente: Cement, B. A. Comply with AASHTO M-226/ASTM D 3381. AC-20, AR-80, viscosity grade.

4.9 PUNTO DE INFLAMACIÓN Y LLAMA DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

ENSAYO N. ° 14

4.9.1 INTRODUCCIÓN.

Es bien sabido que en la construcción de una vía para la cual se ha utilizado material bituminoso por lo general estarán presentes materiales altamente inflamables, gracias a su composición química, es por esa razón que deberán tanto el diseñador como el constructor

conocer muy bien la temperatura a la cual pueden llegar a prenderse fuego dichos materiales bituminosos.

4.9.2 OBJETIVO

Determinar cuál es la máxima temperatura de exposición del cemento asfáltico antes de que produzca fuego.

4.9.3 ALCANCE

En la construcción de una determinada vía que utiliza material bituminoso, tanto el diseñador como el constructor tienen claro que los materiales a utilizarse son altamente inflamables gracias a su composición química, por tal razón se debe conocer la temperatura a la que se prendera fuego el material bituminoso a ocupar.

4.9.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Denominaremos punto de inflamación o llama del cemento asfáltico a un conjunto de condiciones físicas de presión y temperatura de un material altamente combustible, necesarias para que empiece el material a arder manteniendo la llama sin calor exterior añadido.

4.9.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Para este ensayo en particular se ocupó un equipo manual.
- ✓ Para empezar el ensayo deberemos colocar el aparato de copa abierta de Cleveland en una mesa firme, nivelada, y en un lugar libre de corrientes de aire.
- ✓ Empezaremos por llenar la copa con el cemento asfáltico, la cual deberá estar con una temperatura que no exceda los 56°C por encima del punto de ignición que esperamos.

- ✓ La muestra deberá ser llenada hasta la marca de llenado que se encuentra demarcada en la parte superior del mecanismo.
- ✓ Se deberá eliminar todas las burbujas de aire presentes en la superficie de la muestra con un objeto puntiagudo y de fácil limpieza.
- ✓ Seguidamente de que la muestra este calentándose, se procede a prender la llama de ensayo ajustándola a un diámetro entre (3,8 – 5,4) mm.
- ✓ A la cantidad de calor inicial deberemos incrementar su temperatura de (14 – 17) °C por minuto, esto será hasta el momento en el cual nuestra temperatura llegue a los 56°C por debajo del punto de ignición esperado.
- ✓ Una vez conseguidos los 56 °C se procederá a disminuir la temperatura de tal forma que en los últimos 28°C antes de llegar a nuestro punto de ignición deberemos incrementar la temperatura en un rango de (5 – 6) °C por minuto.
- ✓ Cuando ya hemos llegado a los 28 °C bajo el punto de ignición, deberemos empezar a aplicar la llama de ensayo, intercalando una vez por cada 2°C de incremento.
- ✓ Deberemos pasar a través del centro de la copa la llama de ensayo con un movimiento suave pero continuo, puede ser en línea recta o a su vez a lo largo del arco de una circunferencia de $150 \pm 0,1$ mm de radio.
- ✓ El centro de la llama de prueba deberá moverse en un plano horizontal a una altura no mayo a 2,5 mm del borde superior de la copa efectuando un barrido de ida y vuelta con un tiempo alrededor de $1 \pm 0,1$ segundos
- ✓ Ya conseguidos los últimos 28 °C de incremento de temperatura antes del punto de ignición se debe evitar a toda costa la perturbación de los vapores de la copa de ensayo ya sea por movimientos repentinos o por respirar muy cerca de la copa de ensayo.

- ✓ Registraremos el punto de ignición observado, la lectura de la temperatura, y el tiempo del ensayo en el cual se distingue la llama producida por la ignición al interior de la copa de ensayo.
- ✓ Hay que tener en cuenta que para la validez de la ignición la muestra deberá mantener una larga flama que aparece instantáneamente, pero se propaga por toda la superficie del espécimen. Se aclara esto ya que la aplicación de la llama causa una aureola azulada o una flama abundante antes del verdadero punto de ignición a tomar en cuenta.
- ✓ En ocasiones el punto de ignición puede aparecer en la primera aplicación de la llama, en este caso el ensayo no tendrá validez se descartarán los resultados y se deberá tomar una nueva muestra fresca para repetir el ensayo. En este caso la primera aplicación de la llama sobre la nueva muestra deberá ser a una temperatura menor a los 28°C de la que se detectó en el punto de ignición de la primera aplicación.
- ✓ Conseguido el punto de ignición, se sigue calentando el espécimen, con incrementos de temperatura de (5 a 6) °C por minuto, aplicando la llama a intervalos de 2°C, hasta que el espécimen se encienda y notando que las sustancias permanezcan quemándose por lo menos durante 5 segundos. Este se denomina punto de llama una vez conseguido se deberá registrar la temperatura de ensayo del espécimen cuando la flama que causa la ignición es aplicada.
- ✓ Mantendremos ardiendo el espécimen por segundos para observar el punto de llama.
- ✓ Si se ensayan materiales en los que se desconoce la temperatura esperada del punto de ignición, se deberá llevar el material de la copa a una temperatura no mayor a los 50°C.

- ✓ En otro caso si el material lo requiere deberá ser calentado antes de verterlo en la copa y posteriormente se deberá llevar a la temperatura de 50°C.
- ✓ Finalmente se realiza corrección de la lectura si la presión barométrica es inferior a 760 mm de Hg se corrige el punto de inflamación y combustión por medio de las siguientes ecuaciones planteadas:

Cuando la temperatura es medida en °F.

$$F + 0.06 (760 - P)$$

Cuando la temperatura es medida en °C.

$$C + 0.03 (760 - P)$$

4.9.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 115. Equipo utilizado en el ensayo de punto de inflamación y llama del cemento asfáltico.


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Aparato de copa abierta Cleveland	Es un aparato que consta de: una copa de ensayo (fabricada de latón o bronce), placa de calentamiento, aplicador de la llama, calentador y soportes. Este equipo es de operación manual.
	Copa de ensayo	Fabricado en bronce



GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Placa de calentamiento	<p>Está constituida por dos platinas: la una puede ser metálica, de bronce, de acero o de hierro dulce, y la otra de asbesto duro. La platina metálica o de bronce deberá tener un orificio en el centro y contar con un área de depresión plana a manera de escalón alrededor del orificio, para que se apoye la copa. Por otra parte, la platina de asbesto contará también con un orificio en el centro con un diámetro mayor, para que no cubra el escalón de la platina metálica.</p>
	Aplicador de la llama de ensayo	<p>La boquilla deberá tener un diámetro en el extremo de $1,6 \pm 0,05$ (mm) ($1/16''$) y el orificio tendrá un diámetro aproximado de $0,8 \pm 0,05$ (mm) ($1/32''$). Se lo debe ensamblar de tal forma que permita la repetición automática del barrido de la llama de ensayo sobre la muestra, será de cualquier diseño adecuado.</p>
	Calentador.	<p>En este caso el calentador puede ser: un quemador a gas, una lámpara de alcohol, el calentador deberá ser controlado por un transformador de voltaje variable preferiblemente.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Termómetro	Debe ser un termómetro capaz de mantener un rango de temperatura de -6 a +400°C (20 a 760°F).
	Mordaza de nivel de llenado	Fabricado con un metal adecuado de sección más pequeña, este dispositivo proporcionara un ajuste de la muestra en el nivel marcado en la copa.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

4.9.7 NORMATIVA

INV. E- 709

ASTM D 92

AASHTO T 48

4.9.8 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 14

TÍTULO: Punto de inflamación y llama del cemento asfáltico.

OBJETIVO: Determinar cuál es la máxima temperatura de exposición del cemento asfáltico antes de que produzca fuego.

CÁLCULOS:

a) **Datos previos.**

✓ Lectura del ensayo normalizado.

Tabla 116. Lecturas del ensayo.

Parámetros	Valores
Punto de Inflamación (°C)	232
Punto de Combustión (°C)	242
Presión barométrica (mm Hg)	690

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Lecturas corregidas.**

Nota:

Si la presión barométrica difiere de 760 mm de mercurio se corrige el punto de combustión o de inflamación o ambos por medio de las siguientes ecuaciones planteadas:

$$F + 0.06 (760 - P)$$

$$C + 0.03 (760 - P)$$

Donde:

F: Temperatura medida en °F.

C: Temperatura medida en °C.

P: Presión barométrica en mmHg.

✓ **Tabla de resultados.**

Tabla 117. Valores corregidos de inflamación y combustión.

TABLA DE DATOS CORREGIDOS	
Punto de Inflamación (° C)	234,1
Punto de Combustión (° C)	244,1

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde a los resultados obtenidos tanto para el punto de inflamación de 234.1 °C y punto de combustión de 244.1 °C se determina que el valor cumple la especificación MOP-001- F 2002.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la máxima temperatura de exposición del cemento asfáltico antes de que produzca fuego, el mismo que cumple con el rango propuesto por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIONES.

Es importante tener precaución al momento de ejecutar el ensayo puesto que puede generar lesiones locales producidas por el punto de combustión del asfalto.

4.9.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Acorde las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., donde existe una clasificación acorde al grado de penetración, establece los siguientes criterios para ser aceptado.

Tabla 118. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002.

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Penetración (25°C, .100 gr, 5s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, copa Cleveland, °C.	232	---	232	---

ENSAYOS	60 – 70		85 – 100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Densidad relativa, 25°C/25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**).	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %	---	2,2	---	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm.	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001F-2002, página VIII-68, Tabla 810.2.1

La determinación del punto de inflamación es importante para tomar precauciones pertinentes durante la manipulación y la colocación en obra evitando el incendio, el valor obtenido en el ensayo se compara con las especificaciones vigentes entre el máximo y mínimo para aprobar dicho material dentro de la mezcla asfáltica.

4.10 MEZCLA EN FRIO

4.10.1 INTRODUCCIÓN.

El diseño de mezclas en frío por estar constituidas por emulsiones asfálticas con fases continuas y discontinuas, será indispensable conocer su comportamiento en transcurso del tiempo, por tal razón los ensayos tienden a medir la calidad de la emulsión mediante su composición (carga de partícula y destilación), su estabilidad y su consistencia (viscosidad).

Para el diseño de la mezcla fría emulsificada de asfalto agregado se va a utilizar el método Marshall modificado. El método está basado en una serie de investigaciones que estuvieron dirigidas por la Universidad de Illinois, el cual usa unas modificaciones del método Marshall convencional de diseño de mezclas, así como también el ensayo de durabilidad a la humedad.

Dicho método con su procedimiento recomendado es aplicable para una capa de rodadura de un tráfico liviano con contenido de emulsión asfáltica y cuyo agregado mineral sea de grado denso con un tamaño menor o igual a 25mm (1”). Siendo aplicable el método para mezclas en carretera o en planta en temperatura ambiente.

Es de vital importancia describir que el contenido óptimo de agua en la compactación es indispensable puesto que las propiedades en la mezcla estarán relacionadas íntimamente con la densidad de las briquetas ensayadas, por lo que el agua de pre envuelta es la que marcara la compactación dándonos las propiedades deseadas en la misma.

El proceso de pre envuelta para alcanzar el contenido óptimo de agua deberá ser realizado para cada combinación de (emulsión - agregado considerado) para cada uno de los proyectos que se considere realizar.

Para el procedimiento de diseño de la mezcla fría con emulsión utilizaremos briquetas estándares Marshall, las mismas que aportaran para evaluar todas las propiedades de la mezcla compactada, por tal razón se triplican las briquetas para cada uno de los porcentajes de emulsión lo cual nos brindara resultados confiables.

Dándonos así una culminación del ensayo determinando el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica.

4.10.2 OBJETIVO.

Determinar el diseño de una mezcla en frio con emulsión asfáltica.

4.10.3 ALCANCE

Son mezclas asfálticas o aglomerados formados por una combinación de agregados pétreos calificados y un ligante hidrocarbonado de tal manera que forman una película continua, pueden ser fabricados en centrales fijas o móviles. Utilizadas para construcción

de pavimentos livianos de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, bacheo de vías, así como también para capas inferiores de los firmes para tráficos intensos (pesados).

Aplicando el método Marshall modificado para dosificar una mezcla en frío de agregados pétreos y emulsión asfáltica cuyo fin es encontrar la proporción adecuada y el porcentaje óptimo real de emulsión para de esta manera asegurar que estén presentes las siguientes características:

Poseer suficiente estabilidad que satisfaga las exigencias del tránsito sin sufrir distorsiones o desplazamientos.

Un recubrimiento completo de las partículas del agregado pétreo ligándolas entre sí, como también impermeabilizándolas mediante una compactación adecuada.

Una cantidad de vacíos con aire adecuada presente en la mezcla compactada que impida pérdidas de estabilidad producto de compactaciones adicionales por las cargas del tránsito, así como también un aumento del volumen de asfalto por las altas temperaturas.

Permitir una eficiente colocación de la mezcla, gracias a una buena trabajabilidad sin que se produzca segregación del material.

4.10.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Una mezcla en frío por lo general se prepara con emulsiones sin solvente (superestables) e incorporando un agregado graduado y calificado partido en planta o in situ. Siendo las emulsiones asfálticas una solución lógica y natural para poner en obra los cementos asfálticos a una temperatura ambiente sin tener esa incertidumbre por los problemas producidos ya sea por una mala adhesividad con los áridos, o también por la presencia de humedad.

Una mezcla asfáltica en frío tiene como naturaleza su fabricación con emulsiones asfálticas, teniendo una serie de características muy propias de su mezcla siendo algunas de estas las siguientes:

Pueden obtener una excelente trabajabilidad tras su fabricación que puede durar inclusive semanas, debido a que su ligante permanecerá con una viscosidad baja por un largo periodo de tiempo gracias a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado.

En los acopios el aumento de la viscosidad es relativamente lento, haciendo que su almacenamiento sea viable, pero sin duda cabe aclarar que una vez que sea puesto en obra ya en una capa reducida de espesor su endurecimiento será rápido relativamente por la evaporación del fluidificante.

4.10.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Para la determinación de una mezcla en frío con emulsión nos basamos en el método Marshall modificado para diseños en laboratorio, el cual nos brinda una dosificación de agregados pétreos y emulsión asfáltica.
- ✓ El método Marshall modificado cumple con el mismo procedimiento para la fabricación de briquetas y rotura de briquetas que el método Marshall convencional presentes en este manual en el diseño de (mezcla asfáltica en caliente) así como en los ensayos N. °5 y N.° 6.
- ✓ Por ser la mezcla con un ligante, en nuestro caso emulsión asfáltica deberemos detallar las variaciones que presentara en la preparación de la muestra.
- ✓ En primera instancia se debe determinar el porcentaje de agua de pre-envuelta para el porcentaje óptimo teórico de la emulsión.

- ✓ Cuando ya la mezcla se encuentre con la humedad inicial seguidamente se coloca el porcentaje de emulsión mezclándolo uniformemente hasta homogenizar la mezcla.
- ✓ Una vez homogénea la mezcla la trasladamos al molde colocado en la base de compactación, en la cual aplicaremos 50 golpes por cara según la especificación para mezcla en frío. Esto lo haremos para tres briquetas por 5 porcentajes de emulsión.
- ✓ Una vez conseguidas las 15 briquetas las dejaremos reposar en los moldes por un periodo de 24 horas.
- ✓ Cumplido el tiempo procedemos a sacar las muestras mediante el extractor de muestras (gato hidráulico) y las colocamos con sumo cuidado en el horno a una temperatura constante de 41°C por un lapso de tiempo de 72 horas. Hasta que se encuentre dispuesta para su ensayo.
- ✓ Una vez cumplido el siguiente periodo procedemos a retirar del horno las muestras para posteriormente poder determinar el peso seco al aire, el peso saturado con superficie seca, el peso sumergido y su espesor.
- ✓ Una vez cumplido el proceso de determinación de pesos se procede a realizar el ensayo de rotura Marshall, para el cual se deberá tener las briquetas a una temperatura de rotura de 22.2°C.
- ✓ Mediante el método Marshall con comparación de todas sus graficas determinamos el porcentaje óptimo de emulsión para nuestro diseño.
- ✓ Conseguido el porcentaje óptimo de emulsión se realiza el ensayo de perdida de estabilidad por inmersión.

4.11 CALIDAD DEL AGREGADO TIPO B (MEZCLA EN FRIO). ENSAYO N. °

15

4.11.1 INTRODUCCIÓN.

Seleccionar la granulometría y el tipo de un agregado pétreo que tenga la calidad suficiente para poder satisfacer una serie de requerimientos específicos para sustentar un buen diseño de una mezcla asfáltica en frío se ha convertido en una de las tareas arduas por los diseñadores de pavimentos, y es por tal razón que se ha puesto en práctica una serie de ensayos que califiquen la calidad del agregado tipo B.

Siendo uno de ellos el de abrasión mediante la máquina de los ángeles para determinar el desgaste de los agregados, en nuestro caso para el agregado tipo B.

4.11.2 OBJETIVO.

Determinar la Calidad del agregado tipo B mediante la resistencia al desgaste empleando la máquina de los Ángeles con una carga Abrasiva, para la elaboración de la mezcla asfáltica en frío.

4.11.3 ALCANCE.

El presente ensayo tiene como finalidad determinar el desgaste de los agregados tipo B, determinando su resistencia, y por consiguiente brindando un control de calidad de dichos agregados que serán utilizados posteriormente para el diseño de pavimentos en mezcla en frío para una construcción vial.

4.11.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Los agregados tipo B son aquellos cuyas partículas que forman el agregado grueso serán obtenidas por trituración en no menos del 50%, y según la disponibilidad de material en la zona que se ejecute el proyecto el agregado fino y el relleno mineral podrán ser de

depósitos naturales o triturados, en cuyas características predomine la resistencia al desgaste.

4.11.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ La determinación de la carga abrasiva tiene relación directa a la granulometría del ensayo determinando el tipo sea A, B, C o D, que se describe en el manual de ensayo de materiales.

Tabla 119. Determinación de la carga abrasiva.

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso Total g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	25005

Fuente: ASTM, C. 131-89, ". Método de prueba para la resistencia a la degradación del tamaño pequeño grueso.

- ✓ Procedemos a fraccionar la muestra por cada tamaño, la limpiamos por lavado y secado a una temperatura constante de (105 y 110) °C en horno.
- ✓ Recombinamos la muestra mediante una de las granulometrías seguidamente indicadas, teniendo en cuenta que nuestra granulometría será representativa con el agregado tal cual se usará en obra.
- ✓ Procedemos a pesar nuestra muestra para ensayo con la granulometría escogida y con una tolerancia de 1g.
- ✓ Seguidamente ejecutaremos el ensayo, colocando nuestra muestra y la determinada carga abrasiva en la máquina de los Ángeles.

- ✓ Aseguramos la máquina, la ponemos en funcionamiento, comenzara a girar el cilindro con una velocidad comprendida entre (30 y 33) r.p.m. (188 y 208 rad/min) con un numero de 500 vueltas en total.
- ✓ Es importante que la maquina gire de una manera uniforme, con lo cual se consigue una velocidad periférica constante.
- ✓ Ya cumplido el ciclo de vueltas procedemos a descargar el material del cilindro
- ✓ A continuación, separamos la muestra ensayada mediante un tamiz con un grosor mayor al de 1.70 mm (# 12).
- ✓ El material que pase este tamiz se lo denomina fino y lo procedemos a pasar por el tamiz de 1.70 mm (# 12)
- ✓ El material retenido lo denominaremos grueso, lo procedemos a lavar y secar a una temperatura de (105 y 110) °C en horno hasta conseguir un peso constante.
- ✓ Una vez determinado que su peso sea constante lo pesamos con una tolerancia de 1g.
- ✓ Determinamos el coeficiente de desgaste de los Ángeles, siendo el resultado del ensayo en porcentaje de la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra que ensayamos.

4.11.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 120. Equipo utilizado en el ensayo de calidad del agregado.


GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Balanza	Será una balanza adecuada que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Horno	Un horno capaz mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
	Tamiz	Tamiz cribado de bronce para tamizar el material de 1,70 (mm) (No.12).
	Carga abrasiva	Son esferas de acero con un diámetro entre 46,38 (mm) ($1\frac{13}{16}$ ") y de 47,63 (mm) ($1\frac{7}{8}$ ") y un peso comprendido entre 390 y 445 (g).
	Máquina de los ángeles	Consiste en un cilindro hueco de acero, longitud interior de 508 ± 5 (mm) ($20 \pm 0,2$ ") y con un diámetro interior de 711 ± 5 (mm) ($28 \pm 0,2$ "). Este cilindro lleva cerrados sus extremos y un eje en el centro de cada extremo el cual no penetra en su interior, cuya finalidad es que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje, adicional a eso constará de una abertura para ingresar la muestra a ensayar, y un entrepaño cuya función será ayudar a rotar la mezcla y la carga abrasiva. La abertura estará cerrada por medio de pernos y contará con un empaque que impida la salida del polvo.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

4.11.7 CÁLCULOS.

✓ PORCENTAJE DE DESGASTE (%DESGASTE).

$$\% \text{ Desgaste} = 100(P1 - P2) / P1$$

Ecuación 49. Calidad del agregado.

Donde:

P1= Es el peso de la muestra seca antes de ser ensayada.

P2= Es el peso de la muestra seca después del ensayo retenida en la malla # 12.

Es importante tener en cuenta que en agregados con tamaño máximo nominal de 12 mm (3/4") cuyos porcentajes de pérdida estén entre (10 y 45) % su coeficiente de variación es de 4,5% en resultados obtenidos por varios laboratorios.

4.11.8 NORMATIVA

INV. E- 218

ASTM C 131

AASHTO T 96

NTE INEN 860

NTE INEN 861

4.11.9 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 15

TÍTULO: Calidad del agregado tipo B (Mezcla en Frio)

OBJETIVO: Determinar la calidad del agregado tipo B mediante la resistencia al desgaste empleando la máquina de los ángeles con una carga abrasiva, para la elaboración de la mezcla asfáltica en frío.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

Tabla 121. Datos previos al ensayo de calidad del agregado.

Parámetros	Valoración
Tipo de gradación:	B
Número de esferas:	11

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

b) Lectura del ensayo normalizado.

Tabla 122. Lecturas del ensayo.

Parámetros	Valor
Masa inicial de la muestra (gr) A.	5000
Masa retenida en el tamiz N° 12 después de 500 revoluciones (gr) B.	3720
Masa que pasa el tamiz N° 12 (gr) C.	1280
Porcentaje de desgaste (%) D.	25,6

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Donde:

$$C = A - B \text{ (Masa que pasa el tamiz N° 12)}$$

$$D = \frac{C}{A} \times 100 \text{ (Porcentaje de desgaste)}$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde al resultado obtenido porcentaje de desgaste 25.6 % se determinar que el valor cumple la especificación MOP-001- F 2002 para el control de calidad de los materiales a utilizarse en la mezcla asfáltica.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se la calidad del agregado tipo B mediante la resistencia al desgaste, el mismo que cumple con el rango propuesto por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002, por lo que se concluye que el material es aceptable para trabajar en la mezcla asfáltica.

4.11.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El ensayo de desgaste por medio de la máquina de los ángeles mide la resistencia a la degradación del árido además es un indicativo de calidad relativa del agregado. En ensayo se realiza en base a la granulometría de este depende el número de esferas, así como la cantidad de material a emplear en el ensayo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 123. Peso del agregado y numero de esferas.

Método		A	B	C	D
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz	Cantidad de material a emplear (gr)			
1 1/2 "	1 "	1250 ± 25			
1 "	3/4 "	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
Peso Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
N ° de esferas		12	11	8	6
N ° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (min)		15	15	15	15

Fuente: ASTM, C. 131 Método de prueba de resistencia a la degradación de los agregados gruesos de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Annual book ASTM Standards USA .

De acuerdo con las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002 presenta los siguientes parámetros.

Los ensayos y requisitos para controlar una subbase por medio del ensayo de Abrasión serán menor o igual al 50% en base menor o igual al 40% y del control de calidad de los materiales a utilizare en la mezcla asfáltica será menor o igual al 40%.

4.12 CALIDAD DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA. (MEZCLA EN FRIO).

ENSAYO N. ° 16

4.12.1 INTRODUCCIÓN.

Una emulsión asfáltica la denominaremos a la dispersión de un líquido o un sólido (fase dispersa), las propiedades de dicha emulsión asfáltica en gran medida dependerán del emulsificante a utilizar cuyo fin es modificar la tensión superficial en la interface entre las partículas de asfalto y de agua, es por eso que mantiene los glóbulos de asfalto estables en suspensión y por otra parte controla el tiempo de rompimiento de la mezcla.

Cuando las fases permanecen en equilibrio es decir que las partículas en suspensión no se aglomeran ni se sedimentan diremos que la emulsión es estable.

Por tal razón la variación de contenido de asfalto para emulsiones bituminosas esta entre el 50 y 65 % del peso total.

4.12.2 OBJETIVO.

Determinar la calidad de la emulsión asfáltica, mediante las normas especificadas en el país.

4.12.3 ALCANCE.

Sin duda alguna para determinar la calidad de cualquiera de los tipos de emulsiones y asfaltos se debe llegar a realizar una serie de ensayos de laboratorio que hoy en día se han convertido en parte esencial para calificar su calidad.

4.12.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Se deberá estudiar a la emulsión tanto sus propiedades químicas, como también a sus propiedades físico-mecánicas ya que no siempre las emulsiones alcanzan un estado de equilibrio determinado en un corto tiempo, debida a esto las emulsiones frecuentemente experimentan algunas alteraciones con el tiempo.

Es por estas circunstancias que no podemos generalizar tomándole como ley rigurosa para una mezcla dicha emulsión, sino que se la debe considerar dependiendo a la relación de la clase de producto que se tratara.

4.12.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Para determinar la calidad de la emulsión asfáltica se procede a realizar los siguientes ensayos que determinan sus características y propiedades.
- ✓ ENSAYO DE LA CARGA DE LA PARTÍCULA: para poder identificar si nuestra emulsión es catiónica o aniónica es decir su naturaleza.
- ✓ Incluido en este se puede adicionar un criterio muy útil que es en base al tiempo de descarga el cual permitirá tener una idea del tipo de emulsión comparado en la siguiente tabla.

Tabla 124. Tiempo de descarga.

Tiempo en (min)	Tipo de emulsión
0 a 10	Rápida
15 a 35	Media
30 a 60	Lenta
Más de 60	Súper estables

Fuente: Norma ASTM D 244-09

- ✓ **GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25°C:** La gravedad específica del material es la relación de su peso a una temperatura determinada en este caso a 25°C. norma ASTM D 244-0
- ✓ **RETENIDO EN LA MALLA #20.** El cual detecta el porcentaje del cemento asfáltico que está presente en la emulsión de una manera cuantitativa de una forma de glóbulos grandes o astillas, este es muy importante determinar ya que la presencia de estas astillas puede taponar el equipo de distribución de la emulsión en obra. ASTM D 244-38
- ✓ **ENSAYO DE VISCOSIDAD:** para determinar el estado de fluidez de la emulsión, mismo ensayo que está presente en este manual (ensayo N.º 13) así como también en la norma. ASTM D 244-22
- ✓ **ENSAYO DE PENETRACIÓN:** Para medir la consistencia de la emulsión asfáltica a una temperatura uniforme de 25°C. presente en este manual (ensayo N.º 10), así como también en la norma ASTM D 15-09.

- ✓ ENSAYO DE DUCTILIDAD: Para medir la propiedad que tiene la emulsión para mantenerse coherente bajo deformaciones grandes producidas por el tránsito. Presente en este manual (ensayo N.º 9), así como también en la norma ASTM D 113-09.
- ✓ La calidad de la emulsión será catalogada mediante todos estos ensayos para usarla en nuestra mezcla en frío.
- ✓ En la actualidad se puede conseguir una emulsión calificada gracias a los diferentes proveedores existentes en el mercado que brindan este servicio
- ✓ Por lo que será necesario pedir las especificaciones técnicas a el proveedor del cual se va a adquirir la emulsión y notar que estén catalogados los ensayos descritos aquí, que cumpla los rangos y será más que suficiente.
- ✓ Mediante la tabla 810 -4.2. de la norma MOP calificaremos a nuestra emulsión que deberá cumplir los requisitos de una emulsión asfáltica catiónica.

4.12.6 EQUIPO UTILIZADO

NO APLICA.

4.12.7 NORMATIVA

LIBRO MOP – 001F

AASHTO M 208

4.12.8 EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 16

TÍTULO: Calidad de la emulsión asfáltica. (Mezcla en Frío)

OBJETIVO: Determinar la calidad de la emulsión asfáltica, mediante las normas especificadas en el país.

CÁLCULOS:

a) **Datos previos.**

✓ **Clasificación de la emulsión en función de su nomenclatura.**

Emulsión empleada: CSS – 1h

Donde:

C: Emulsión Catiónica.

S: Ruptura Lenta.

1: De baja viscosidad 57 % de asfalto.

h: Asfalto duro.

✓ **Requisitos para la calidad de la emulsión catiónica CSS-1h:**

Tabla 125. Requisitos para la calidad de la emulsión catiónica (ejercicio práctico).

PROPIEDAD	ROTURA RÁPIDA			ROTURA MEDIA				ROTURA LENTA				
	CRS – 1		CRS – 2	CMS – 2		CMS – 2h		CSS – 1		CSS – 1h		
	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
viscosidad												
Furol, a 25 gc, s.	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
Furol, a 50 gc, s.	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-
Estabilidad al almacenaje 24h, %	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsificación: 35ml. 8% sds, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cubrimiento												
Agregado seco.	-	-	-	-	bueno		bueno		-	-	-	-
Luego rociado.	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
Agregado húmedo.	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
Luego rociado.	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
carga de partícula	+		+		+		+		+		+	
mezcla con cemento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
Ens. del tamiz	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1
destilación: aceite destilado %	-	3	-	3	-	12	-	12				
residuo, %	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-

Ensayos en el residuo:												
Penetración, a 25grados, 100 gr, 5s.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductilidad, a 25grados, 5 cm/m, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
PROPIEDAD	ROTURA RÁPIDA		CRS -2	ROTURA MEDIA				ROTURA LENTA				
	CRS - 1			CMS - 2		CMS - 2h		CSS - 1		CSS - 1h		
	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Solubilidad en tricloroetileno %.	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-
Temperatura de empleo:												
Almacenamiento	50	85	50	85	50	85	50	85	10	60	10	60
Mezcla en planta	-	-	-	-	10	70	10	70	10	70	10	70
Mezcla en sitio	-	-	-	-	20	70	20	70	20	70	20	70
Tratamiento superficial	50	85	50	85	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002 Tabla 810-4-2

4.12.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los ensayos de calidad indispensables durante su fabricación son:

- ✓ Potencia de hidrógeno (pH): Como menciona la norma INV E-768, este parámetro determina el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, clasificándolo según el tipo de emulsión; Catiónica (pH<7), Aniónica (pH>7):
- ✓ Carga eléctrica de partículas: Como menciona la norma INV E-767, se realiza este ensayo para identificar la polaridad de los glóbulos del asfalto y así determinar si son positivas o negativas es decir aniónica o catiónica respectivamente.
- ✓ Contenido de agua: Como menciona la norma INV E-761, a través de este procedimiento se conoce la concentración del ligante en la emulsión asfáltica.
- ✓ Destilación: Como menciona la norma INV E-762, este ensayo permite determinar el contenido de agua y disolventes que posee la emulsión.

- ✓ Estabilidad al almacenamiento: Como menciona la norma INV E-764, a través de este ensayo es factible conocer la homogeneidad que presenta la emulsión durante su acopio durante un lapso largo de tiempo.
- ✓ Tamizado: Como menciona la norma INV E-765, este procedimiento determina si dentro de la emulsión existe grupos de asfalto coagulado el mismo que puede afectar el funcionamiento óptimo de los distribuidores de presión de los carrotanques.

Los ensayos de calidad indispensables durante su aplicación:

- ✓ Viscosidad.
- ✓ Demulsificación
- ✓ Mezcla con cemento

4.13 TIPO Y CANTIDAD APROXIMADA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

CATIÓNICA. (MEZCLA EN FRIO). ENSAYO N. ° 17

4.13.1 INTRODUCCIÓN

Una emulsión asfáltica es catiónica según su agente emulsificador, como también según los glóbulos de asfalto, los cuales presentan carga eléctrica positiva. Mismas características hacen que sea utilizada en la construcción de carreteras, así como en su mantenimiento.

Dependiendo de su naturaleza, de la granulometría de los agregados y de las condiciones ambientales la emulsión asfáltica puede ser de rotura rápida, lenta o media. Cuya denominación es RS=rotura rápida, SS=rotura lenta, Y MS=rotura media. Y cuando es emulsión asfáltica catiónica se diferenciará anteponiendo la letra C, En cambio los números o las letras (h o s) que cumplen la designación son referencia de la viscosidad del asfalto base, y de su dureza. Por ejemplo, CRS-1.

4.13.2 OBJETIVOS

Determinar el tipo y la cantidad óptima teórica de emulsión asfáltica para dar inicio al ensayo de mezcla asfáltica en frío.

4.13.3 ALCANCE

Mediante la fórmula del Instituto del Asfalto en Estados Unidos para mezcla en frío, lo que se requiere es tener una base para el inicio del ensayo Marshall modificado para mezcla asfáltica en frío, obteniendo un porcentaje óptimo teórico de ligante del cual se pueda partir.

4.13.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Una gran parte de las soluciones para poder evitar el deterioro de los pavimentos recae directamente en el diseño de la mezcla asfáltica, por lo que seleccionar el tipo y granulometría de los agregados, así como el tipo y contenido de la emulsión asfáltica catiónica con la calidad suficiente para que satisfagan los requerimientos específicos del proyecto será lo óptimo para obtener las propiedades deseadas en la mezcla.

4.13.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Para poder determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, se deben preparar una serie de briquetas con diferentes contenidos de emulsión asfáltica.
- ✓ Pero para esto debemos partir de un porcentaje óptimo teórico que nos permita tener un punto de partida.
- ✓ En primer lugar, definimos el tipo de emulsión asfáltica esto depende de la calidad de la emulsión y lo podemos conseguir mediante el ensayo N° 16 de este manual.
- ✓ Seguido a eso determinamos el porcentaje óptimo teórico de emulsión asfáltica mediante la fórmula del Instituto del Asfalto en Estados Unidos para mezcla en frío:

- ✓ %E= %Asfalto/ % Residuo en la emulsión.
- ✓ Calculamos el porcentaje de asfalto.
- ✓ Calculamos el porcentaje de residuo en la emulsión.
- ✓ Una vez obtenido el tipo y la cantidad aproximada en porcentaje de emulsión asfáltica catiónica, para los ensayos deberemos emplear por lo menos dos contenidos de emulsión por encima y dos por debajo del valor optimo con un incremento de 1.0%. lo que nos dará un total de 5 porcentajes.
- ✓ El procedimiento de la mezcla asfáltica utiliza briquetas estándares Marshall con las cuales evalúa las propiedades de la mezcla en frio compactada.
- ✓ En función de esto para poder obtener resultados confiables para determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica se debe triplicar las briquetas para cada porcentaje de emulsión descrito.

4.13.6 EQUIPO UTILIZADO

NO APLICA.

4.13.7 CÁLCULOS.

- ✓ Cálculo del **% de asfalto MEZCLA EN FRIO** (instituto del asfalto)

$$\%E = \% \text{Asfalto} / \% \text{Residuo en la emulsión.}$$

$$\% \text{Asfalto} = 0.035a + 0.045b + kc + F$$

Ecuación 50. Tipo y cantidad aproximada de emulsión asfáltica catiónica.

Donde:

a = porcentaje de material retenido en la malla #8

b = porcentaje de material retenido entre las mallas #8 - #200

c = porcentaje de material < #200

$k = 0.15$ si c se encuentra entre 11 y 15%, 0.18 si c se encuentra entre 6 y 10%,
 0.20 si c es menor a 5%

$F = 0.0$ a 2.0 según el material pétreo y su absorción, se puede tomar (0.7 que es un valor recomendado).

Este porcentaje de partida o valor óptimo teórico obtenido por ningún concepto podrá remplazar al porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica obtenido mediante lo calculado en valores de densidad, estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos cuyo proceso esta descrito en el diseño Marshall.

4.13.8 *NORMATIVA*

LIBRO MOP – 001F

AASHTO M 208

INSTITUTO DEL ASFALTO

4.13.9 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 17*

TÍTULO: Tipo y cantidad aproximada de emulsión asfáltica catiónica (Mezcla en Frio).

OBJETIVO: Determinar el tipo y cantidad óptima teórica de emulsión asfáltica para dar inicio al ensayo de mezcla asfáltica en frio.

CÁLCULOS:

a) Datos previos.

Tabla 126. Porcentaje de emulsión asfáltica.

Parámetro				Valor	
Porcentaje de material retenido en la malla N° 8				a	60
Porcentaje de material retenido en la malla N°8 – N°200				b	34
Porcentaje de material que pasa el tamiz N°200				c	4
	0.15		11% - 15%		
		Si c esta entre			
K	0.18		6% - 10%	k	0.2
	0.2	Si c es menor	5%		
Absorción del agregado, varia 0.0-0.2, valor recomendado: 0,7				F	0.7
Porcentaje de residuo en la emulsión				R	61

Fuente: Córdova & Cornejo 2019.

b) Emulsión asfáltica para incorporar.

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{\% \text{ De Asfalto}}{\% \text{ De residuo en la emulsión (R)}}$$

$$\% \text{ De Asfalto} = 0.035 a + 0.045 b + kc + F$$

$$\% \text{ Emulsión} = 7,43 \%$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base al resultado obtenido 7.436% es un valor que nos sirve como punto de partida para la fabricación de la briqueta y posteriormente calcular su valor óptimo.

CONCLUSIONES.

En base al objetivo planteado se determina la cantidad de emulsión asfáltica cuyo valor será referente como punto de partida.

4.13.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Para la mezcla en frío de granulometría cerrada se emplea la emulsión de rotura lenta esta se caracteriza por utilizar agregados en altas cantidades que pasan el tamiz N° 200.

4.14 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN (PRE ENVUELTA). (MEZCLA EN FRIO). ENSAYO N. ° 18

4.14.1 INTRODUCCIÓN.

Es muy importante el contenido óptimo de agua en la compactación puesto que las propiedades de la mezcla en frío están íntimamente relacionadas con la densidad de los especímenes ensayados (compactados) cuyo método con los procedimientos recomendados son aplicables específicamente para capas de rodadura para un tráfico liviano, pudiendo ser mezclado en carretera o en planta a una temperatura ambiente.

4.14.2 OBJETIVO.

Determinar el contenido óptimo de agua de pre-envuelta para una mezcla en frío de una emulsión asfáltica con agregado, considerado para un pavimento.

4.14.3 ALCANCE.

Determinaremos el porcentaje óptimo de agua para una mezcla en frío emulsificador de asfalto-agregado mediante tanteos, con un porcentaje inicial de agua y sus respectivos incrementos hasta conseguir una mezcla homogénea y trabajable.

4.14.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Se utiliza un método basado en investigaciones dirigidas por la Universidad de Illinois que utiliza una modificación del método Marshall de diseño de mezclas y el ensayo de durabilidad a la humedad. Es muy importante el contenido óptimo de agua en la

compactación, puesto que las propiedades de la mezcla están relacionadas íntimamente con densidades de las probetas ensayadas.


4.14.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ Determinaremos el contenido total de agua para que se garantice un recubrimiento de los agregados cuyo proceso será mediante tanteos en ensayo de pre-envuelta.
- ✓ En primer lugar, colocamos en un recipiente la cantidad de agregado para la briqueta, adicionamos el porcentaje de ligante (emulsión asfáltica) es decir el óptimo teórico calculado como se indica anteriormente en el ensayo N. °17.
- ✓ Paso seguido comenzaremos incorporando una cantidad de agua denominada H_o , con la cual notaremos que el material presente un aspecto húmedo que sea total, pero sin que tenga agua libre.
- ✓ Teniendo como primer porcentaje el de la incorporación de agua un $\%H_o$ realizamos las siguientes tentativas.
- ✓ Una tentativa incorporando un 1% a la cantidad de agua inicial H_o ($\%H_o+1\%$).
- ✓ Una tentativa incorporando un 2% a la cantidad de agua inicial H_o ($\%H_o+2\%$).
- ✓ Una tentativa disminuyendo en un 1% a la cantidad de agua inicial H_o ($\%H_o-1\%$).
- ✓ Una tentativa disminuyendo en un 2% a la cantidad de agua inicial H_o ($\%H_o-2\%$).
- ✓ Se selecciona el porcentaje con el cual se observa la mejor trabajabilidad de la mezcla, así como también represente el mejor recubrimiento.

4.14.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 127. Equipo utilizado en el ensayo de humedad de compactación.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Balanza	Una de 5 (kg) de capacidad y sensible a 1 (g) para los agregados y asfalto; otra de 2 (kg) de capacidad y sensible a 0,1 (g) para las probetas compactadas.
	Bandejas metálicas	Planas para calentar agregados y cubetas metálicas redondas con capacidad de 4 litros (1 galón) para mezcla emulsión asfáltica y agregados.
	Pipeta	Para incorporar agua a la mezcla emulsión agregados.
	Equipo misceláneo	Es el equipo como: cucharones, recipientes, espátulas, etc.

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Guantes	Preferiblemente de caucho para homogenizar la mezcla de pre envuelta, incorporando el agua.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

4.14.7 *NORMATIVA*

NO APLICA.

4.14.8 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 18*

TÍTULO: Humedad de compactación (pre envuelta). (Mezcla en frío).

OBJETIVO: Determinar el contenido óptimo de agua de pre-envuelta para una mezcla en frío de una emulsión asfáltica con agregado, considerado para un pavimento.

CÁLCULOS:

a) **Datos previos.**

Tabla 128. Determinación de la cantidad de agua

Cantidad de Agua de PRE-ENVUELTA		
Donde:		
CANTIDAD DEL AGREGADO= 1200 gr.		
%Emulsión óptimo teórico. = 7,44%		
%Ho= Cantidad de agua inicial a incorporar en porcentaje		
%Ho inicial		3%
Cantidad de Agua de PRE-ENVUELTA		
ITERACIONES Tentativas.		
%Ho-2%	-2%	1%
%Ho-1%	-1%	2%
%Ho+1%	1%	4%
%Ho+2%	2%	5%
F= Es el valor en porcentaje óptimo de agua a incorporar de todas las iteraciones realizadas el más favorable		4%

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

b) TABLA DE RESULTADOS:

Tabla 129. Resultados del porcentaje óptimo de agua a incorporar.

Peso para Tres Briquetas (gr)		Peso para Tres Briquetas (gr)		3600
Emulsión	Emulsión	Ho	Ho	Peso del Material
%	gr.	%	gr.	(% 1/2+% 3/8+% Fino) -EA (gr)
6,5	234	4%	144	3366
7,5	270	4%	144	3330
8,5	306	4%	144	3294
9,5	342	4%	144	3258
10,5	378	4%	144	3222

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Acorde a los resultados obtenidos 4% es el valor en porcentaje óptimo de agua a incorporar de todas las iteraciones realizadas el más favorable

CONCLUSIONES.

Para nuestro ejemplo práctico concluimos que el porcentaje óptimo de agua a añadir es del 4% ya que con ese porcentaje obtuvimos un recubrimiento del agregado de un 100%.

Se pudo observar que con un incremento de un 2% de agua el agregado y la emulsión no tenían una trabajabilidad adecuada por lo que no alcanzo ni el 50% de recubrimiento, por tal razón se tuvo que desechar esa muestra.

Con la incorporación de un 6% de agua de pre envuelta conseguimos una muestra demasiado pastosa por tal motivo eliminamos ese porcentaje de nuestra tabla de valores.

RECOMENDACIONES.

Una de las principales recomendaciones es que la persona que mezcle el material lo haga de una manera homogénea constante y rápida, para que pueda cumplir con el tiempo establecido y conseguir una muestra visualmente clara.

Se recomienda que las muestras que no alcancen un 50% de recubrimiento sean desechadas inmediatamente y no tratar de reutilizar el material ya que eso conllevará a errores notorios en el ensayo.

4.14.9 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

- ✓ Emulsión Asfáltica de ruptura lenta (SS CSS) por lo general se requerirá de un alto contenido de agua en la mezcla, las iteraciones se empiezan por lo general con un 3% de agua a incorporar.
- ✓ Las mezclas que se tornen sopusas, así como también las mezclas que tiendan a separarse cuando estén en reposo se deberán rechazar.
- ✓ Calificar la apariencia de la mezcla notando que el área total del agregado este cubierto con la emulsión esto se realizara mediante un estimada visual.
- ✓ Para cada contenido de agua de pre envuelta se deberá estimar el recubrimiento y anotarlo en un porcentaje estimado por el operador visual.
- ✓ Los agregados que cumplan con un recubrimiento que exceda en un 50% se deberán admitir como aceptables.
- ✓ Si el recubrimiento del agregado con la emulsión y el agua de pre envuelta añadidos no alcancen un 50% de cobertura, se deberá rechazar la muestra.

- ✓ Si la cobertura de los agregados aparece como indefinida se deberá evaluar la mezcla mediante un procedimiento de diseño de mezclas.

4.15 PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN. (MEZCLA EN FRIO).

ENSAYO N. ° 19

4.15.1 INTRODUCCIÓN.

El método Marshall modificado para diseño de mezclas frías que son emulsificador de suelo agregado cuyas características son similares a las del método Marshall convencional es el que utilizaremos para determinar la estabilidad de la mezcla asfáltica por inmersión. Siendo este método basado en investigaciones que fueron dirigidas por la universidad de Illinois que uso unas modificaciones del método Marshall para mezclas asfálticas en caliente, así como también el ensayo de durabilidad a la humedad.

4.15.2 OBJETIVO.

Determinar la perdida por inmersión de una mezcla fría con emulsión asfáltica.

4.15.3 ALCANCE.

El presente ensayo describe el procedimiento mediante el cual se mide la pérdida de la resistencia a la compresión de una mezcla asfáltica compactada utilizando emulsión asfáltica por acción del agua sobre la misma.

Se obtiene una comparación numérica entre una serie de 3 briquetas moldeadas y curadas al aire y una serie de 3 briquetas duplicadas sumergidas en agua, ensayándolas en la maquina Marshall someténdolas a compresión simple para determinar su resistencia.

4.15.4 FUNDAMENTO TEÓRICO.

Este método cuyos procedimientos recomendados son netamente aplicables para capas de rodadura para tráfico liviano cuyo contenido es una emulsión asfáltica y un agregado

mineral de un agregado denso cuyo tamaño máximo es de 25mm (1”) o a su vez menor, será usado como indicador de la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica elaborada y compactada en frío.

4.15.5 PROCEDIMIENTO.

- ✓ En primer lugar, debemos describir que este ensayo está en base a los resultados que se obtuvieron de la prueba de compresión simple mediante el método Marshall modificado para mezcla en frío con emulsión.
- ✓ Una vez que se obtuvo el porcentaje óptimo calculado de emulsión, lo tomamos como patrón de trabajo para la elaboración de briquetas para este ensayo.
- ✓ Con la cantidad especificada de la granulometría de agregado pétreo, el porcentaje óptimo de agua y el porcentaje óptimo de emulsión procedemos a elaborar una serie de seis briquetas con este contenido.
- ✓ Para lo cual pesaremos 7500 gramos (por pérdidas) de agregado pétreo de nuestra granulometría del diseño de la mezcla en un recipiente hondo, siendo la cantidad necesaria para formar seis especímenes de (6,35 * 10,16) cm de (altura *diámetro).
- ✓ Seguidamente añadimos el porcentaje de la emulsión óptimo calculado multiplicado por seis.
- ✓ Y el porcentaje de agua óptimo de pre- envuelta también multiplicado por seis, y revolvemos unificando la mezcla hasta homogenizarla verificando el recubrimiento de todos sus elementos.
- ✓ Secuencialmente preparamos los moldes lubricándolos y colocando papel filtro en el fondo.

- ✓ Colocamos el molde con su collarín sobre el pedestal de compactación, introducimos la mezcla acomodándola repartiéndola sin que se clasifique. Ajustamos el dispositivo que sujeta el molde.
- ✓ Aplicamos 50 golpes sobre la mezcla con el pistón, cuya altura de caída es de 45,7 cm que deberá mantenerse vertical en posición normal a la base del molde.
- ✓ Terminado de aplicar el número de golpes de compactación establecido, liberamos el molde quitamos el collarín, invertimos el molde lo colocamos de nuevo y aplicamos en la otra cara 50 golpes restantes.
- ✓ Una vez compactados las probetas las retiramos de la base, este proceso se realizará para las seis briquetas necesarias para la prueba de pérdida de estabilidad por inmersión.
- ✓ Obtenidas las probetas y aun en los moldes las dejaremos reposar por 24 horas a temperatura ambiente en una superficie plana.
- ✓ Cumplidas las 24 horas procedemos a extraerlas de los moldes mediante el extractor de probetas (gato hidráulico), y colocaremos en el horno por un periodo de 72 horas a una temperatura constante de 41°C.
- ✓ Retiramos las probetas del horno y las dejamos a temperatura ambiente por unos minutos hasta que se enfríen.
- ✓ Tomamos tres de los especímenes y los sumergimos en agua en el tanque de saturación a una temperatura de 25°C, por un periodo de 24 horas.
- ✓ Una vez concluido el tiempo de saturación retiramos los moldes retiramos el exceso de agua superficial y los ensayamos en el equipo Marshall, anotando los datos de estabilidad y flujo.

- ✓ De la misma forma ensayamos las briquetas secas y anotamos los datos de estabilidad y flujo.
- ✓ Con estos datos obtenidos procedemos a calcular tanto el porcentaje de la pérdida de estabilidad por inmersión, como el porcentaje de la resistencia conservada de la muestra.
- ✓ Con los valores obtenidos hacemos una comparación tanto con las normas nacionales como con normas internacionales, para verificar si cumplen los parámetros requeridos.

4.15.6 EQUIPO UTILIZADO

Tabla 130. Equipo utilizado en el ensayo de pérdida de estabilidad por inmersión.



GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Tamices	Serán los tamices necesarios para realizar en el laboratorio la granulometría a los agregados para la mezcla que se va a diseñar.
	Dispositivo para moldear probetas	Es un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa base plana. El molde debe tener un diámetro interno de 101,6 (mm) (4") y una altura interna aproximada de 76,2 (mm) (3"); la placa base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, logrando ser ajustados en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer de tres moldes.




GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Pedestal de compactación	<p>Es una pieza prismática de base cuadrada de madera de 203,2 (mm) de lado y de altura de 457,2 (mm) (8" x 8" x 18") y considerando que en la cara superior debe tener una platina cuadrada de acero de 304,8 (mm) de lado x 25,4 (mm) de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera puede ser roble u otra clase cuya densidad seca sea de 0,67 a 0,77 (g/cm³) (42 a 48 lb/pie³). Es importante que el pedestal este fijada a una base de concreto.</p>
	Martillo de compactación	<p>Dispositivo de acero formado por: una base plana circular que tienen un diámetro de 98,4 (mm) (3 7/8") y un pisón deslizante con peso total de 4536 ± 9 g (10 ± 0,02 lb), considerando que la altura de caída es de 457,2 ± 1,524 mm (18 ± 0,06").</p>
	Sujetador para el molde	<p>Es un dispositivo con resorte de tensión cuya función es centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal durante el proceso de compactación.</p>



GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Extractor de probetas	<p>Dispositivo de acero con forma de disco con un diámetro de 100 (mm) (3,95") y un espesor de 12,7 (mm) (1/2"), su función será extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión.</p>
	Elementos de calefacción	<p>Para calentar los agregados y el material asfáltico, se utilizará un horno o placa de calefacción que cuente con un control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 2,8° C (5° F).</p>
	Mezcladora	<p>La operación de mezclado se realiza a mano en una placa de calefacción o estufa, para evitar el enfriamiento de los materiales, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Termómetros blindados	<p>Debe ser un termómetro de 9,9 ° C a 204° C (50° F a 400° F) para determinar las temperaturas de la mezcla, los agregados y el asfalto, con sensibilidad de 2,8° C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con sensibilidad de 0,2° C (68° F a 158° F ± 0,4° F) y escala de 20° C a 70° C.</p>
	Balanza	<p>Una de 5 (kg) de capacidad y sensible a 1 (g) para los agregados y asfalto; otra de 2 (kg) de capacidad y sensible a 0,1 (g) para las probetas compactadas.</p>
	Bandejas metálicas	<p>Planas para calentar agregados y cubetas metálicas redondas con capacidad de 4 litros (1 galón) para mezclar asfalto y agregados.</p>
	Mordazas	<p>Consisten en dos segmentos cilíndricos curvos, tienen un radio de curvatura interior de 50,8 (mm) (2") maquinado con exactitud. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella, mismas que sirven de guía a la mordaza superior. El movimiento de la mordaza superior se debe efectuar sin un rozamiento apreciable</p>







GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Medidor de deformación	<p>Es un deformímetro de lectura final fija, que tiene divisiones en 0,25 (mm) (0.01”). En el momento del ensayo, el medidor deberá estar firmemente apoyado sobre la mordaza superior y su vástago se apoyará en una palanca ajustable acoplada a la mordaza inferior.</p>
	Prensa	<p>Para la rotura de las probetas se utilizará una prensa mecánica o hidráulica capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50,8 (mm por minuto) (2”/min.) y la capacidad mínima de carga deberá ser de 40 kN.</p>
	Medidor de estabilidad	<p>La resistencia de la probeta se mide con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa con capacidad de 22,2 kN (2265 kgf), con una sensibilidad de 44,5 N (4.54 kgf) hasta 4,45 kN (454 kgf) y 111,2 N (11.4 kgf) hasta 22,2 kN (2265 kgf). Las deformaciones del anillo serán medidas por un deformímetro graduado en 0,0025 mm (0.0001”).</p>

GRÁFICO	NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
	Tanque para agua	Con una profundidad mínima de 152,4 (mm) (6"), controlado termostáticamente para mantener la temperatura a $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$ ($140^{\circ} \pm 2.0^{\circ} \text{ F}$). El tanque contará con un falso fondo perforado para sostener las probetas por lo menos a 50,8 (mm) (2") sobre el fondo del tanque.
	Equipo misceláneo	Es el equipo como: cucharones, recipientes, espátulas, papel de filtro, etc.
	Guantes	Preferiblemente de soldador para manejar equipo y recipientes caliente y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.

Fuente: Autores Córdova & Cornejo, 2019.

4.15.7 CÁLCULOS.

✓ Cálculo del % DE PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN.

$$\%P_{IMN} = \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right) \times 100.$$

Ecuación 51. Pérdida de estabilidad por inmersión.

Donde:

$\%P_{IMN}$ = Pérdida de estabilidad por inmersión en agua en %.

R_1 = Estabilidad del espécimen en condiciones normales (seco) para un contenido de emulsión específico en (kPa).

R2= Estabilidad del espécimen sumergido para un contenido de emulsión específico en (kPa).

✓ Cálculo del % DE RESISTENCIA CONSERVADA.

$$\text{Índice de resistencia conservada \%} = \left(\frac{R2}{R1} \right) \times 100.$$

Ecuación 52. Pérdida de estabilidad por inmersión.

Donde:

R1= Estabilidad del espécimen en condiciones normales (seco) para un contenido de emulsión específico en (kPa).

R2= Estabilidad del espécimen sumergido para un contenido de emulsión específico en (kPa).

4.15.8 *NORMATIVA*

INV. E 738-07

ASTM D 1559

NLT 159

AASHTO T 245

4.15.9 *EJEMPLO PRÁCTICO ENSAYO N° 19*

TÍTULO: Pérdida de estabilidad por inmersión. (Mezcla en frío)

OBJETIVO: Determinar la pérdida por inmersión de una mezcla fría con emulsión asfáltica.

CÁLCULOS:

a) **Determinación de la granulometría:**

✓ **Granulometría agregado grueso A**

Tabla 131. Granulometría de agregado grueso A datos M. Frio.

Granulometría Agregado Grueso A	
Peso Total de la Muestra (g)	10812

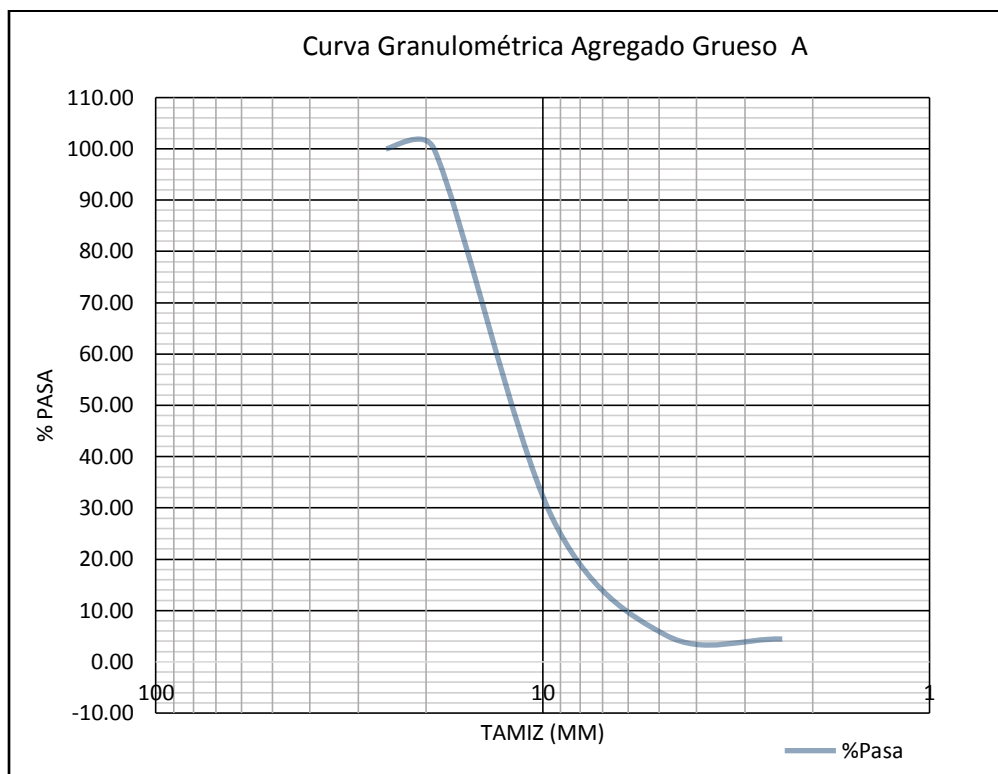
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 132. Granulometría de agregado grueso A M. Frio.

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	4230.00	39.12	60.88
3/8"	9.5	7732.00	71.51	28.49
4	4.8	10250.00	94.80	5.20
8	2.4	10332.00	95.56	4.44
16	1.2	10366.00	95.87	4.13
30	0.6	10408.00	96.26	3.74
50	0.3	10468.00	96.82	3.18
100	0.15	10548.00	97.56	2.44
200	0.075	10630.00	98.32	1.68
Pasa N° 200		10790.00	99.80	0.20

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 30. Curva granulométrica A M. Frio.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Granulometría agregado grueso B**

Tabla 133. Granulometría agregado grueso B datos.

Granulometría Agregado Gueso B	
Peso Total de la Muestra (g)	7456

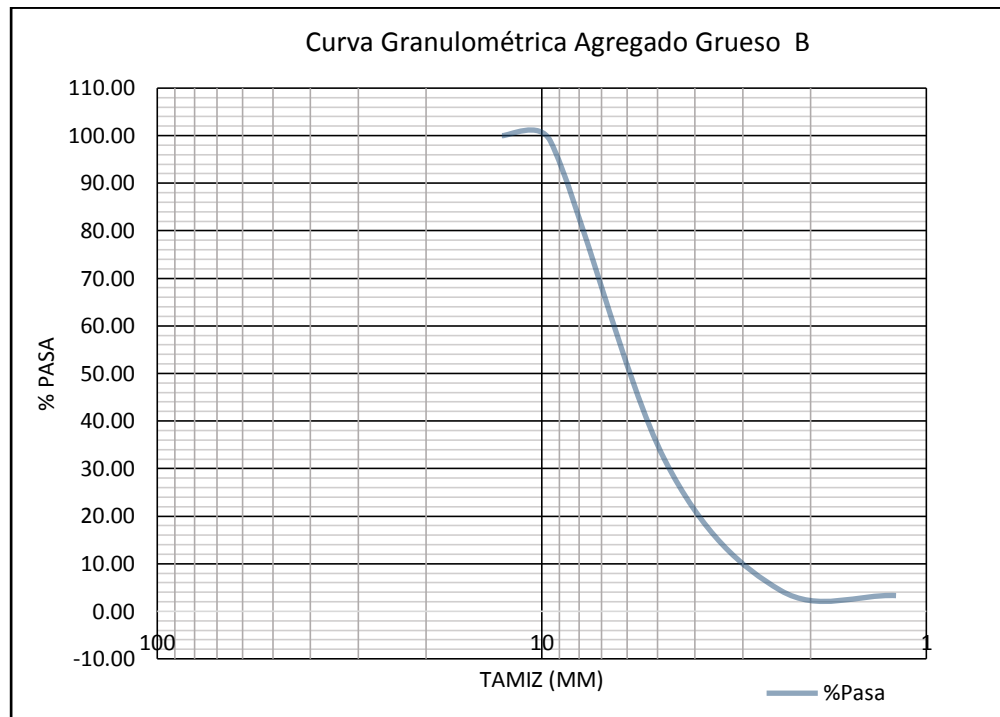
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 134. Granulometría de agregado grueso B M. Frio.

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
3/4"	19.1	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	86.00	1.15	98.85
4	4.8	5074.00	68.05	31.95
8	2.4	7126.00	95.57	4.43
16	1.2	7210.00	96.70	3.30
30	0.6	7254.00	97.29	2.71
50	0.3	7284.00	97.69	2.31
100	0.15	7304.00	97.96	2.04
200	0.075	7332.00	98.34	1.66

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 31. Curva granulométrica B M. Frio.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Granulometría agregado Fino**

Tabla 135. Granulometría agregado grueso C datos.

Granulometría Agregado Fino	
Peso Total de la Muestra (g)	1317.3

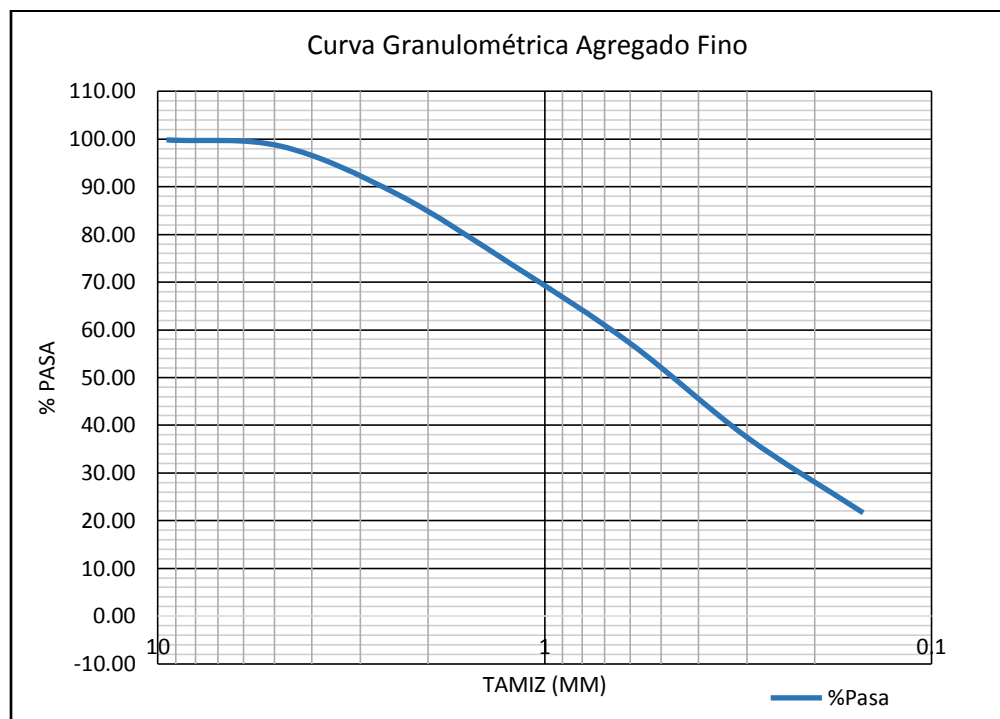
Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 136. Granulometría de agregado grueso C M. Frio.

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	2.24	0.17	99.83
4	4.8	19.90	1.51	98.49
8	2.4	152.73	11.59	88.41
16	1.2	350.32	26.59	73.41
30	0.6	564.52	42.85	57.15
50	0.3	823.18	62.49	37.51
100	0.15	1032.31	78.37	21.63
200	0.075	1174.01	89.12	10.88
Pasa N° 200		1313.54	99.71	0.29

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 32. Curva granulométrica C.



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

b) Pesos específicos de los agregados (gruesos, finos) y mezcla asfáltica.

✓ **Agregado A**

Tabla 137. Gravedad Específica del agregado grueso A M. Frio

Gravedad Específica del agregado grueso A	
Peso del agregado seco (g) Ps	4792
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Psss	5000
Peso del agregado sumergido (g)	2921
Gravedad específica Bulk Gsb (agre)	2.305
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsssb (agre)	2.405
Gravedad específica aparente Gsa (agre)	2.561
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	4.341

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Agregado B**

Tabla 138. Gravedad Específica del agregado grueso B M. Frio.

Gravedad Específica del agregado grueso B	
Peso del agregado seco (g) Ps	4758.123
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Psss	5000
Peso del agregado sumergido (g)	2947.653
Gravedad específica Bulk Gsb (agre)	2.318
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsssb (agre)	2.436
Gravedad específica aparente Gsa (agre)	2.628
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	5.083

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Agregado C**

Tabla 139. Gravedad Específica del agregado C M. Frio.

Gravedad Específica del agregado C	
Peso del agregado fino seco (g) Psf	471.58
Peso picnómetro más agua (g) Ppa	651.577
Peso picnómetro más aguas más agregado fino (g) Ppam	950.91
Peso del agregado saturado superficialmente seco (g) Psssf	500
Gravedad específica Bulk Gsb (agre.F)	2.350
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsssb (agre.F)	2.492
Gravedad específica aparente Gsa (agre.F)	2.738
Porcentaje de Absorción Abs % (agre.F)	6.027

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

c) Mezcla de los agregados.

✓ **Porcentajes propuestos.**

Tabla 140. Porcentajes propuestos M. Frio

% DE MEZCLA		
Porcentaje (a)	10	0.1
Porcentaje (b)	45	0.45
Porcentaje (c)	45	0.45
Sumatoria	100	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

✓ **Mezcla de agregados.**

Tabla 141. Mezcla de agregados 1.1 M. Frio.

MEZCLA DE AGREGADOS						
Tamiz N°	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8
Diam. mm	25.4	19.1	12.7	9.5	4.8	2.4
Material A	100.00	100.00	60.88	28.49	5.20	4.44
Material B	100.00	100.00	100.00	98.85	31.95	4.43
Material C	100.00	100.00	100.00	99.83	98.49	88.41
Mezcla	100.0	100.0	96.1	92.3	59.2	42.2
Retenido Acumulado	0.00	0.00	3.91	7.75	40.78	57.78
Retenido Parcial	0.00	0.00	3.91	3.83	33.04	17.00
Peso	0.00	0.00	46.95	46.01	396.44	203.98
P. Acumu.	0.00	0.00	46.95	92.96	489.40	693.38
MOP		100	90		44	28
		100	100		74	58

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 142. Mezcla de agregados 1.2. M. Frio.

MEZCLA DE AGREGADOS						
Tamiz N°	16	30	50	100	200	P. 200
Diam. mm	1.2	0.6	0.3	0.15	0.075	
Material A	4.13	3.74	3.18	2.44	1.683	
Material B	3.30	2.71	2.31	2.04	1.663	
Material C	73.41	57.15	37.51	21.63	10.878	
Mezcla	34.9	27.3	18.2	10.9	5.81	
Retenido Acumulado	65.07	72.69	81.76	89.10	94.19	5.8
Retenido Parcial	7.29	7.62	9.07	7.34	5.09	
Peso	87.46	91.46	108.87	88.06	61.02	
P. Acumu.	780.84	872.30	981.17	1069.24	1130.26	1200
MOP			5		2	
			21		10	

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

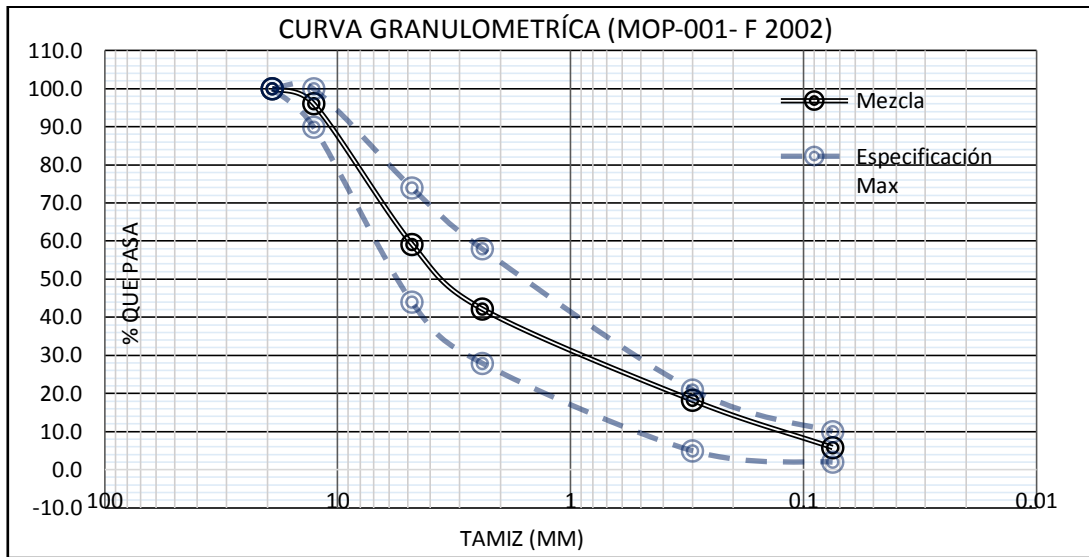
✓ **Curva Granulométrica % que pasa vs Tamiz (mm)**

Tabla 143. Datos de mezcla de agregado M. Frio.

DATOS DE MEZCLA DE AGREGADO			
Tamiz (mm)	MOP-001-F 2002		%QUE PASA
	Especificación. Min	Especificación. Max	
19.1	100	100	100.0
12.7	90	100	96.1
4.8	44	74	59.2
2.4	28	58	42.2
0.3	5	21	18.2
0.075	2	10	5.8

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Ilustración 33. Curva granulométrica (MOP-001- F 2002) M. Frio



Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

d) Cálculo del porcentaje departida de emulsión en la mezcla.

Tabla 144. Porcentaje departida de emulsión.

%Emulsión=%Asfalto/%Residuo		
Donde:		
%Emulsión= Emulsión necesaria para la mezcla.		
%Asfalto= Asfalto con el que cuenta la emulsión.		
%Residuo=Residuo que contiene la emulsión.		
%Asfalto= 0.035a + 0.045b+ kc+ F		4,54
Donde:		
a=% retenido en el tamiz #8 en número entero	57,78	58
b= % que pasa el tamiz #8 y retiene el #200	36,41	36
Kc=0,15 para el 11-15% de lo que pasa el tamiz # 200	11 -15 %	0,15
Kc=0,18 para el 6-10% de lo que pasa el tamiz # 200	6 - 10 %	0,18
Kc=0,20 para el 5% o menos de lo que pasa el tamiz # 200	menos 5 %	0,20
F= 0-2% Basado en la absorción del agregado fino o grueso		0,7
%Residuo de emulsión		61
(%) Emulsión = %Asfalto/%Residuo		7,44

Fuente: Autores Córdova & Cornejo 2019.

Tabla 145. Porcentaje acumulado de agregado para el moldeo de briquetas.

Peso para Tres Briquetas (gr)			3600
Emulsión %	Emulsión gr.	Peso del Material (% 1/2+% 3/8+% Fino) -EA (gr)	
6,5	234	3366	
7,5	270	3330	
8,5	306	3294	
9,5	342	3258	
10,5	378	3222	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Cantidad del porcentaje de agua de pre-envuelta.**

Tabla 146. Cantidad de agua de pre-envuelta.

Cantidad de Agua de PRE-ENVUELTA		
Donde:		
CANTIDAD DEL AGREGADO= 1200 gr.		
%Emulsión óptimo teórico. = 7,44%		
%Ho= Cantidad de agua inicial a incorporar en porcentaje		
%Ho inicial		3%
ITERACIONES Tentativas.		
%Ho-2%	-2%	1%
%Ho-1%	-1%	2%
%Ho+1%	1%	4%
%Ho+2%	2%	5%
F= Es el valor en porcentaje óptimo de agua a incorporar de todas las iteraciones realizadas el más favorable		4%

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 147. Porcentaje de agua para el moldeo de briquetas.

Peso para Tres Briquetas (gr)		Peso para Tres Briquetas (gr)		3600
Emulsión	Emulsión	Ho	Ho	Peso del Material (%1/2+%3/8+%Fino) - CA (gr)
%	gr.	%	gr.	
6,5	234	4%	144	3366
7,5	270	4%	144	3330
8,5	306	4%	144	3294
9,5	342	4%	144	3258
10,5	378	4%	144	3222

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019

✓ **Diseño de la mezcla en frío.**

Tabla 148. Diseño de la mezcla en frío 1.1.

BRIQUETA N°	Emulsión Asfáltica		MEZCLA		Gsb	PESO MUESTRA (gramos)			VOL cm ³	DENSIDAD (gr/cm ³)	
	% EA	(Gasf)	Tipo de material	% Agregado		Aire W _a	Saturado W _{ss}	Agua W _w		BULK Gmb	RICE Gmm'
1			1/2"	10		1036.94	1127.39	580.87	546.52	1.897	
2			3/8"	45		1009.61	1018.69	557.15	461.54	2.187	
3	6.5	1.014	Fino	45		1020.13	1039.97	543.59	496.38	2.055	
					2.331	1022.23	1062.02	560.54	501.48	2.047	2.331
1			1/2"	10		1109.98	1130.63	590.33	540.3	2.054	
2			3/8"	45		968.36	977.17	518.2	458.97	2.110	
3	7.5	1.014	Fino	45		1101.46	1139.63	598.94	540.69	2.037	
					2.331	1059.93	1082.48	569.16	513.32	2.067	2.299
1			1/2"	10		1090.42	1121.76	595.25	526.51	2.071	
2			3/8"	45		1095.36	1115.02	594.05	520.97	2.103	
3	8.5	1.014	Fino	45		1133.89	1158.31	604.48	553.83	2.047	
					2.331	1106.56	1131.70	597.93	533.77	2.074	2.268
1			1/2"	10		1157.21	1181.23	615.76	565.47	2.046	
2			3/8"	45		1119.5	1138.94	603.74	535.2	2.092	
3	9.5	1.014	Fino	45		1123.95	1140.48	596.45	544.03	2.066	
					2.331	1133.55	1153.55	605.32	548.23	2.068	2.238
1			1/2"	10		1116.56	1161.56	609.83	551.73	2.024	
2			3/8"	45		1151.58	1167.28	607.36	559.92	2.057	
3	10.5	1.014	Fino	45		1135.89	1146.84	601.23	545.61	2.082	
					2.331	1134.68	1158.56	606.14	552.42	2.054	2.209

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019

Tabla 149. Diseño de la mezcla en frío 1.2.

BRIQUETA N°	Volumen % Total			VAM %	VFA %	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD			FLUJO	
	Vagre	Vv	Vae				Medida KN	Medida Lb	Corregí.	(mm)	1/100"
1						0.96	4.890	1099.316	1055.343	4.540	18
2						1.09	5.160	1160.014	1264.416	4.000	16
3						1.14	4.160	935.205	1066.134	3.850	15
	82.089	12.212	5.699	17.911	31.817		4.737	1064.845	1128.631		16
1						1.19	4.900	1101.564	1310.861	6.120	24
2						0.93	4.160	935.205	869.741	3.600	14
3						0.93	4.960	1115.053	1036.999	4.100	16
	82.023	10.103	7.875	17.977	43.803		4.673	1050.607	1072.534		18
1						0.96	6.120	1375.831	1320.798	4.560	18
2						0.96	5.810	1306.140	1253.895	5.120	20
3						0.89	5.680	1276.915	1136.454	5.460	21
	81.392	8.583	10.025	18.608	53.874		5.870	1319.629	1237.049		20
1						0.86	6.180	1389.320	1194.815	5.100	20
2						0.93	6.210	1396.064	1298.339	5.600	22
3						0.93	6.450	1450.018	1348.517	5.450	21
	80.286	7.597	12.118	19.714	61.466		6.280	1411.801	1280.557		21
1						0.89	6.130	1378.079	1226.490	6.890	27
2						0.86	5.640	1267.923	1090.414	5.870	23
3						0.93	5.270	1184.743	1101.811	6.100	24
	78.863	6.996	14.141	21.137	66.901		5.680	1276.915	1139.572		25

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019

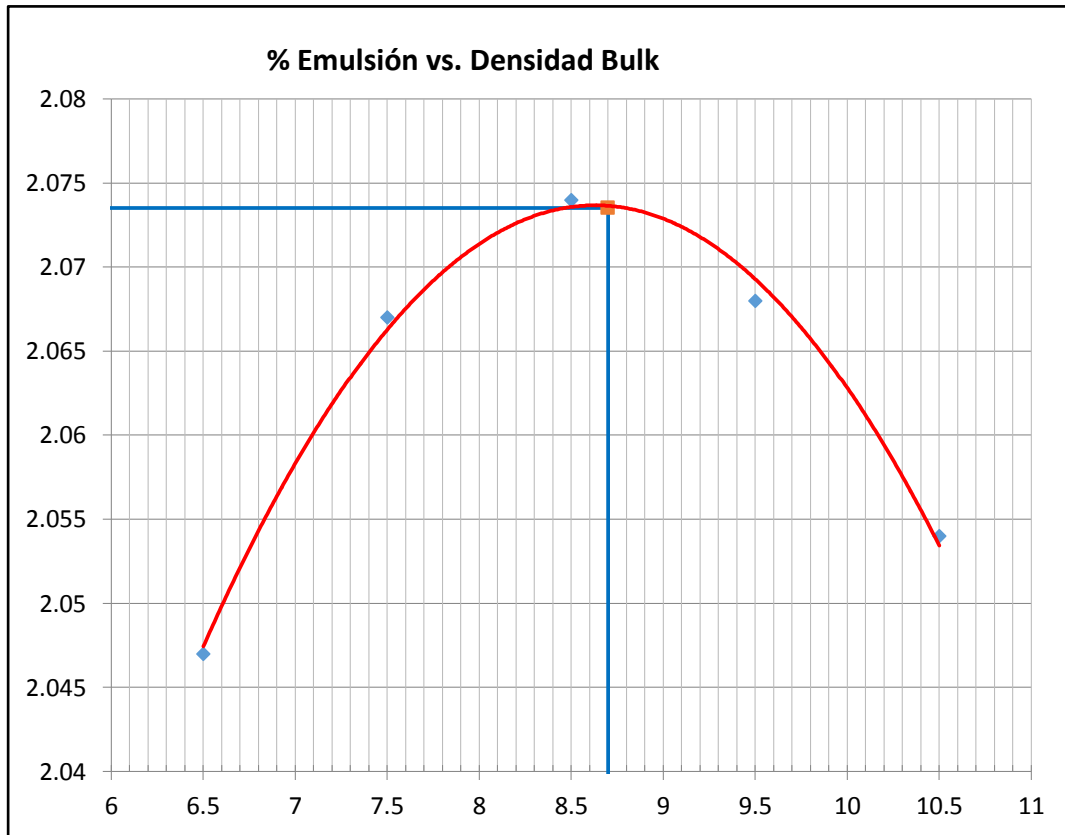
✓ **Cálculo del porcentaje de emulsión óptimo teórico.**

Tabla 150. Resumen de datos para determinar el porcentaje de emulsión óptimo teórico.

RESUMEN DE DATOS						
% Emulsión	Bulk	Estabilidad	Flujo	Vv	VAM	VAF
6,5	2,047	1129	16	12,2	17,91	32
7,5	2,067	1073	18	10,1	17,98	44
8,5	2,074	1237	20	8,6	18,61	54
9,5	2,068	1281	21	7,6	19,71	61
10,5	2,054	1140	25	7,0	21,14	67

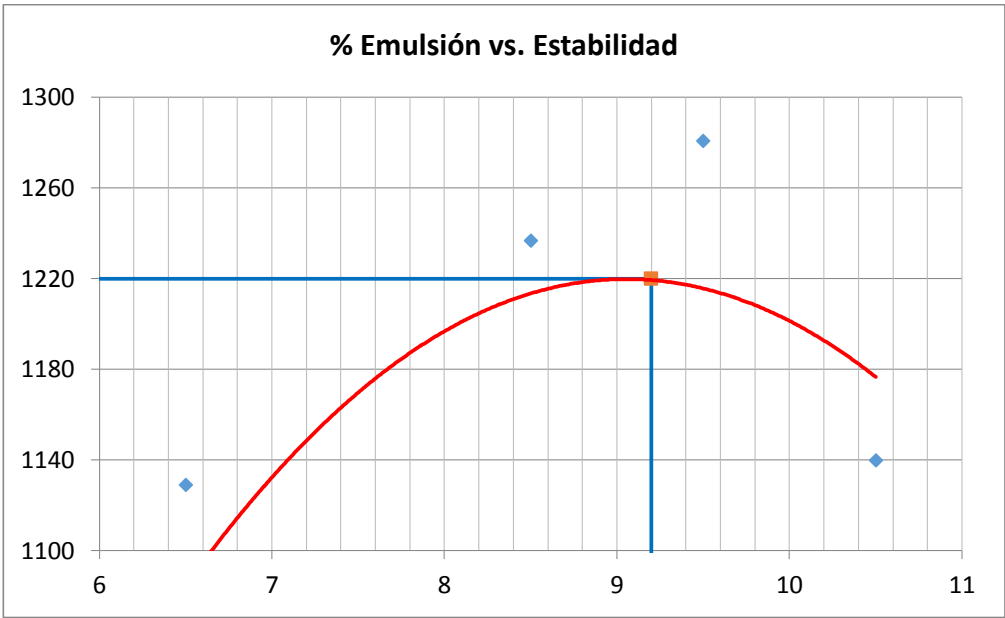
Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 34. (%) Emulsión vs. Densidad Bulk.



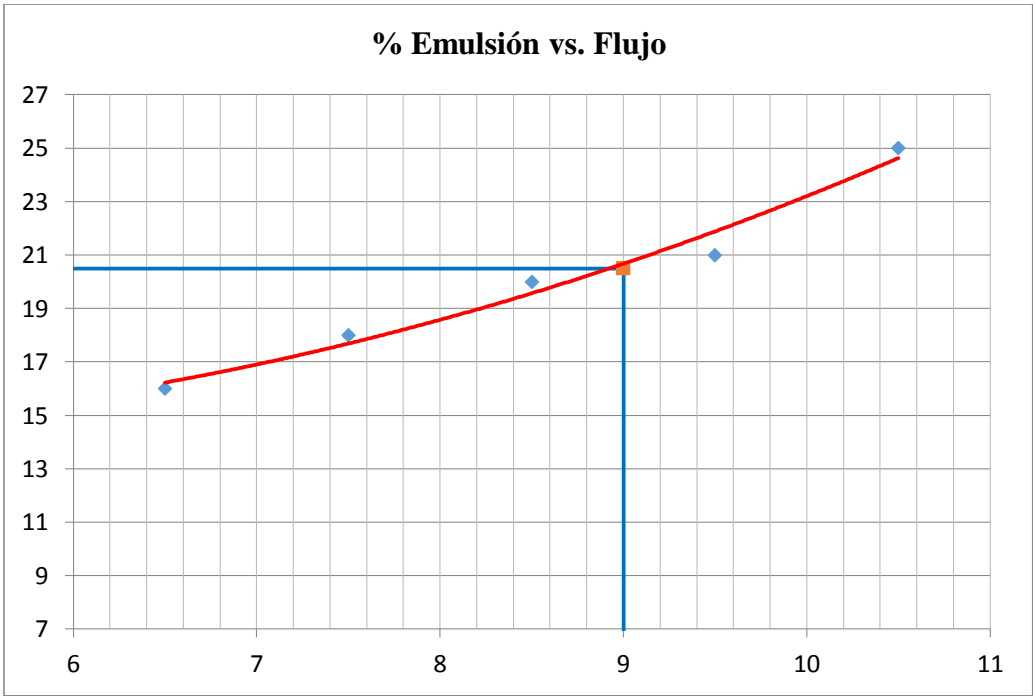
Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 35. (%) Emulsión vs. Estabilidad.



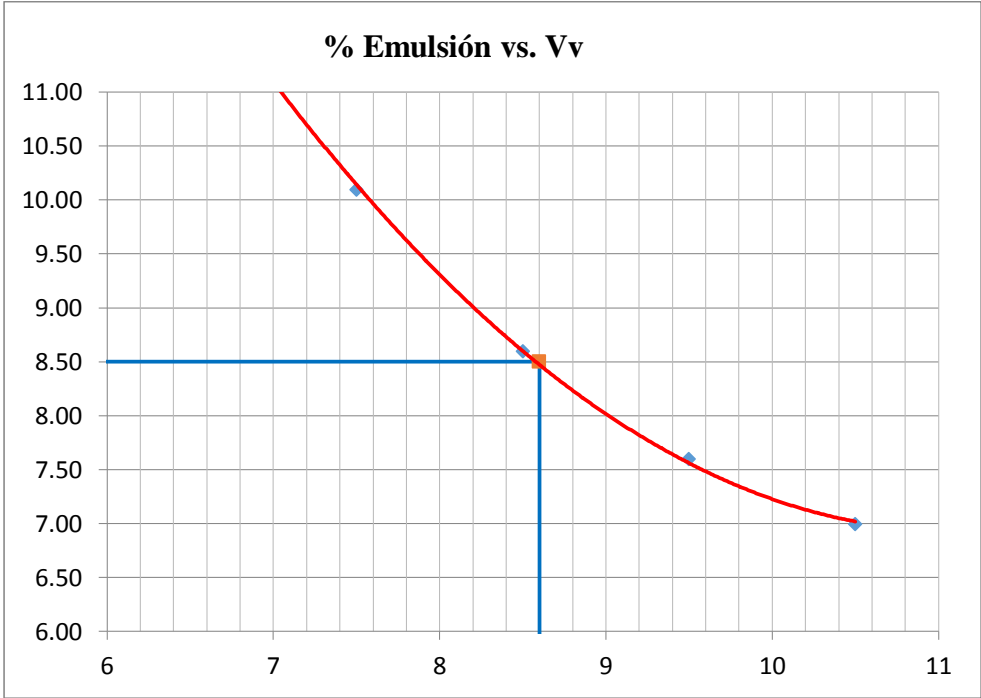
Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 36. (%) Emulsión vs. Flujo.



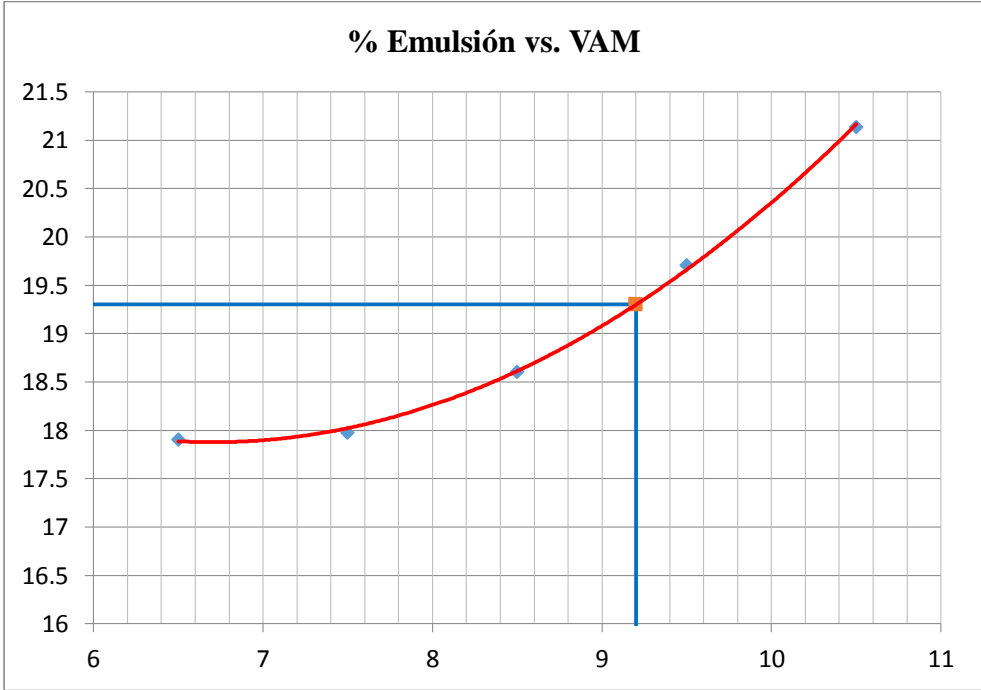
Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 37. (%)Emulsión vs. Vv



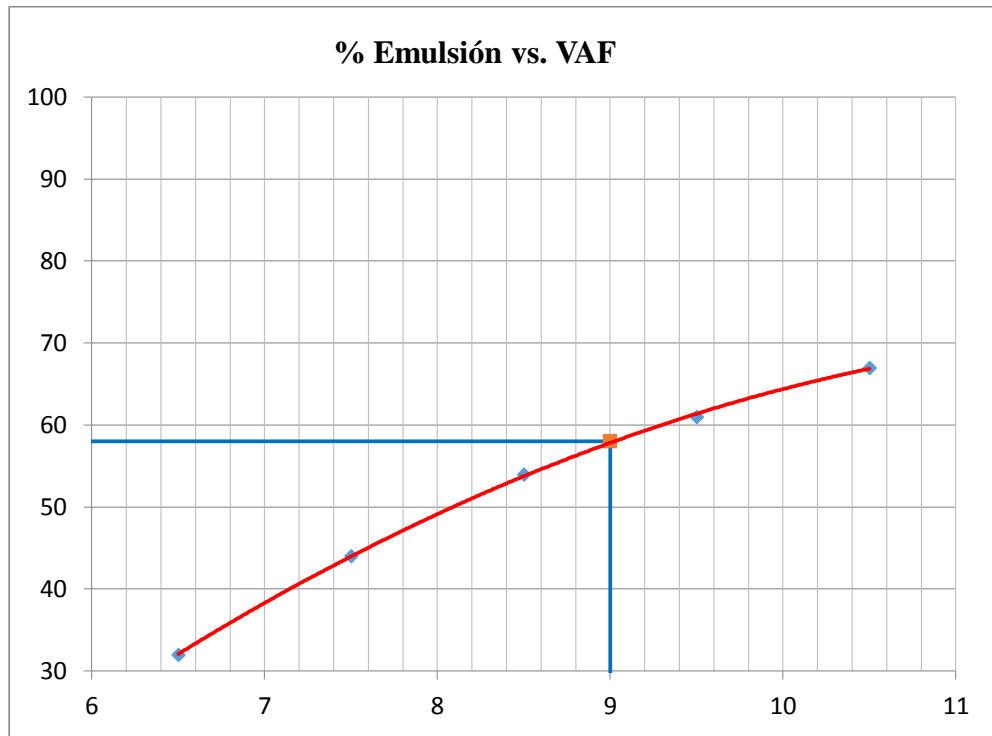
Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 38. (%) Emulsión vs. VAM



Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Ilustración 39. %Emulsión vs. VAF



Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Porcentaje de emulsión calculado.**

Tabla 151. Porcentaje de emulsión óptimo.

Datos	% EMULSIÓN	Parámetros
2,0735	8,7	BULK
1220	9,2	ESTABILIDAD
20,5	9	FLUJO
8,5	8,6	Vv
19,3	9,2	VAM
58	9	VAF
	9,0	FINAL DISEÑO

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

- ✓ **Diseño de la mezcla en frio con el porcentaje óptimo de emulsión para el cálculo de la perdida de estabilidad por inmersión.**

Tabla 152. Diseño de la mezcla en frio con el porcentaje óptimo.1.1.

BRIQUETA N°	Emulsión Asfáltica		MEZCLA		Gsb	PESO MUESTRA (gramos)			VOL cm3	DENSIDAD (gr/cm3)	
	% EA	(Gasf)	Tipo de material	% Agregado		Aire Wa	Saturado Wss	Agua Ww		BULK Gmb	RICE Gmm'
BRIQUETAS ENSAYADAS CON MUESTRA SECA											
1			1/2"	10		1028.94	1047.6	539.59	508.01	2.025	
2	9	1.014	3/8"	45		1053.4	1078.6	556.7	521.9	2.018	
3			Fino	45		1072.1	1098.6	589.76	508.84	2.107	
					2.331	1051.48	1074.93	562.02	512.92	2.050	2.253
BRIQUETAS ENSAYADAS CON MUESTRA SATURADA											
1			1/2"	10		1089.65	1116.73	586.59	530.14	2.055	
2	9	1.014	3/8"	45		1100.98	1118.76	588.8	529.96	2.077	
3			Fino	45		1050.46	1085.02	548.11	536.91	1.956	
					2.331	1080.36	1106.84	574.50	532.34	2.030	2.253

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

Tabla 153. Diseño de la mezcla en frío con el porcentaje óptimo.1.2.

BRIQUETA N°	Volumen % Total			VAM %	VFA %	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD			FLUJO	
	Vagre	Vv	Vae				Medida KN	Medida Lb	Corregí.	(mm)	1/100"
BRIQUETA ENSAYADA CON MUESTRA SECA											
1						1.04	8.550	1922.117	1999.002	8.160	32
2						1	9.760	2194.136	2194.136	10.360	41
3						1.04	8.970	2016.537	2097.198	10.970	43
	80.034	9.003	10.963	19.966	0.55		9.093	2044.263	2096.779		39
BRIQUETAS ENSAYADAS CON MUESTRA SATURADA											
1						0.93	6.870	1544.438	1436.327	9.860	39
2						0.93	6.210	1396.064	1298.339	12.130	48
3						1	5.460	1227.457	1227.457	10.100	40
	79.235	9.911	10.853	20.765	0.52		6.180	1389.320	1320.708		42

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Porcentaje de pérdida de estabilidad por inmersión**

Tabla 154. Porcentaje de pérdida de estabilidad por inmersión.

% DE PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN		
%PINM= ((R1-R2)/R1)*100		
Donde:		
%PINM= Porcentaje de la pérdida de estabilidad por inmersión en agua.		
R1= Estabilidad del espécimen en condiciones normales (seco) para un contenido de emulsión específico en (Kpa).		
R2=Estabilidad del espécimen sumergido para un contenido de emulsión específico en (KPa)		
%PINM= ((R1-R2)/R1)	0.32	
Donde:		
R1= Estabilidad del espécimen seco (Kpa).	9.09	9
R2= Estabilidad del espécimen sumergido (Kpa).	6.18	6
%PINM= ((R1-R2)/R1)*100	32%	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

✓ **Porcentaje de resistencia conservada.**

Tabla 155. Porcentaje de resistencia conservada.

% DE RESISTENCIA CONSERVADA		
I.R.%= (R2/R1)*100		
Donde:		
I.R.%= Es el índice de resistencia conservada en porcentaje.		
R1= Estabilidad del espécimen en condiciones normales (seco) para un contenido de emulsión específico en (Kpa).		
R2=Estabilidad del espécimen sumergido para un contenido de emulsión específico en (KPa)		
I.R.%= (R2/R1)	0.68	
Donde:		
R1= Estabilidad del espécimen seco (Kpa).	9.09	9
R2= Estabilidad del espécimen sumergido (Kpa).	6.18	6
I.R.%= (R2/R1)*100	68%	

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

a) Tabla de resultados.

Tabla 156. Resultados Obtenidos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS				
PARÁMETROS	RESULTADOS OBTENIDOS	NORMAS MOP-001-F-2002	DISEÑO MARSHALL	ASPHALT INSTITUTE
ESTABILIDAD MUESTRA SECA (lb)	2097	min 1000 máx 2400	min 750	min 2224
ESTABILIDAD MUESTRA SATURADA (lb)	1321	1200	min 750	-
PERDIDA DE ESTABILIDAD (%)	32%	-	max 50%	max 50%
RESISTENCIA CONSERVADA (%)	68%	min 50%	min 50%	min 50%
CUBRIMIENTO DEL AGREGADO (%)	100%	-	min 95%	min 50%
FLUJO MUESTRA SECA (pulgada/100)	39	min 8 máx 16	min 8 máx 18	-
FLUJO MUESTRA SATURADA (pulgada/100)	42	min 8 máx 16	min 8 máx 18	-
VACÍOS TOTALES MUESTRA SECA (%)	9	-	min 3 máx 18	-
VACÍOS TOTALES MUESTRA SATURADA (%)	10	-	min 3 máx 18	-
PORCENTAJE DE VACÍOS CON AIRE M. SECA (%)	5.5	min 3 máx 5	min 3 máx 5	-
PORCENTAJE DE VACÍOS CON AIRE M. SATURADA (%)	5	min 3 máx 5	min 3 máx 5	-

Fuente: Córdova & Cornejo, 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En base a los resultados obtenidos se puede evidenciar que cumple con las especificaciones MOP-001- F 2002 para un tipo de tráfico liviano.

CONCLUSIONES.

En el presente ensayo podemos concluir que mediante el análisis de resultados se establece que nuestra mezcla fría cumple con la mayoría de los parámetros establecidos tanto en las normas nacionales como en las internacionales. Brindando así una confiabilidad a la mezcla.

Se determina que la mezcla específicamente cumple y es establecida para ser usada en tráfico liviano, cosa que podemos notar mediante los valores obtenidos de estabilidad y flujo.

RECOMENDACIONES.

Es recomendable desarrollar todo el diseño de una mezcla asfáltica fría para así poder obtener los valores de pérdida de estabilidad por inmersión, ya que si se opta por solo determinarlos con porcentaje de emulsión óptimo no calculado, se puede incurrir en fallas de forma y de fondo.

4.15.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los valores de estabilidad en el diseño de una mezcla fría disminuyen en comparación con datos obtenidos del diseño de una mezcla asfáltica en caliente.

Los valores del flujo de una mezcla fría mediante el método Marshall modificado se incrementan en comparación al diseño Marshall de una mezcla en caliente.

Acorde las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002., Tabla 405-5-4, establece los siguientes criterios ser aceptada.

Tabla 157. Criterios Marshall.

	Muy pesado	Pesado	Medio	Liviano
Criterios Marshall	Min -Max	Min -Max	Min -Max	Min -Max
N° de golpes /Cara	75	75	50	50
Estabilidad (Lb)	2200 ---	1800 ---	1200 ---	1000 - 2400
Flujo (pulg/100)	8 -- 14	8 -- 14	8 -- 16	8 -- 16
% De vacíos en la mezcla				
-- Capa de rodadura.	3 -- 5	3 -- 5	3 -- 5	3 -- 5
-- Capa intermedia.	3 -- 8	3 -- 8	3 -- 8	3 -- 8
-- Capa de base.	3 -- 9	3 -- 9	3 -- 9	3 -- 9
Relación Filler/Betún	0.8 -- 1.2	0.8 -- 1.2		
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente.				
-- Capa de rodadura.	70 ---	70 ---		
-- Intermedia o base	60 ---	60 ---		

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002 Tabla 405-5-4.

Tabla 158. Vacíos en agregados.

% Vacíos agregados	
Tipo de Mezcla	VAM, mínimo (%)
A	16
B	15
C,D	14
E	13

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001- F 2002 Tabla 405-5-4.

5 CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez que se realizó todos los ensayos descritos en la primera parte del manual de laboratorio de Vías y Pavimentos se ha llegado a establecer una serie de conclusiones y recomendaciones que van acordes con los mismos, brindando confianza y validez a los datos obtenidos. Para estas conclusiones y recomendaciones se evaluaron los ensayos con ejemplos prácticos de cálculo y siempre referido a la normativa utiliza.

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Luego de haber realizado todos y cada uno de los ensayos descritos para la realización de la primera parte del manual de laboratorio de vías y pavimentos se recopiló información que cumple con parámetros técnicos, así como con la normativa descrita, dándonos así una validez para poder concluir que el manual consta de una guía teoría, así como también como un ejemplo práctico para el estudiante, y a su vez se puede decir que el presente manual será el material de apoyo para llenar de información al estudiante en lo concerniente al desarrollo del laboratorio del área de vías y pavimentos.
- ✓ Toda la información recopilada de las prácticas que se ejecutan en el laboratorio de vías y pavimentos, así como la normativa que describe el procedimiento de los ensayos ha sido de vital importancia para el desarrollo del manual, dando una veracidad al mismo.
- ✓ Mediante la realización de cada uno de los ensayos del laboratorio de vías y pavimentos se obtuvo una serie de criterios para poder así describir el procedimiento de una forma clara concisa y práctica, para que en el futuro el estudiante tenga una perspectiva definida de cómo se logran realizar cada uno de estos ensayos.

- ✓ Luego de haber finalizado todos los ensayos se pudo diseñar un formato totalmente práctico, en el cual se explica paso a paso y de una forma clara en qué consisten cada uno de los ensayos. Formando así un manual de laboratorio para el área de vías y pavimentos práctico y funcional.
- ✓ Cada uno de los ensayos descritos en el presente manual cumplen con todas las especificaciones técnicas que describe la normativa ASTM, AASHTO, INEN, INVIAS, y demás normas nacionales, e internacionales. Brindando así una veracidad para poder aplicar el procedimiento de ensayo sin temor a caer en rangos equívocos del mismo.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Familiarizar al estudiante, así como al técnico laboratorista con el presente manual para que así pueda convertirse en una herramienta de aprendizaje que le permitirá enfrentar y desarrollarse bien en el área de vías y pavimentos.
- ✓ El personal de laboratorio deberá brindar una guía correcta, así como una supervisión adecuada en la utilización tanto del equipo, como de las herramientas necesarias para cada uno de los ensayos descritos en el presente manual.
- ✓ Seguir el procedimiento descrito de cada uno de los ensayos de una forma ordenada y pegada a su criterio, para que así pueda conseguir resultados que cumplan con las especificaciones que exige la normativa.
- ✓ Tener totalmente claro en qué consiste cada uno de los ensayos, para esto se deberá leer con anterioridad el procedimiento paso a paso que describe este práctico manual, y así la ejecución del ensayo se convierta en una práctica simple de realizar.

- ✓ Siempre se deberá tener presente la norma que rige cada uno de los ensayos, pegándose a ella para así poder cumplir con todos y cada uno de los parámetros que esta solicita.
- ✓ Es de vital importancia utilizar en cada uno de los ensayos el equipo de protección personal, que sin duda alguna ayuda a que los incidentes en el laboratorio sean mínimos tanto para el estudiante como para el personal a cargo del área de vías y pavimentos.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Calderón, A. U. (2011). Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico. Métodos y materiales, 39-50.
- LEMAC, E. T. (2006). Normas de Ensayo de Vialidad Nacional. Buenos Aires.
- ASTM, D. 698-12.(2012). Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³/600 kN-m/m³).
- ASTM, D. 1557-12. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (2,700 kN-m/m³).
- ASTM, D. 1883-16. Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory-compacted soils. Annual Book of ASTM Standards, 4.
- INVIAS, I. N. D. V. (2013). CBR de los suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada INV E-148-13. Bogotá: INVIAS.
- ASTM, D. 6951-03. 2003. Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.
- ASTM, D. (2000). 2041, Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures. 2003 Annual Book of ASTM Standards, 4.
- CAMPOS, J., & GUARDIA, G. (2005). Apoyo didáctico al aprendizaje de la mecánica de suelos mediante problemas resueltos. Licenciatura Ingeniería Civil. Cochabamba: Universidad mayor de San Simón.
- AASHTO, T. 308-05. Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method. Washington D.C: AASHTO.

ASTM, D. (1974). 3381. Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction, Annual Book of ASTM Standards, 4, 297-298

MTOP, M. D. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.

INVIAS, I. (2013). Normas y Ensayos de materiales para carretera.

ANEXOS



ENSAYO N° 1 ENSAYO CBR

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR

Método empleado			
Parámetros del ensayo		Datos del molde	
Golpes por capa		Diametro (cm)	
N° de capas		Altura (cm)	
Peso del martillo (N)		Volumen (cm ³)	
Altura de caída (mm)		Peso (g)	

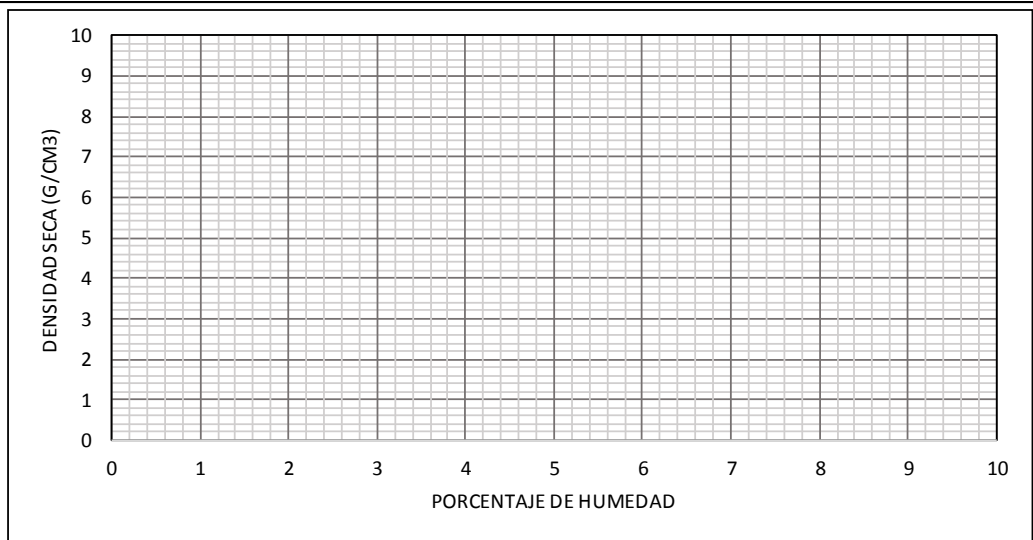
Procedimiento

Espécimen N°				
Agua aumentada (%)				
Masa del suelo humedo + molde (g)				
Masa del suelo humedo (g) Mh				
Densidad Húmeda (g/cm ³) rh				

Contenido de humedad

Cápsula N°						
Peso de Cápsula.(g) Mc						
Masa del suelo humedo + Cápsula (g)						
Masa del suelo seco + Cápsula (g)						
Humedad (%) H						
Promedio Humedad (%) Hp						
Densidad Seca (g/cm ³) rd						

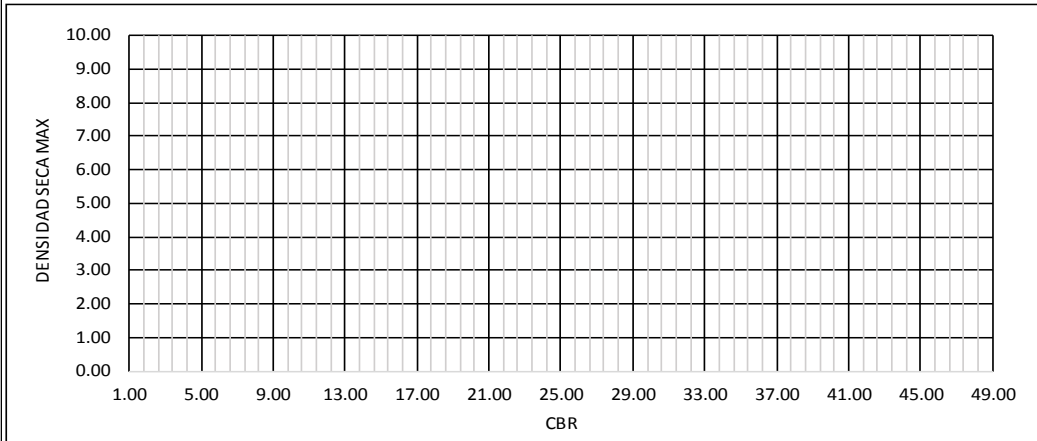
Curva de compactación



Densidad seca maxima γ_d max (g/cm ³)	
Porcentaje de humedad óptima % w opt	

<i>Humedad natural del material</i>						
Cápsula N°	Masa Cápsula	M. Cap +Hum	M. Cap + S. Seco	Masa de Agua	Masa Seca	% Humedad
Promedio W nat. (%)						
<i>Cantidad de agua a agregar</i>						
Peso Suelo (g)	W opt. (%)	W nat. (%)	Agua (g)			
<i>Moldeo Antes de la Saturación</i>						
MOLDE N°						
Golpes/capa:						
Masa comp. (g)						
Masa molde (g)						
Volumen (cm3)						
Dens. Hum. (g/cm3)						
<i>Contenido de agua en el moldeo</i>						
Cápsula N°						
Masa Húmeda (g)						
Masa Seca (g)						
Masa Capsula (g)						
% agua						
% agua promedio						
<i>Durante la saturación</i>						
ESPOJAMIENTO:	Dial	Expansión %	Dial	Expansión %	Dial	Expansión %
DIAS/FECHAS						
<i>Porcentaje de agua absorbida luego de la saturación.</i>						
MOLDE N°						
Golpes/capa:						
Masa Saturada						
% Agua Absorvida						
<i>Porcentaje de humedad luego de la saturación</i>						
Cápsula N°						
Masa Humeda (g)						
Masa Seca (g)						
Masa Capsula (g)						
W (%)						
w(%) promedio						
<i>Densidad Seca</i>						
MOLDE N°						
Golpes/capa:						
Dens. Seca (g/cm3)						

Curva densidad seca vs CBR



CBR calculado

CBR _____	
CBR _____	

Tabla de resultados

Compactación del suelo			
Densidad máxima (gr/cm ³)			
Humedad óptima %			
Índice CBR			
Parámetros	MOLDE N° 1	MOLDE N° 2	MOLDE N° 3
% Absorción			
Espojamiento			
CBR calculado			

Análisis de resultados:

Conclusiones:

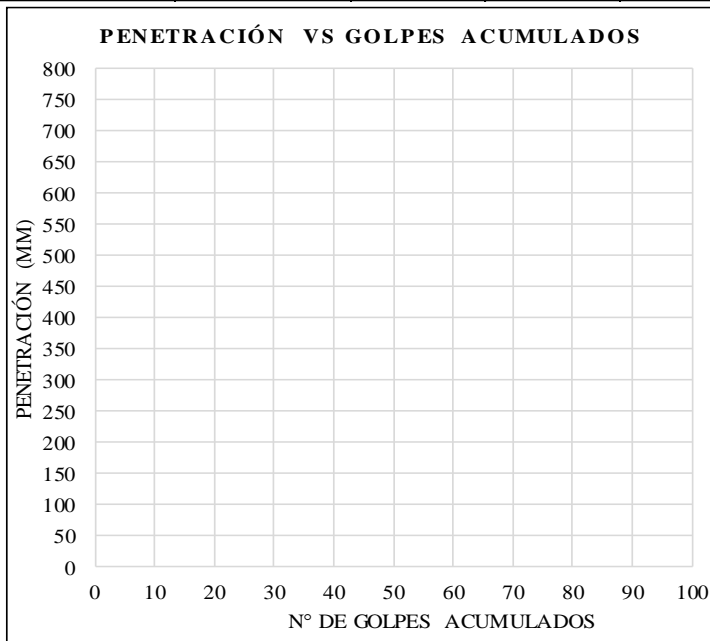
Recomendaciones:



ENSAYO N° 2 ENSAYO DCP

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		<i>NOTA:</i>	

<i>Penetración Parciales (mm)</i>	<i>Penetración Acumulada (mm)</i>	<i>N° Golpes</i>	<i>N° Golpes Acumulados</i>	<i>PENDIENTE DCP</i>	<i>% CBR</i>
0	0				
50	50				
50	100				
50	150				
50	200				
50	250				
50	300				
50	350				
50	400				
50	450				
50	500				
50	550				
50	600				
50	650				
50	700				
50	750				
50	800				



<i>DCP</i>	<i>% CBR</i>

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:

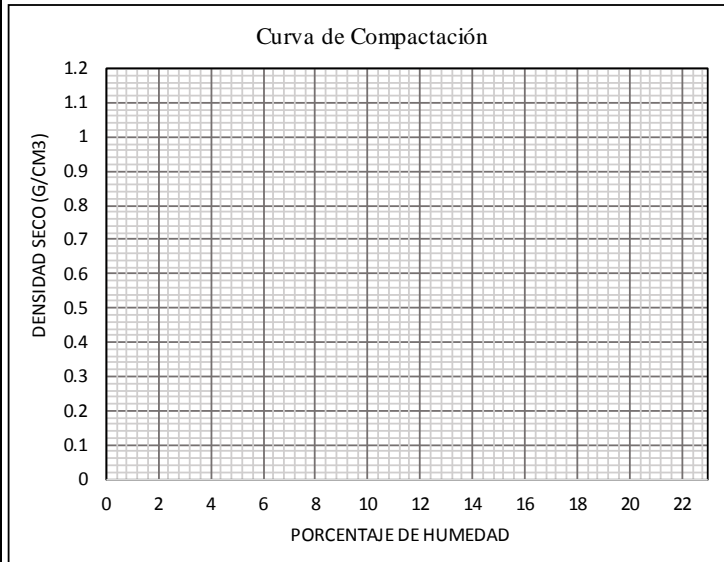


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 3 ENSAYO ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

TÍTULO:						
OBJETIVO						
DATOS PREVIOS:				NOTA:		
Identificación del suelo						
Clasificación del suelo			Límites de Atterberg			
SUCS			Límite Líquido (LL)			
			Límite Plástico (LP)			
AAASHTO			Índice de Plasticidad (IP)			
			% Humedad			
Granulometría del suelo						
TAMIZ N°	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Masa Retenida acumulada (g)	% Retenido Acumulado	% que pasa	
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.05					
1/2"	12.7					
3/8"	9.53					
N° 4	4.75					
N° 10	2					
N° 40	0.425					
N° 200	0.075					
Recipiente						
%						
Grava	Arena Total			% Fino		
	Gruesa	Media	Fina			
Determinación del contenido de cemento						
Clasificación AASHTO			Porcentaje de cemento requerido para el ensayo de compactación:			
Porcentaje de humedad para cada porcentaje de cemento.						
% Cemento	Caps N°	Masa Capsula	M. cap + S. Humedo	M. cap + S. Seco	% Humedad	% H. promedio

Curva de Compactación



RESULTADOS
Densidad seca máxima γ_d max (g/cm ³)
Porcentaje de humedad óptima % w opt

Porcentajes para la dosificación Suelo cemento en el ensayo de compresión simple

Porcentajes de cemento correspondientes a suelos finos.			
Porcentajes de cemento correspondientes a suelos granulares.			

Cantidad de agua añadir

Muestra	% Cemento	Masa Suelo Seco	P _{sss}	Peso Cemento	M. S.seco+P. Cemento	% Agua g.

<i>Propiedad de la Muestra</i>		<i>Porcentaje de cemento añadir</i>	
DS			
DC			
DI			
DM			
AM			
HM			

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Peso inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vol. inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>r m. (g/cm3)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>r d. (g/cm3)</td> <td></td> </tr> </table>	Peso inicial		Vol. inicial		r m. (g/cm3)		r d. (g/cm3)	
Peso inicial									
Vol. inicial									
r m. (g/cm3)									
r d. (g/cm3)									

Deformación pulg.	Dial de carga Kg	Def. Unitaria %	Esfuerzo kg/cm ²	
				<div style="text-align: center;"> <p>CURVA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</p> </div>

<p>RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE</p> <p style="text-align: center;">qu= kg/cm²</p>	<p>GRÁFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA</p>
--	--

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Cápsula No		
P.cáp. +S. hum.		
P.cáp. +S.seco		
P. cápsula		
Humedad %		
Promedio		

<i>Propiedad de la Muestra</i>		<i>Porcentaje de cemento añadir</i>	
DS			
DC			
DI			
DM			
AM			
HM			

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Peso inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vol. inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>r m. (g/cm³)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>r d. (g/cm³)</td> <td></td> </tr> </table>	Peso inicial		Vol. inicial		r m. (g/cm ³)		r d. (g/cm ³)	
Peso inicial									
Vol. inicial									
r m. (g/cm ³)									
r d. (g/cm ³)									

Deformación pulg.	Dial de carga Kg	Def. Unitaria %	Esfuerzo kg/cm ²	
				<div style="text-align: center;"> <p>CURVA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</p> </div>

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
qu= kg/cm ²

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Cápsula No		
P.cáp.+S. hum.		
P.cáp. +S.seco		
P. cápsula		
Humedad %		
Promedio		

GRÁFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA

<i>Propiedad de la Muestra</i>		<i>Porcentaje de cemento añadir</i>	
DS			
DC			
DI			
DM			
AM			
HM			

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Peso inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vol. inicial</td> <td></td> </tr> <tr> <td>r m. (g/cm³)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>r d. (g/cm³)</td> <td></td> </tr> </table>	Peso inicial		Vol. inicial		r m. (g/cm ³)		r d. (g/cm ³)	
Peso inicial									
Vol. inicial									
r m. (g/cm ³)									
r d. (g/cm ³)									

Deformación pulg.	Dial de carga Kg	Def. Unitaria %	Esfuerzo kg/cm ²	
				<div style="text-align: center;"> <p>CURVA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</p> </div>

<p>RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE</p> <p>qu= kg/cm²</p>	<p>GRÁFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA</p>
--	--

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Cápsula No	
P.cáp.+S. hum.	
P.cáp. +S.seco	
P. cápsula	
Humedad %	
Promedio	

<i>Propiedad de la Muestra</i>		<i>Porcentaje de cemento añadir</i>									
DS		<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>Peso inicial</td><td></td></tr> <tr><td>Vol. inicial</td><td></td></tr> <tr><td>r m. (g/cm³)</td><td></td></tr> <tr><td>r d. (g/cm³)</td><td></td></tr> </table>		Peso inicial		Vol. inicial		r m. (g/cm ³)		r d. (g/cm ³)	
Peso inicial											
Vol. inicial											
r m. (g/cm ³)											
r d. (g/cm ³)											
DC											
DI											
DM											
AM											
HM											
Deformación pulg.	Dial de carga Kg	Def. Unitaria %	Esfuerzo kg/cm ²	<div style="text-align: center;">CURVA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</div>							
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE											
qu=		kg/cm ²									
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Cápsula No											
P.cáp.+S. hum.											
P.cáp. +S.seco											
P. cápsula											
Humedad %											
Promedio											
GRÁFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA											

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 4 ENSAYO ESTABILIZACIÓN CON CAL

TÍTULO:	
----------------	--

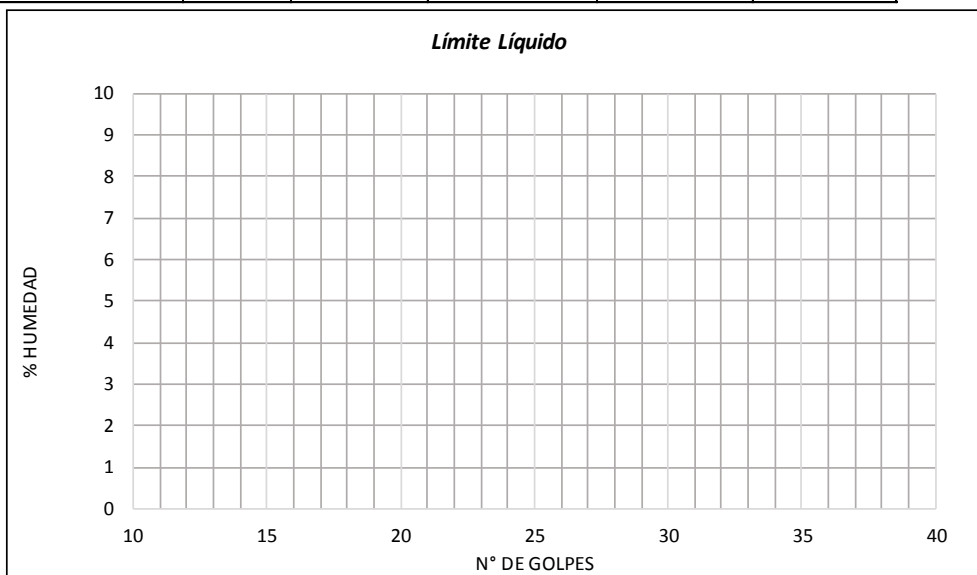
OBJETIVO	
-----------------	--

DATOS PREVIOS:	NOTA:
-----------------------	--------------

Porcentaje de cal añadida

Limite liquido(LL)

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad



Limite Plástico (LP)

Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Resultado parcial

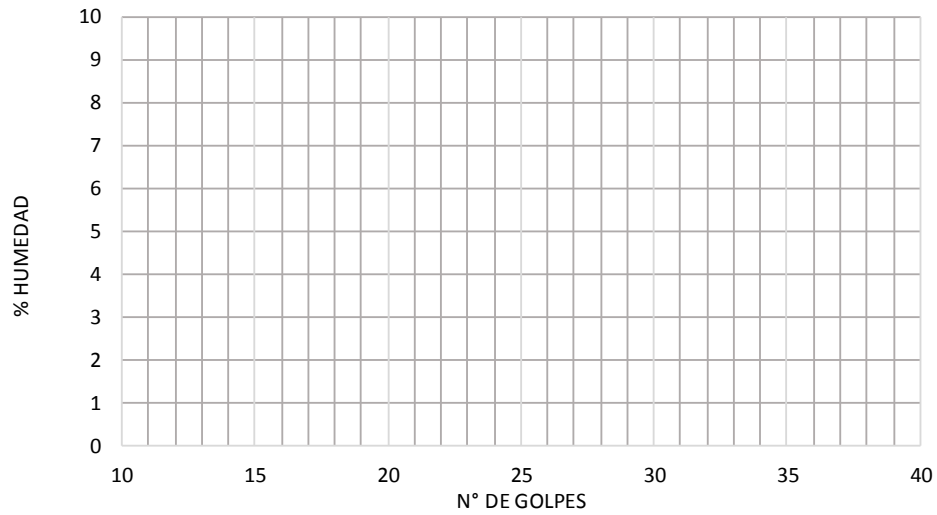
LL =	
LP =	
IP =	

Porcentaje de cal añadida

Límite líquido (LL)

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Límite Líquido



Límite Plástico (LP)

Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Resultado parcial

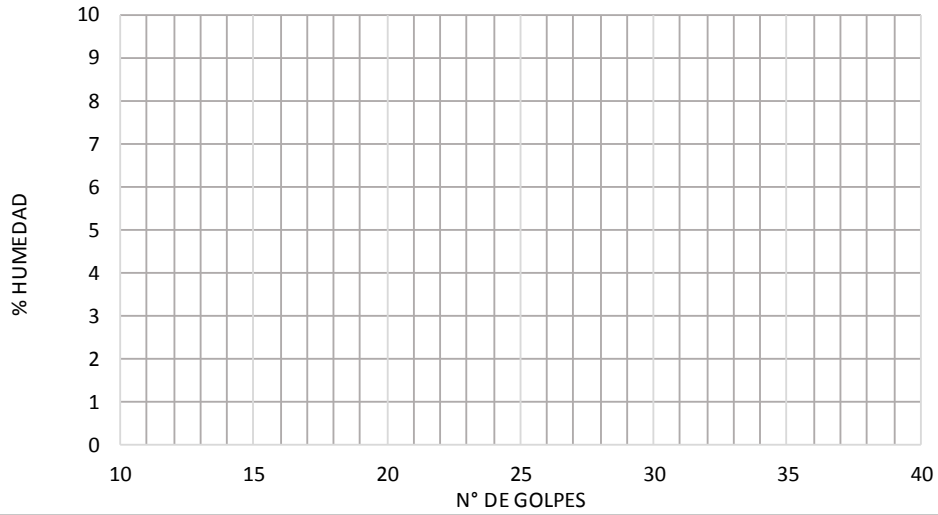
LL =	
LP =	
IP =	

Porcentaje de cal añadida

Limite liquido (LL)

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Límite Líquido



Límite Plástico (LP)

Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Resultado parcial

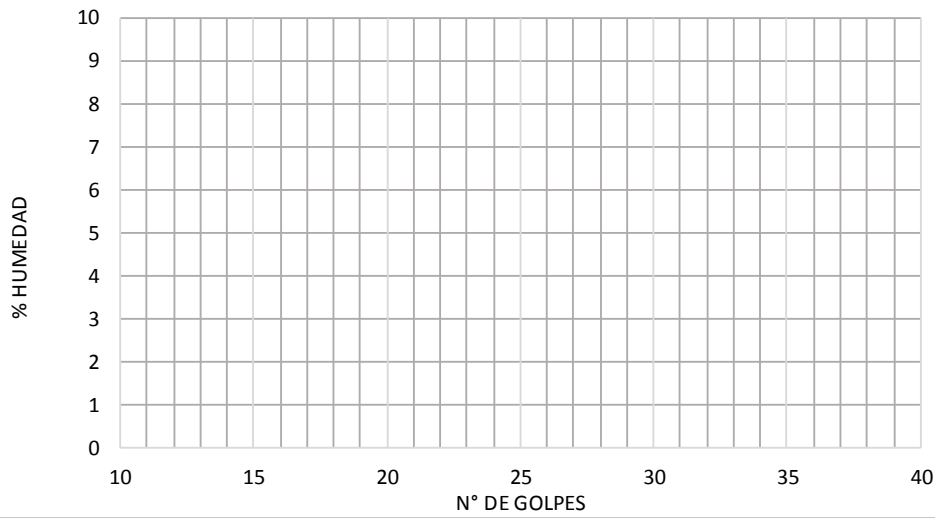
LL=	
LP=	
IP=	

Porcentaje de cal añadida

Limite liquido (LL)

N° de Golpes	Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (g)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Límite Líquido



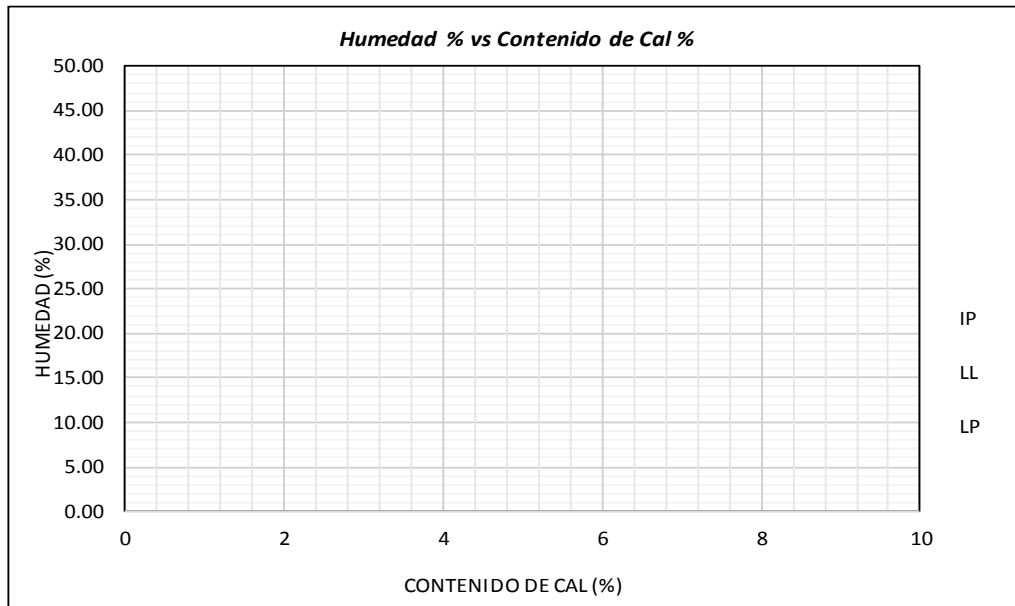
Límite Plástico (LP)

Cápsula N°	Masa Cápsula	Masa Cápsula + M. húmeda (gr)	Masa Cápsula + M. Seca (gr)	% Humedad

Resultado parcial

LL =	
LP =	
IP =	

Tabla de resultados				
Mejoramiento	% CAL	LL(%)	LP(%)	IP(%)
Estabilizacion suelo-cal				



Análisis de resultados:

Conclusiones:

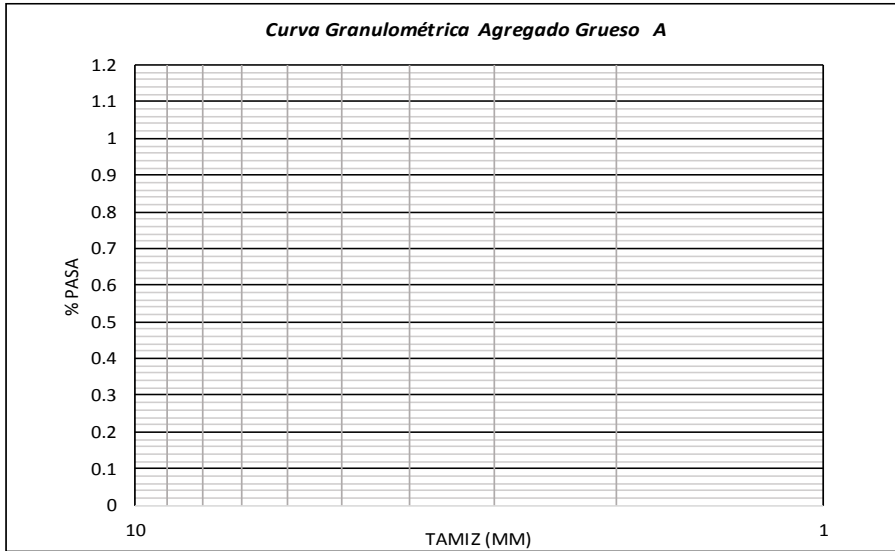
Recomendaciones:



ENSAYO N° 5-6 ENSAYO MÉTODO MARSHALL (M.CALIENTE)

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

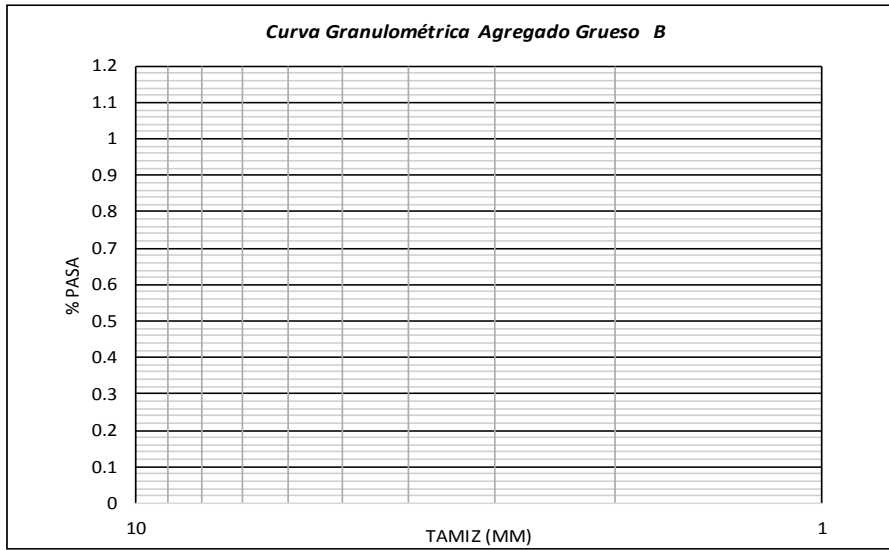
Granulometría agregado grueso A			Peso Total de la Muestra (g)	
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4			
3/4"	19.1			
1/2"	12.7			
3/8"	9.5			
4	4.8			
8	2.4			
16	1.2			
30	0.6			
50	0.3			
100	0.15			
200	0.075			
Pasa N° 200				



Gravedad Específica del agregado grueso A

Peso del agregado seco (g) Ps	
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Psss	
Peso del agregado sumergido (g)	
Gravedad específica Bulk Gsb (agre)	
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gssb (agre)	
Gravedad específica aparente Gsa (agre)	
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	

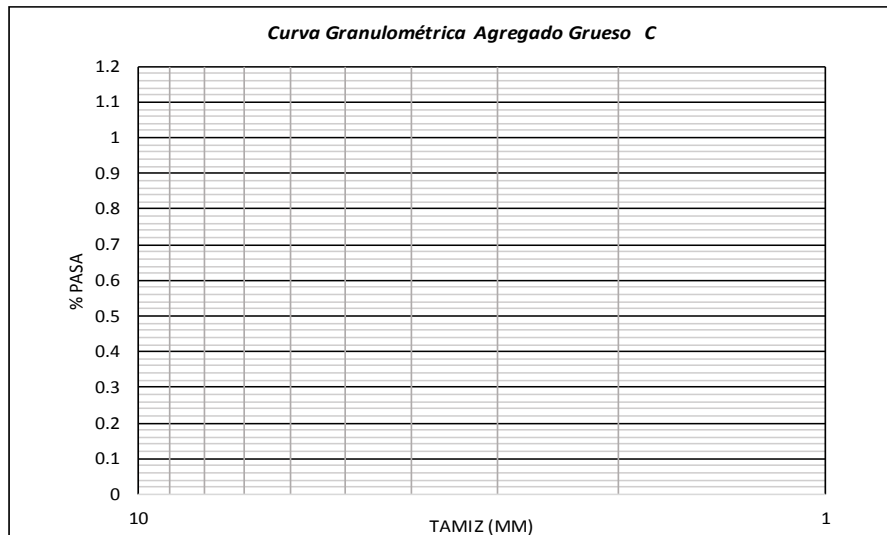
Granulometría agregado grueso B			Peso Total de la Muestra (g)	
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4			
3/4"	19.1			
1/2"	12.7			
3/8"	9.5			
4	4.8			
8	2.4			
16	1.2			
30	0.6			
50	0.3			
100	0.15			
200	0.075			
Pasa N° 200				



Gravedad Especifica del agregado grueso B

Peso del agregado seco (g) Ps	
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Ps _{ss}	
Peso del agregado sumergido (g)	
Gravedad específica Bulk G _{sb} (agre)	
Gravedad específica saturada superficialmente seca G _{ssb} (agre)	
Gravedad específica aparente G _{sa} (agre)	
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	

Granulometría agregado grueso C			Peso Total de la Muestra (g)	
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4			
3/4"	19.1			
1/2"	12.7			
3/8"	9.5			
4	4.8			
8	2.4			
16	1.2			
30	0.6			
50	0.3			
100	0.15			
200	0.075			
Pasa N° 200				

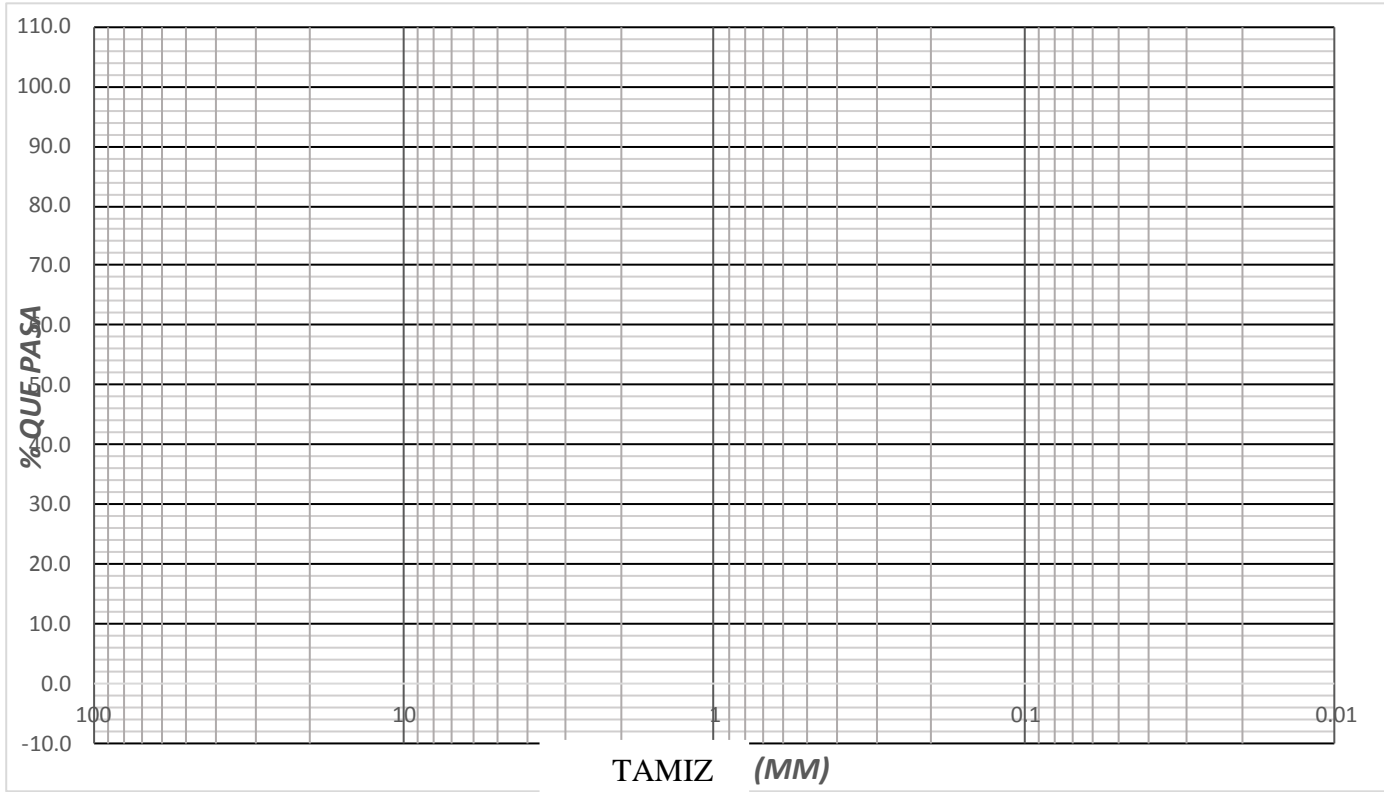


Gravedad Específica del agregado grueso C

Peso del agregado fino seco (g) P _{sf}	
Peso picnómetro más agua (g) P _{pa}	
Peso picnómetro más aguas más agregado fino (g) P _{pam}	
Peso del agregado saturado superficialmente seco (g) P _{sssf}	
Gravedad específica Bulk G _{sb} (agre.F)	
Gravedad específica saturada superficialmente seca G _{sssb} (agre.F)	
Gravedad específica aparente G _{sa} (agre.F)	
Porcentaje de Absorción Abs % (agre.F)	

<i>Mezcla de los agregados.</i>												
% DE MEZCLA			Datos de mezcla de agregados									
Porcentaje (a)			Tamiz (mm)	Especi. Min.	Especi. Máx.	% Pasa						
Porcentaje (b)												
Porcentaje (c)												
Sumatoria	100											
MEZCLA DE AGREGADOS												
Tamiz N°	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	16	30	50	100	200	P. 200
Diam. mm	25.4	19.1	12.7	9.5	4.8	2.4	1.2	0.6	0.3	0.15	0.075	
Material A												
Material B												
Material C												
Mezcla												
Retenido Acumulado												
Retenido Parcial												
%Peso												
% Acumu.												
Especificación MOP												

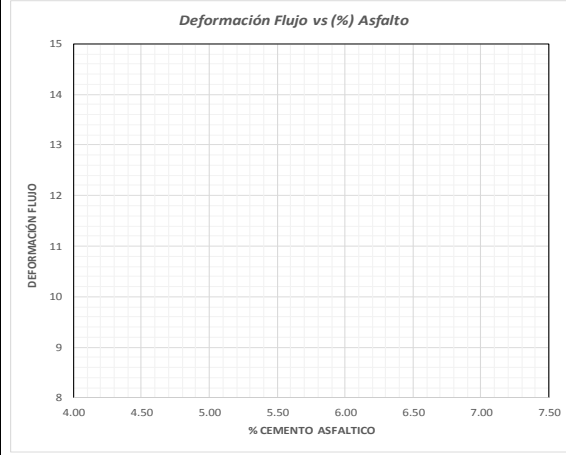
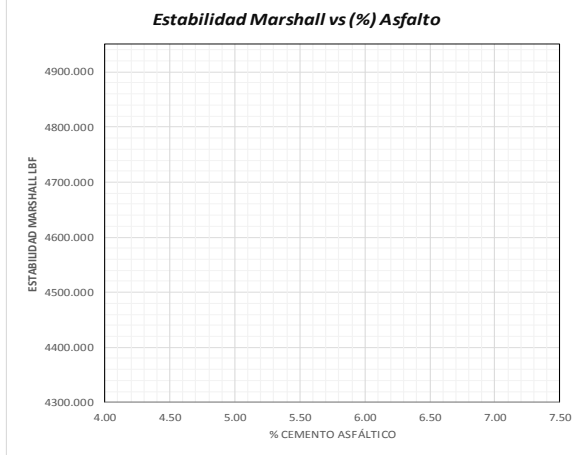
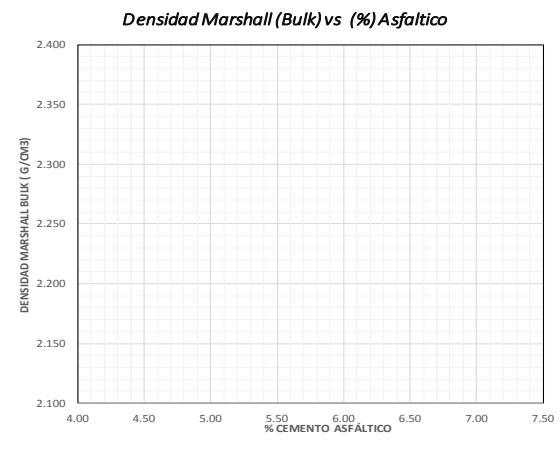
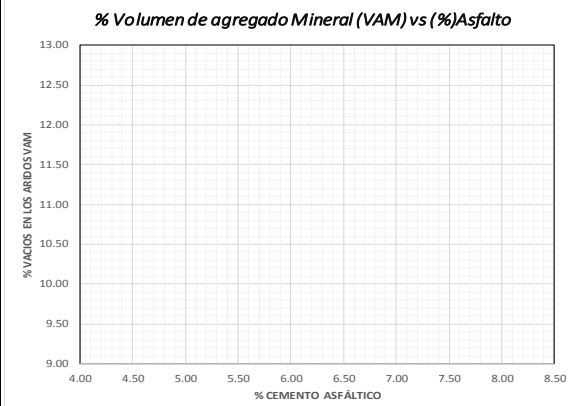
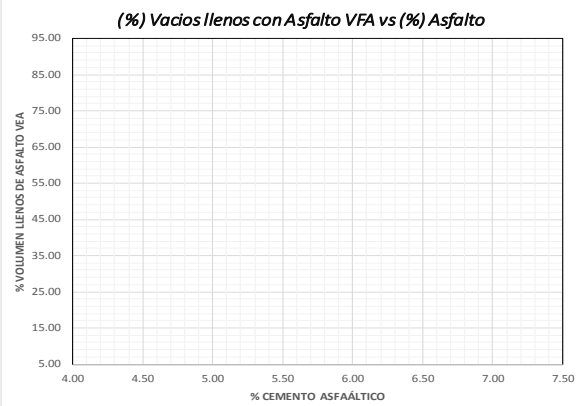
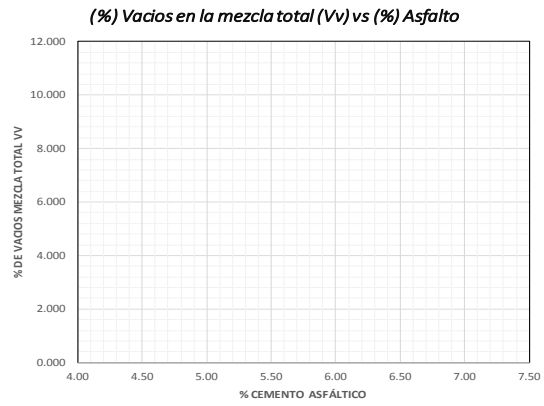
Curva granulométrica (MOP-001- F 2002)



Porcentaje de partida de asfalto en la mezcla.		
$P = M \times (S)^{(1/5)}$		
Donde:		
P= % del Asfalto en peso /al Peso		
M= Coeficiente del tráfico (3.75 -425)		
S= Superficie específica de los áridos		
$S = 0.17 G + 0.33g + 2.30 A + 12a + 135f$		
Donde:		
G= % material retenido en el 3/8 "		
g= % material que pasa T. 3/8" y retiene en el T. N° 4		
A= % material que pasa T. N°4 y retiene en el T. N°50		
a = % material que pasa T. N°50 y retiene en el T. N°200		
f = % material que pasa T. N° 200		
$M = 3.75 - 4.25$		
$P (\%) = M \times (S)^{(1/5)}$		
Peso para Tres Briquetas (Material A, B,C) + (asfalto) (g)		3600
Asfalto	Asfalto	Peso del Material
(%)	(g)	[(A+B+C) -Asfalto](g)

Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

BRIQUET A N°	Asfalto		MEZCLA		Gsb	PESO MUESTRA (gramos)			VOL. cm ³	DENSIDAD (gr/cm ³)		Volumen % Total			VAM %	VFA %	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD			FLUJO		
	% ASF.	(Gasf)	Tipo de material	% Agregado		Aire Wa	Saturado Wss	Agua Ww		BULK Gmb	RICE Gmm'	Vagre	Vv	Vae				Medida KN	Medida Lb	Correg.	(mm)	1/100'	



RESUMEN DE DATOS						
% Asfalto.	Densidad Bulk	Vv	VAM	VFA	Estabilidad	Flujo
Tabla de resultados Marshall						
Propiedades de la mezcla		Laboratorio		Especificación Marshall		
Estabilidad (lb)						
Flujo (pulg/100)						
Densidad Bulk						
Vacíos llenos de asfalto V.F.A (%)						
Vacíos de aire (%)						
Relación Filler-Betún						
Contenido óptimo de asfalto (%)						
Análisis de resultados:						
Conclusiones:						
Recomendaciones:						



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 7 ENSAYO RICE

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

TABLA DE DATOS

MASA DE LA MUESTRA EN EL AIRE (g.)		A
MASA FRASCO + AGUA (a 25° C) (g)		B
MASA FRASCO + AGUA + MUESTRA (a 25 ° C) (g)		C

$$\text{Peso específico Rice} = \frac{A}{A + B - C}$$

PESO ESPECÍFICO RICE (g /cm3)	
---------------------------------------	--

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



ENSAYO N° 8 HORNO DE IGNICIÓN

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

TABLA DE DATOS	
MASA DE LA CANASTILLA (g)	
MASA DE LA MUESTRA (g)	
MASA DE LA CANASTILLA + MUESTRA	
RESULTADOS DEL ENSAYO	
DURACIÓN DEL ENSAYO (min.)	
PESO FINAL (g.)	
PERDIDA DE PESO (g.)	
PERDIDA DE PESO (%)	
% BETUN INERTES	

FACTOR CORRECCIÓN:

CÁLCULO DE PORCENTAJE ASFÁLTICO

$$CF (\%) = \% ACo - ACt$$

$$AC(\%) = \left[\frac{Mm - pf}{Pf} \times 100 \right] - CF$$

Donde:

DONDE:

% Aco: Contenido de asfalto determinado por el Horno	
% Act: Contenido de asfalto Real	
CF (%) FACTOR CORRECCIÓN	

Mm: Masa de la muestra (gr)
Pf: Peso final despues de ignición

RESULTADO	
AC %	

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 9 ENSAYO DUCTILIDAD

TÍTULO:

OBJETIVO

DATOS PREVIOS:

NOTA:

TABLA DE DATOS

Probeta N°	Distancia de Rotura(cm)
1	
2	
3	

$$\text{DUCTILIDAD} = \frac{\sum (\text{distancia de Rotura})}{\text{N}^\circ \text{ Probetas}}$$

PROMEDIO		MOP-001-F-2002
	cm3	Min 100

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 10 PENETRACIÓN

TÍTULO:	
OBJETIVO	
DATOS PREVIOS:	NOTA:

Parámetros del ensayo

Temperatura de ensayo (°C)	25
Carga (gr).	100
Tiempo de carga (segundo)	5

PESO PENETRÓMETRO:

Peso aguja (g)	
Peso vástago (g)	
Peso de pesa (g)	
Peso penetrómetro (g)	

TIEMPO DE DURACIÓN Y TEMPERATURA DE LA PENETRACIÓN: 5 segundos/25° C

Punto	Temperatura (°C)	Penetración (mm*10 ²)
1		
2		
3		
<i>Promedio</i>		

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	> 249
Diferencia máxima entre valores extremos	2	4	6	8

Nota:

Descartar el ensayo en caso de que no se cumpla esta tabla.

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

<i>TABLA DE DATOS</i>		
Temperatura °C	Anillo N°	Distancia de emboltura (mm)

<i>PROMEDIO</i>	
-----------------	--

Análisis de resultados:

Conclusiones:

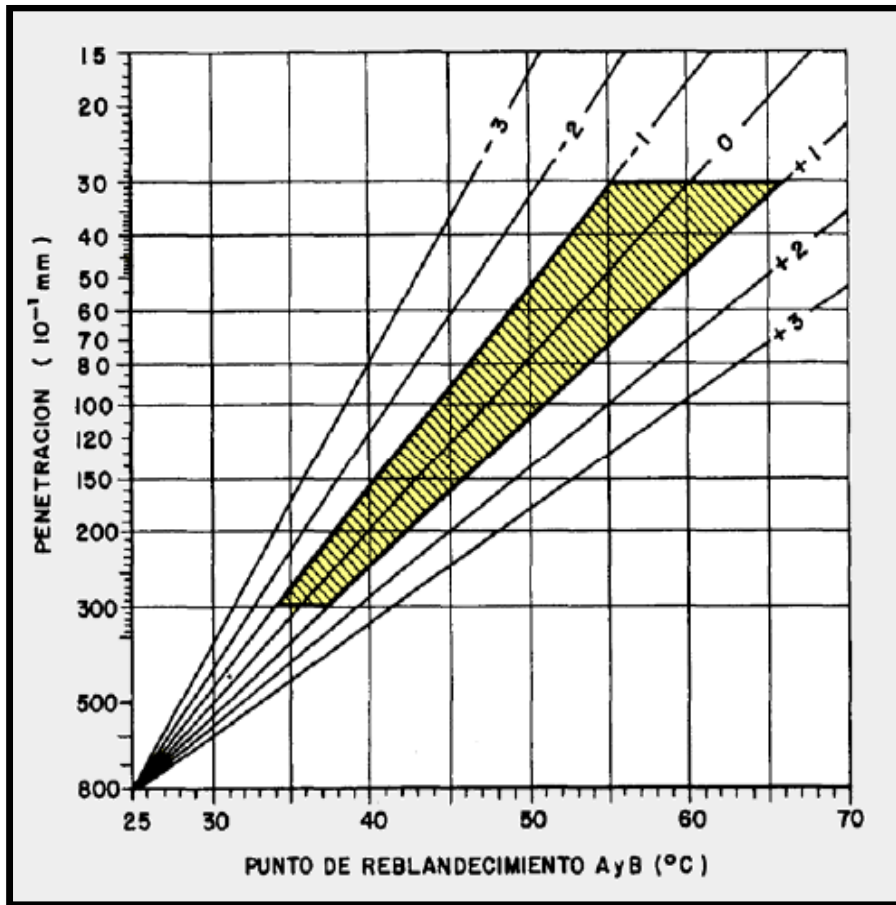
Recomendaciones:



ENSAYO N° 12 ÍNDICE DE PENETRACIÓN

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	
<i>Penetración</i>		<i>Punto de ablandamiento:</i>	
Punto	Temperatura (°C)	Penetración (mm*10 ²)	
Promedio			

Ilustración 29 Diagrama índice de penetración.



Fuente: Bañón, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento. Caminos II. pág. 167.

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



ENSAYO N° 13 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
Cantidad de cemento asfáltico (g)	
Tiempo de ejecución del ensayo (min)	

CALCULO DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA

MUESTRA	TEMPERATURA °C	TORQUE (%)	VELOCIDAD (rpm)	Viscosidad Cinemática (cSt)
PROMEDIO				

Viscosidad Cinemática	cSt
-----------------------	-----

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 14 PUNTO DE INFLAMACIÓN Y LLAMA

TÍTULO:	
OBJETIVO	
DATOS PREVIOS:	NOTA:

<i>TABLA DE DATOS</i>	
Punto de Inflamación (° C)	
Punto de Combustión (° C)	

Si la presión difiere de 760 mm de mercurio corrija el punto de destello o de inflamación o ambos por medio de las siguientes ecuaciones planteadas:

$$\begin{aligned} \text{Punto de inflamación, combustion corregido :} & \quad F + 0.06 (760 - P) \\ & \quad C + 0.03 (760 - P) \end{aligned}$$

Para temperatura medida en °F

Para temperatura medida en °C

Donde:

F / C : Punto de inflamación, combustion observado

P: Presión barométrica ambiente en mm de mercurio

<i>TABLA DE DATOS CORREGIDOS</i>		MOP-001-F-2002
Punto de Inflamación (° C)		Min. 232
Punto de Combustión (° C)		

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 15 CALIDAD DEL AGREGADO TIPO B

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

Parámetros ensayo de calidad del agregado.

Parámetros	Valoración
Tipo de gradación:	
Número de esferas:	

Lectura del ensayo normalizado.

Parámetros	Valor
Masa inicial de la muestra (g) A.	
Masa retenida en el tamiz N° 12 después de 500 revoluciones (g) B.	
Masa que pasa el tamiz N° 12 (g) C.	
Porcentaje de desgaste (%) D.	

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



ENSAYO N° 16 CALIDAD DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

TÍTULO:												
OBJETIVO												
DATOS PREVIOS:										NOTA:		
Tabla 125 Requisitos para la calidad de la emulsión catiónica (ejercicio práctico).												
PROPIEDAD	ROTURA RÁPIDA		ROTURA MEDIA						ROTURA LENTA			
	CRS – 1		CRS – 2	CMS – 2		CMS – 2h		CSS – 1		CSS – 1h		
	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
viscosidad												
Furol, a 25 gc, s.	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
Furol, a 50 gc, s.	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-
Estabilidad al almacenaje 24h, %	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsificación: 35ml. 8% sds, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
cubrimiento												
Agregado seco.	-	-	-	-	bueno		bueno		-	-	-	-
Luego rociado.	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
Agregado húmedo.	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
Luego rociado.	-	-	-	-	pobre		pobre		-	-	-	-
carga de partícula	+		+		+		+		+		+	
mezcla con cemento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
Ens. del tamiz	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1
destilación: aceite destilado %	-	3	-	3	-	12	-	12				
residuo, %	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
Ensayos en el residuo:												
Penetración, a 25grados, 100 gr, 5s.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductilidad, a 25grados, 5 cm/m, cm	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno %.	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-
Temperatura de empleo:												
Almacenamiento	50	85	50	85	50	85	50	85	10	60	10	60
Mezcla en planta	-	-	-	-	10	70	10	70	10	70	10	70
Mezcla en sitio	-	-	-	-	20	70	20	70	20	70	20	70
Tratamiento superficial	50	85	50	85	-	-	-	-	-	-	-	-
Fuente: MOP-001- F 2002 Tabla 810-4-2												
Emulsión empleada:												
Análisis de resultados:												
Conclusiones:												
Recomendaciones:												



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 17 EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		NOTA:	

Porcentaje de emulsión asfáltica.

Parámetro				Valor	
Porcentaje de material retenido en la malla N° 8				a	
Porcentaje de material retenido en la malla N°8 – N°200				b	
Porcentaje de material que pasa el tamiz N°200				c	
K	0.15	Si c esta entre	11% - 15%	k	
	0.18		6% - 10%		
	0.2	Si c es menor	5%		
Absorción del agregado, varía 0.0-0.2, valor recomendado: 0,7				F	
Porcentaje de residuo en la emulsión				R	

Emulsión asfáltica para incorporar.

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{\% \text{ De Asfalto}}{\% \text{ De residuo en la emulsión (R)}}$$

$$\% \text{ De Asfalto} = 0.035 a + 0.045 b + kc + F$$

% Emulsión	
------------	--

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA LABORATORIO DE VIAS Y PAVIMENTOS.

ENSAYO N° 18 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN (PRE ENVUELTA).

TÍTULO:			
OBJETIVO			
DATOS PREVIOS:		<i>NOTA:</i>	

Cantidad de Agua de PRE-ENVUELTA	
Donde:	
CANTIDAD DEL AGREGADO=	
% Emulsión óptimo teórico. =	
% Ho= Cantidad de agua inicial a incorporar en porcentaje	
% Ho inicial	
Cantidad de Agua de PRE-ENVUELTA	
ITERACIONES Tentativas.	
% Ho-2%	
% Ho-1%	
% Ho+1%	
% Ho+2%	
F= Es el valor en porcentaje óptimo de agua a incorporar de todas las iteraciones realizadas el más favorable	

Resultados del porcentaje óptimo de agua a incorporar				
Peso para Tres Briquetas (g)		Peso para Tres Briquetas (g)		
Emulsión	Emulsión	Ho	Ho	Peso del Material (% 1/2+% 3/8+% Fino) -EA (g)
%	g.	%	g.	

Análisis de resultados:

Conclusiones:

Recomendaciones:

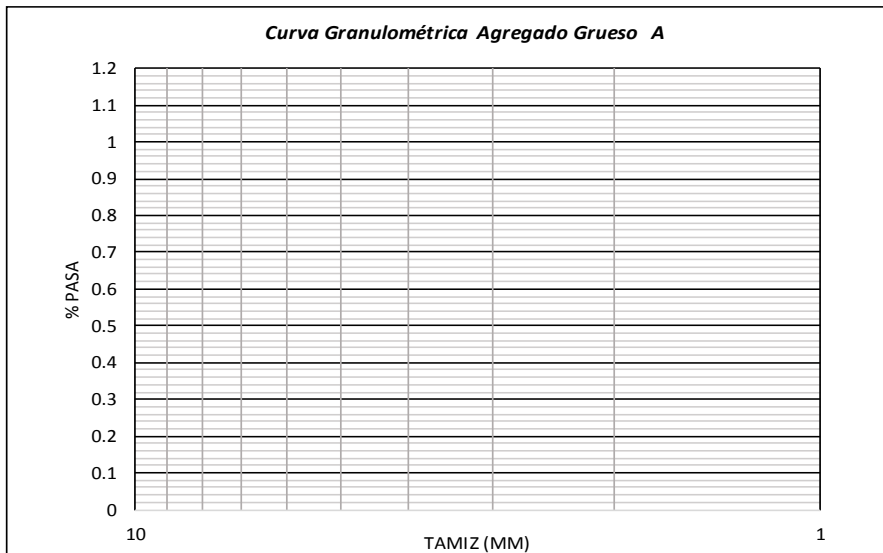


ENSAYO N° 19 PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN (M.FRIO)

TÍTULO:	
OBJETIVO	

DATOS PREVIOS:		NOTA:	
-----------------------	--	--------------	--

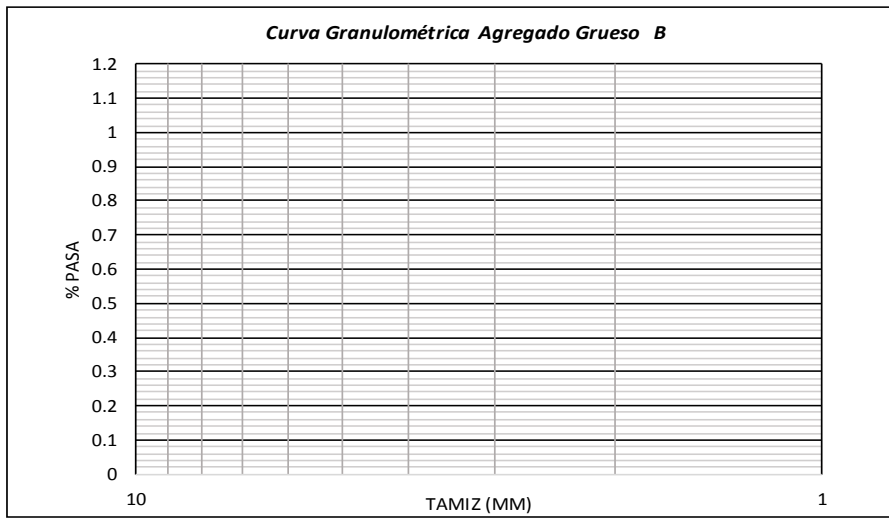
Granulometría agregado grueso A			Peso Total de la Muestra (g)	
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4			
3/4"	19.1			
1/2"	12.7			
3/8"	9.5			
4	4.8			
8	2.4			
30	0.6			
50	0.3			
100	0.15			
200	0.075			
Pasa N° 200				



Gravedad Específica del agregado grueso A

Peso del agregado seco (g) Ps	
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Ps _{ss}	
Peso del agregado sumergido (g)	
Gravedad específica Bulk G _{sb} (agre)	
Gravedad específica saturada superficialmente seca G _{sssb} (agre)	
Gravedad específica aparente G _{sa} (agre)	
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	

Granulometría agregado grueso B			Peso Total de la Muestra (g)	
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4			
3/4"	19.1			
1/2"	12.7			
3/8"	9.5			
4	4.8			
8	2.4			
16	1.2			
30	0.6			
50	0.3			
100	0.15			
200	0.075			
Pasa N° 200				



Gravedad Especifica del agregado grueso B

Peso del agregado seco (g) Ps	
Peso del agregado superficie seca saturada SSS (g) Psss	
Peso del agregado sumergido (g)	
Gravedad específica Bulk Gsb (agre)	
Gravedad específica saturada superficialmente seca Gsss (agre)	
Gravedad específica aparente Gsa (agre)	
Porcentaje de Absorción ABS % (agre)	

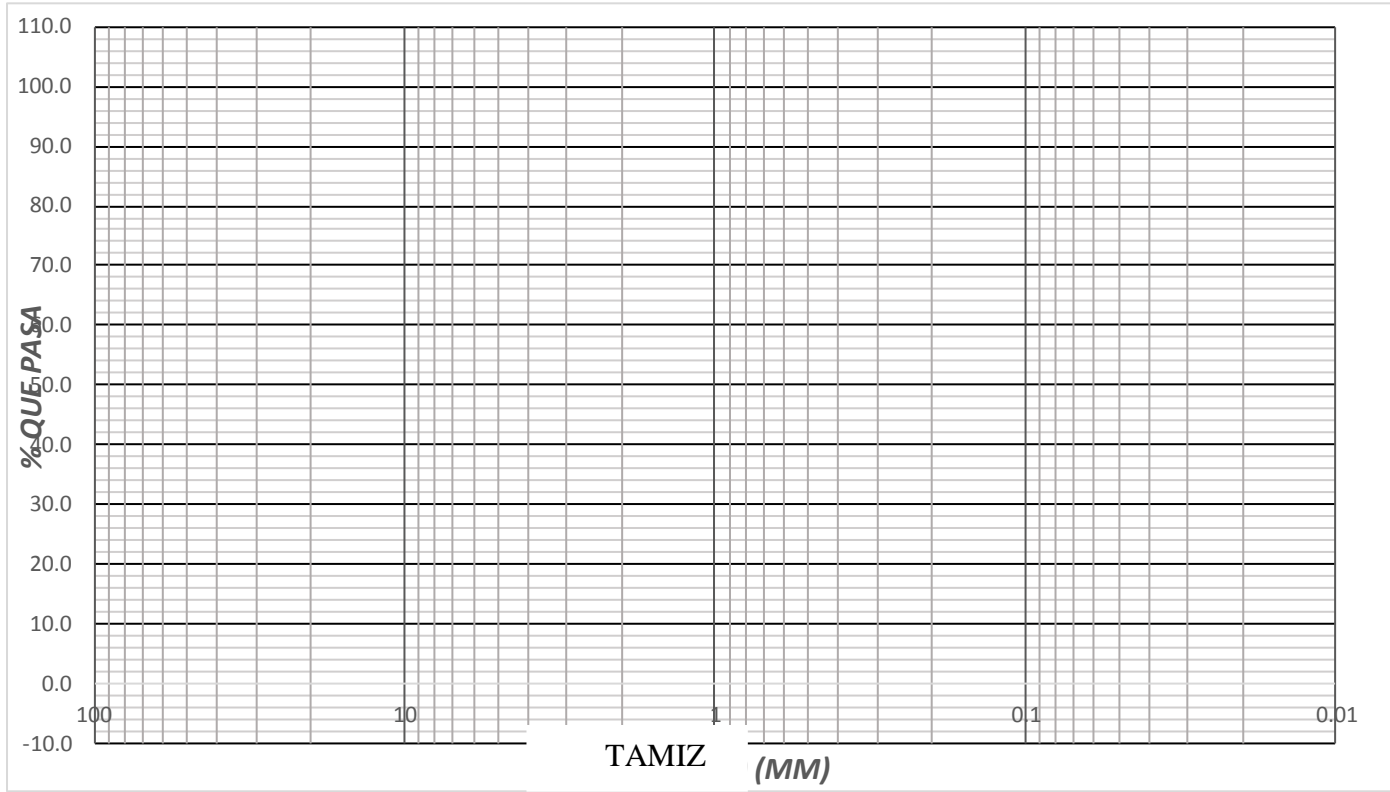
Granulometría agregado grueso C			Peso Total de la Muestra (g)	
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso. Reten. Acumula. (g)	% Retenido	% que Pasa
1"	25.4			
3/4"	19.1			
1/2"	12.7			
3/8"	9.5			
4	4.8			
8	2.4			
16	1.2			
30	0.6			
50	0.3			
100	0.15			
200	0.075			
Pasa N° 200				

Curva Granulométrica Agregado Grueso C

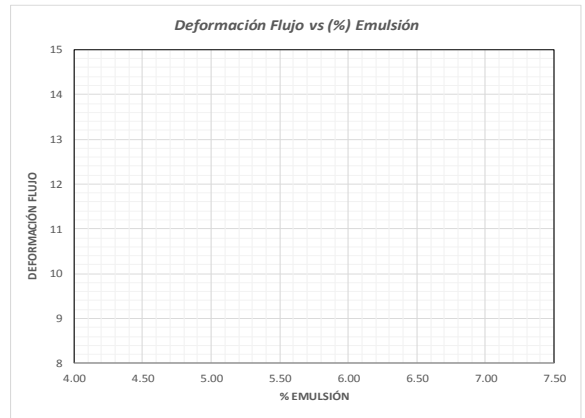
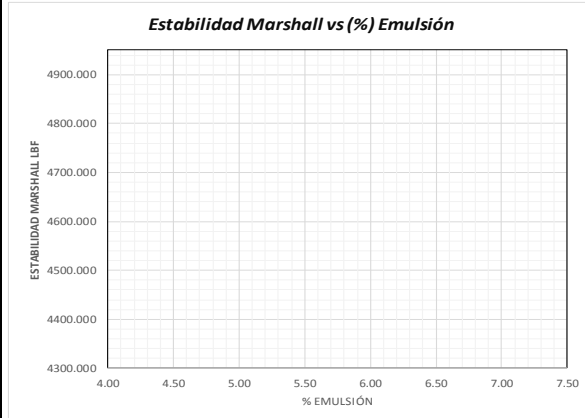
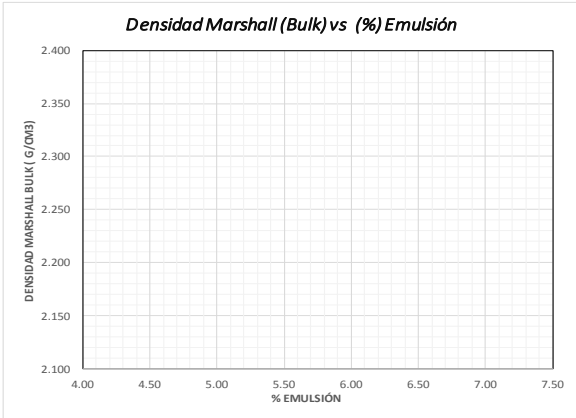
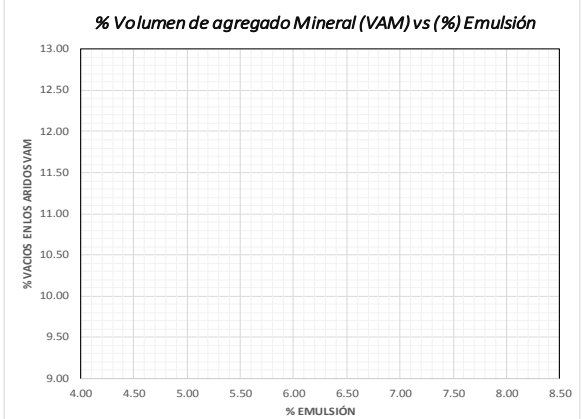
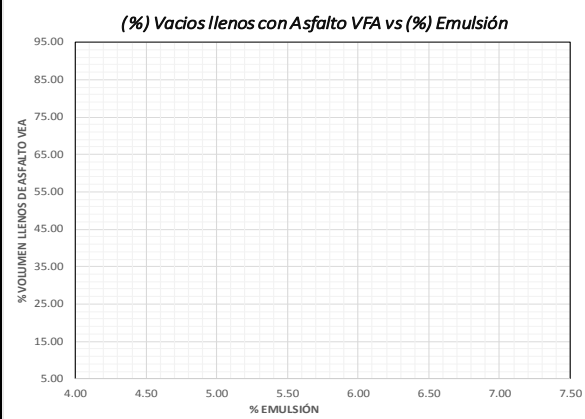
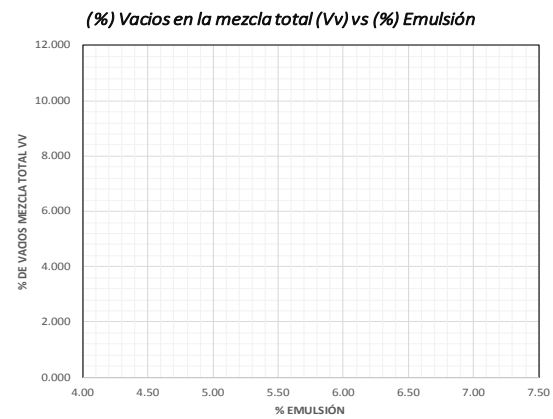
Gravedad Específica del agregado grueso C	
Peso del agregado fino seco (g) P _{sf}	
Peso picnómetro más agua (g) P _{pa}	
Peso picnómetro más aguas más agregado fino (g) P _{pam}	
Peso del agregado saturado superficialmente seco (g) P _{sssf}	
Gravedad específica Bulk G _{sb} (agre.F)	
Gravedad específica saturada superficialmente seca G _{sssb} (agre.F)	
Gravedad específica aparente G _{sa} (agre.F)	
Porcentaje de Absorción Abs % (agre.F)	

<i>Mezcla de los agregados.</i>												
% DE MEZCLA			Datos de mezcla de agregados									
Porcentaje (a)			Tamiz (mm)	Especi. Min.	Especi. Máx.	% Pasa						
Porcentaje (b)												
Porcentaje (c)												
Sumatoria	100											
<i>MEZCLA DE AGREGADOS</i>												
Tamiz N°	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	16	30	50	100	200	P. 200
Diam. mm	25.4	19.1	12.7	9.5	4.8	2.4	1.2	0.6	0.3	0.15	0.075	
Material A												
Material B												
Material C												
Mezcla												
Retenido Acumulado												
Retenido Parcial												
% Peso												
% Acumu.												
Especificación MOP												

Curva granulométrica (MOP-001- F 2002)



% Emulsión=% Asfalto/% Residuo				
Donde:				
%Emulsión= Emulsión necesaria para la mezcla.				
%Asfalto= Asfalto con el que cuenta la emulsión.				
%Residuo=Residuo que contiene la emulsión.				
$\% \text{Asfalto} = 0.035a + 0.045b + kc + F$				
Donde:				
a=% retenido en el tamiz #8 en número entero				
b= % que pasa el tamiz #8 y retiene el #200				
Kc=0,15 para el 11-15% de lo que pasa el tamiz # 200				
Kc=0,18 para el 6-10% de lo que pasa el tamiz # 200				
Kc=0,20 para el 5% o menos de lo que pasa el tamiz # 200				
F= 0-2% Basado en la absorción del agregado fino o grueso				
(% Emulsión = % Asfalto/%Residuo				
Peso para Tres Briquetas (gr)				
Emulsión		Emulsión		Peso del Material (% 1/2+%3/8+%Fino) - EA (g)
%		g.		
Cantidad de Agua de PRE-ENVUELTA				
Donde:				
CANTIDAD DEL AGREGADO= 1200 gr.				
%Emulsión óptimo teórico. = 7,44%				
%Ho= Cantidad de agua inicial a incorporar en porcentaje				
%Ho inicial				
ITERACIONES Tentativas.				
%Ho-2%				
%Ho-1%				
%Ho+1%				
%Ho+2%				
F= Es el valor en porcentaje óptimo de agua a incorporar de todas las iteraciones realizadas el más favorable				
Porcentaje de agua para el moldeo de briquetas.				
Peso para Tres Briquetas (gr)		Peso para Tres Briquetas (gr)		3600
Emulsión		Emulsión		Peso del Material (%1/2+%3/8+%Fi no) -CA (g)
%		g.		



Datos	% EMULSIÓN	Parámetros		RESUMEN DE DATOS																			
		BULK	ESTABILIDAD	% Emulsión	Bulk	Estabilidad	Flujo	Vv	VAM	VAF													
		FLUJO	Vv																				
		VAM																					
		VAF																					
		FINAL DISEÑO																					
BRIQUET A N°	Emulsión Asfáltica		MEZCLA		Gsb	PESO MUESTRA (gramos)			VOL cm ³	DENSIDAD (gr/cm ³)		Volumen % Total			VAM %	VFA %	FACTO R CORRE	ESTABILIDAD			FLUJO		
	% EA	(Gasf)	Tipo de material	% Agregado		Aire Wa	Saturado Ws	Agua Ww		BULK Gmb	RICE Gmm'	Vagre	Vv	Vae				Medida KN	Medida Lb	Correg.	(mm)	1/100"	
BRIQUETAS ENSAYADAS CON MUESTRA SECA																							
BRIQUETAS ENSAYADAS CON MUESTRA SATURADA																							

% DE PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN		
$\%PINM = ((R1-R2)/R1) * 100$		
Donde:		
%PINM= Porcentaje de la pérdida de estabilidad por inmersión en agua.		
R1= Estabilidad del espécimen en condiciones normales (seco) para un contenido de emulsión específico en (Kpa).		
R2=Estabilidad del espécimen sumergido para un contenido de emulsión específico en(KPa)		
$\%PINM = ((R1-R2)/R1)$		
Donde:		
R1= Estabilidad del espécimen seco (Kpa).		
R2= Estabilidad del espécimen sumergido (Kpa).		
$\%PINM = ((R1-R2)/R1) * 100$		
% DE RESISTENCIA CONSERVADA		
$I.R.\% = (R2/R1) * 100$		
Donde:		
I.R.% = Es el índice de resistencia conservada en porcentaje.		
R2=Estabilidad del espécimen sumergido para un contenido de emulsión específico en(KPa)		
$I.R.\% = (R2/R1)$		
Donde:		
R1= Estabilidad del espécimen seco (Kpa).		
R2= Estabilidad del espécimen sumergido (Kpa).		
$I.R.\% = (R2/R1) * 100$		
RESULTADOS		
PARÁMETROS	RESULTADOS OBTENIDOS	
ESTABILIDAD MUESTRA SECA (lb)		
ESTABILIDAD MUESTRA SATURADA (lb)		
PERDIDA DE ESTABILIDAD (%)		
RESISTENCIA CONSERVADA (%)		
CUBRIMIENTO DEL AGREGADO (%)		
FLUJO MUESTRA SECA (pulgada/100)		
FLUJO MUESTRA SATURADA (pulgada/100)		
VACIOS TOTALES MUESTRA SECA (%)		
VACIOS TOTALES MUESTRA SATURADA (%)		
PORCENTAJE DE VACIOS CON AIRE M. SATURADA (%)		
NORMAS		
NORMAS MOP-001-F-2002	DISEÑO MARSHALL	ASPHALT INSTITUTE
min 1000 máx 2400	min 750	min 2224
1200	min 750	-
-	max 50%	max 50%
min 50%	min 50%	min 50%
-	min 95%	min 50%
min 8 máx 16	min 8 máx 18	-
min 8 máx 16	min 8 máx 18	-
-	min 3 máx 18	-
-	min 3 máx 18	-
min 3 máx 5	min 3 máx 5	-
min 3 máx 5	min 3 máx 5	-
Análisis de resultados:		
Conclusiones:		
Recomendaciones:		