



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y
MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS
ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE
TUNGURAHUA.

AUTOR:

CRISTHIAN ANDRÉS BONILLA ESPINOSA

TUTOR:

ING. MG. FAVIO PAÚL PORTILLA YANDÚN

Ambato – Ecuador

2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Favio Portilla, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”, es de autoría del Sr. Cristhian Andrés Bonilla Espinosa, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

En todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, enero 2020



Ing. Mg. Favio Portilla

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristhian Andrés Bonilla Espinosa con CI: 0550059695, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”, es de mi completa autoría.

Ambato, enero del 2020



Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero del 2020



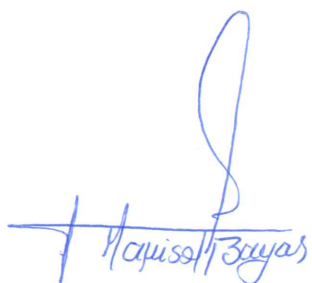
Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”, del egresado Cristhian Andrés Bonilla Espinosa, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, enero del 2020

Para constancia firman.



Ing. Mg. Marisol Bayas



Ing. Mg. Lorena Pérez

DEDICATORIA

A mis padres Marcelo y Mary por el esfuerzo, sacrificio y dedicación que realizaron a lo largo de estos años para poder ayudarme a culminar mis estudios y verme realizado como profesional. Este logro también es suyo y se los dedico.

Dedico a mis dos hermanas Jhoselyn y Alexandra por el amor y todo lo que hemos vivido juntos, porque sé que cuento con ellas y ellas pueden contar conmigo. Dedico a mi hermano Erik, por que crecimos juntos, por nuestros sueños y por nuestra amistad.

Y a todas las personas que están y no están, a los que en su momento hicieron parte de lo que ahora soy, a los amigos y familiares que han sido faro y luz en situaciones adversas.

Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, al universo y a la vida, por darme la oportunidad de vivir este momento tan especial y lleno de felicidad.

A mis padres Marcelo y Mary, gracias infinitas por la persona que me he convertido, por los valores inculcados, por darme la confianza y las facilidades de cumplir mi sueño y alcanzar esta meta.

A mis hermanas Jhoselyn y Alexandra por nunca dejarme solo a pesar de las circunstancias, por su ayuda incondicional cuando lo necesito. A mi hermano Erik por apoyarme en mis decisiones y corregirme cuando las cosas no están bien, por ser ese hermano mayor ejemplar.

A mis primos Edwin y Paola por apoyarme y brindarme su confianza cuando lo necesitaba; a Wuallo, Juan, Esteban y Javier por su apoyo moral, por el cariño y la amistad de hermanos que tenemos.

A mis amigos, a todos aquellos que me dieron su apoyo académico y moral, a ustedes que hicieron que mi etapa universitaria se conviva con alegría y armonía. Gracias.

A mi tutor Favio Portilla que con ayuda de sus conocimientos se hizo posible este trabajo de titulación.

Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación Teórica	3
1.1.3.1. Suelos Granulares.....	3
1.1.3.1.1. Definición.....	3
1.1.3.1.2. Tamaño de Partículas del suelo	3
1.1.3.2. Propiedades Índice	4
1.1.3.2.1. Contenido de Humedad (w%)	4
1.1.3.2.2. Relación de Vacíos (e)	4
1.1.3.2.3. Porosidad (n%).....	5
1.1.3.2.4. Grado de Saturación de agua (Gw%)	5
1.1.3.2.5. Grado de Saturación de aire (Ga%).....	5
1.1.3.2.6. Granulometría.....	6
1.1.3.2.7. Límites de Atterberg.....	9
1.1.3.2.7.1. Límite Líquido.....	10

1.1.3.2.7.2.	Límite Plástico.....	10
1.1.3.2.7.3.	Índice Plástico	10
1.1.3.2.8.	Gravedad Específica.....	11
1.1.3.2.9.	Densidad de Campo (Método de cono y Arena)	12
1.1.3.3.	Clasificación de Suelos	12
1.1.3.3.1.	Sistema de Clasificación AASHTO	13
1.1.3.3.2.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelo.....	16
1.1.3.4.	Propiedades Mecánicas	19
1.1.3.4.1.	Compactación.....	19
1.1.3.4.1.1.	Energía de Compactación.....	20
1.1.3.4.1.2.	Efecto del tipo del Suelo	20
1.1.3.4.1.3.	Método Próctor Estándar.....	21
1.1.3.4.1.4.	Método Próctor Modificado	22
1.1.3.4.2.	Relación de Soporte California CBR	23
1.1.3.4.3.	Cono Dinámico de Penetración DCP	25
1.1.3.5.	Pavimentos	27
1.1.3.5.1.	Componentes de la Infraestructura de un camino	28
1.1.3.5.2.	Tipos de pavimentos.....	29
1.1.3.5.3.	Diseño de Pavimentos Flexibles Método AASHTO 93	30
1.1.3.6.	Correlación y Regresión.....	40
1.1.3.6.1.	Correlación	40
1.1.3.6.2.	Regresión.....	42
1.1.3.6.3.	Regresión múltiple	44
1.1.3.6.4.	Modelos Matemáticos	45
1.1.4.	Hipótesis	46
1.2.	Objetivos	46
1.2.1.	Objetivo General	46

1.2.2.	Objetivos Específicos	46
CAPÍTULO II		47
METODOLOGÍA		47
2.1.	Niveles de Investigación	47
2.1.1.	Investigación Exploratoria	47
2.1.2.	Investigación Aplicada	47
2.1.3.	Investigación Experimental	47
2.2.	Población	47
2.1.1.	Parroquia Augusto Martínez	47
2.1.2.	Parroquia Atahualpa	48
2.3.	Muestra	50
2.4.	Materiales y Equipos	51
2.5.	Métodos	52
2.5.1.	Plan de Recolección de datos	52
2.5.2.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información	58
CAPÍTULO III		62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		62
3.1.	Análisis y Discusión	62
3.1.1.	Resultados de los suelos analizados	62
3.1.2.	Nomenclatura	63
3.1.3.	Tablas y Figuras de Clasificación y Propiedades de los Suelos	65
3.1.4.	Correlaciones	72
3.1.5.	DISEÑO DEL PAVIMENTO	97
3.1.5.1.	Primer Diseño de Pavimento	97
3.1.5.2.	Segundo Diseño de Pavimento	112
3.1.5.3.	Tercer Diseño de Pavimento	124
3.1.5.4.	Cuarto Diseño de Pavimento	139

3.2.	Verificación de Hipótesis	151
CAPÍTULO IV		152
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		152
4.1.	Conclusiones	152
4.2.	Recomendaciones	154
ANEXOS.....		155
Tablas de Ensayos		158
TPDA		264
Fotografías.....		268

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva granulométrica. Definición de D_{10} , D_{30} y D_{60}	7
Figura 2 Pendiente granulométrica	8
Figura 3 Estados del suelo en función del contenido de humedad	9
Figura 4 Determinación del límite líquido en la curva de escurrimiento.....	10
Figura 5 Carta de Casagrande	11
Figura 6 Rangos de clasificación según AASHTO.....	14
Figura 7 Carta de Plasticidad	18
Figura 8 Relación Peso Unitario Máximo Vs. Contenido Óptimo de Humedad.....	19
Figura 9 Diferentes tipos de Curvas de compactación encontradas en suelos.....	20
Figura 10 Esquema del equipo DCP	26
Figura 11 Curva DCP para una serie de valores, con tres capas diferentes.	26
Figura 12 Sección Típica de un pavimento.....	27
Figura 13 Estimación de a_3 para Sub-bases Granulares.....	37
Figura 14 Estimación de a_2 para bases Granulares	37
Figura 15 Estimación del a_2 para bases tratadas con cemento.....	38
Figura 16 Estimación de a_2 para bases tratadas con asfalto.....	38
Figura 17 Estimación del a_1 para asfalto.....	39
Figura 18 Superficie de las parroquias A. Martínez y Atahualpa.....	49
Figura 19 Coordenadas de las muestras de suelo de las parroquias A. Martínez y Atahualpa	50
Figura 20 Ensayo Pozo a cielo abierto.....	54
Figura 21 Ensayo Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	54
Figura 22 Ensayo DCP.....	55
Figura 23 Ensayo de Granulometría	55
Figura 24 Ensayo Límite Líquido (Copa Casagrande)	56
Figura 25 Ensayo Límite Plástico	56
Figura 26 Ensayo Próctor Modificado Tipo B.....	57
Figura 27 Ensayo CBR	57
Figura 28 Carta de Plasticidad de los suelos.....	68
Figura 29 Rango Granulométrico de los suelos Estudiados	69
Figura 30 Muestras de suelos según AASHTO en las parroquias A. Martínez y Atahualpa	70

Figura 31 Muestras de suelos según SUCS en las parroquias A. Martínez y Atahualpa	71
Figura 32 Correlación LP (%) vs. LL (%)	74
Figura 33 Correlación γ_d Máx vs. W ópt (%).....	75
Figura 34 Correlación W ópt (%) vs. LL (%) vs. LP (%).....	76
Figura 35 Correlación γ_d Máx vs. LL (%) vs. LP (%)	77
Figura 36 Correlación γ_d Máx vs. W ópt (%) vs. γ_d in situ	78
Figura 37 Correlación G _s vs. W ópt (%) vs. γ_d in situ	79
Figura 38 Correlación G _c (%) vs. γ_d in situ vs. W ópt (%).....	80
Figura 39 Correlación W ópt(%) vs. LL(%) vs. Pasa N°200.....	81
Figura 40 Correlación DN vs. LP (%)	82
Figura 41 Correlación DN vs. LL (%)	83
Figura 42 Correlación DN vs. LL (%) vs. LP (%).....	84
Figura 43 Correlación DN vs. IL (%) vs. GC (%)	85
Figura 44 Correlación DN vs. Tamiz n°200 (%) vs. n (%).....	86
Figura 45 Correlación CBR mayor (%) vs. W ópt (%).....	87
Figura 46 Correlación CBR (%) vs. γ_d máx.....	88
Figura 47 Correlación CBR (%) vs. LL (%) vs. γ_d máx	89
Figura 48 Correlación CBR (%) vs. γ_d máx vs. W ópt (%)	90
Figura 49 Correlación CBR (%) vs. LP (%) vs. γ_d in situ.....	91
Figura 50 Correlación CBR (%) vs. LP (%) vs. W ópt (%).....	92
Figura 51 Correlación CBR (%) vs. LP (%) vs. IP (%)	93
Figura 52 Correlación CBR (%) vs. LL (%) vs. W ópt (%)	94
Figura 53 Correlación CBR (%) vs. γ_d in situ vs. W ópt (%)	95
Figura 54 Correlación CBR (%) vs. DN.....	96
Figura 55 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93	110
Figura 56 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93	122
Figura 57 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93	137
Figura 58 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de Separación de tamaño de Suelo.....	3
Tabla 2. Aberturas de Tamices Estandarizados	6
Tabla 3. Rangos de Gs para suelos.....	12
Tabla 4. Clasificación AASHTO	15
Tabla 5. Sistema unificado de clasificación de suelo.....	17
Tabla 6. Comparación de los grupos de clasificación de suelos AASHTO y SUCS	18
Tabla 7. Especificaciones de la prueba Próctor estándar (Basadas en la Norma ASTM 698)	21
Tabla 8. Especificaciones de la prueba Próctor modificada (Norma ASTM-1577) .	22
Tabla 9. Comparaciones entre el Próctor Estándar y Modificado.....	23
Tabla 10. Sistema de Clasificación de Suelos según su valor de CBR.....	24
Tabla 11. Métodos de Compactación CBR.....	25
Tabla 12. Período de Análisis	30
Tabla 13. Carga del eje de Referencia.....	32
Tabla 14. Factor de distribución por Carril	32
Tabla 15. Niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras	33
Tabla 16. Desviador normal estándar.....	33
Tabla 17. Calificación de la serviciabilidad de la carretera	35
Tabla 18. Espesores mínimos según los ejes equivalentes (pulg.).....	36
Tabla 19. Calidad de Drenaje.....	39
Tabla 20. Corrección de coeficientes estructurales con respecto al drenaje y a la humedad a la que está expuesta el pavimento.....	40
Tabla 21. Materiales y Equipos de cada ensayo realizado	51
Tabla 22. Plan de Recolección de datos.....	52
Tabla 23. Formato de hoja de cálculo para ecuación lineal múltiple	58
Tabla 24. Sistema de ecuaciones para lineal múltiple.....	58
Tabla 25. Formato de hoja de cálculo para ecuación logarítmica múltiple.....	59
Tabla 26. Sistema de ecuaciones para logarítmica múltiple	59
Tabla 27. Formato de hoja de cálculo para ecuación potencial múltiple	60
Tabla 28. Sistema de ecuaciones para potencial múltiple.....	60
Tabla 29. Formato de hoja de cálculo para ecuación exponencial múltiple	61

Tabla 30. Sistema de ecuaciones para exponencial múltiple	61
Tabla 31. Propiedades de los Suelos	65
Tabla 32. Propiedades de los Suelos	66
Tabla 33. Propiedades de los Suelos	67
Tabla 34. Correlaciones entre propiedades	72
Tabla 35. Volumen de tráfico Hora Pico.....	97
Tabla 36. Clasificación de Carreteras de acuerdo al tráfico proyectado.....	98
Tabla 37. Factor de Daño	99
Tabla 38. Ejes Equivalentes Acumulados	101
Tabla 39. Valores de a1	105
Tabla 40. Valores de a2.....	107
Tabla 41. Valores de a3.....	108
Tabla 42. Datos Diseño de pavimento	109
Tabla 43. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento.....	111
Tabla 44. Datos Diseño de pavimento	121
Tabla 45. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento.....	123
Tabla 46. Datos Diseño de pavimento	136
Tabla 47. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento.....	138
Tabla 48. Datos Diseño de pavimento	148
Tabla 49. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento.....	150
Tabla 50. Resumen de diseño de Pavimentos	151
Tabla 51. DCP Muestra N°1	158
Tabla 52. DCP Muestra N°2	159
Tabla 53. DCP Muestra N°3	160
Tabla 54. DCP Muestra N°4	161
Tabla 55. DCP Muestra N°5	162
Tabla 56. DCP Muestra N°6	165
Tabla 57. DCP Muestra N°7	166
Tabla 58. DCP Muestra N°8	167
Tabla 59. DCP Muestra N°9	169
Tabla 60. DCP Muestra N°10	170
Tabla 61. DCP Muestra N°11	171
Tabla 62. DCP Muestra N°12	172

Tabla 63. Densidad de Campo Muestra N°1	174
Tabla 64. Densidad de Campo Muestra N°2	175
Tabla 65. Densidad de Campo Muestra N°3	176
Tabla 66. Densidad de Campo Muestra N°4	177
Tabla 67. Densidad de Campo Muestra N°5	178
Tabla 68. Densidad de Campo Muestra N°6	179
Tabla 69. Densidad de Campo Muestra N°7	180
Tabla 70. Densidad de Campo Muestra N°8	181
Tabla 71. Densidad de Campo Muestra N°9	182
Tabla 72. Densidad de Campo Muestra N°10	183
Tabla 73. Densidad de Campo Muestra N°11	184
Tabla 74. Densidad de Campo Muestra N°12	185
Tabla 75. Límite Líquido N°1	186
Tabla 76. Límite Líquido N°2	187
Tabla 77. Límite Líquido N°3	188
Tabla 78. Límite Líquido N°4	189
Tabla 79. Límite Líquido N°5	190
Tabla 80. Límite Líquido N°6	191
Tabla 81. Límite Líquido N°7	192
Tabla 82. Límite Líquido N°8	193
Tabla 83. Límite Líquido N°9	194
Tabla 84. Límite Líquido N°10	195
Tabla 85. Límite Líquido N°11	196
Tabla 86. Límite Líquido N°12	197
Tabla 87. Límite Plástico N°1	198
Tabla 88. Límite Plástico N°2	198
Tabla 89. Límite Plástico N°3	199
Tabla 90. Límite Plástico N°4	199
Tabla 91. Límite Plástico N°5	200
Tabla 92. Límite Plástico N°6	200
Tabla 93. Límite Plástico N°7	201
Tabla 94. Límite Plástico N°8	201
Tabla 95. Límite Plástico N°9	202

Tabla 96. Límite Plástico N°10.....	202
Tabla 97. Límite Plástico N°11.....	203
Tabla 98. Límite Plástico N°12.....	203
Tabla 99. Granulometría N°1.....	204
Tabla 100. Granulometría N°2.....	205
Tabla 101. Granulometría N°3.....	206
Tabla 102. Granulometría N°4.....	207
Tabla 103. Granulometría N°5.....	208
Tabla 104. Granulometría N°6.....	209
Tabla 105. Granulometría N°7.....	210
Tabla 106. Granulometría N°8.....	211
Tabla 107. Granulometría N°9.....	212
Tabla 108. Granulometría N°10.....	213
Tabla 109. Granulometría N°11.....	214
Tabla 110. Granulometría N°12.....	215
Tabla 111. Ensayo de Gravedad Específica N°1.....	216
Tabla 112. Ensayo de Gravedad Específica N°2.....	217
Tabla 113. Ensayo de Gravedad Específica N°3.....	218
Tabla 114. Ensayo de Gravedad Específica N°4.....	219
Tabla 115. Ensayo de Gravedad Específica N°5.....	220
Tabla 116. Ensayo de Gravedad Específica N°6.....	221
Tabla 117. Ensayo de Gravedad Específica N°7.....	222
Tabla 118. Ensayo de Gravedad Específica N°8.....	223
Tabla 119. Ensayo de Gravedad Específica N°9.....	224
Tabla 120. Ensayo de Gravedad Específica N°10.....	225
Tabla 121. Ensayo de Gravedad Específica N°11.....	226
Tabla 122. Ensayo de Gravedad Específica N°12.....	227
Tabla 123. Próctor Modificado “B” N°1.....	228
Tabla 124. Próctor Modificado “B” N°2.....	229
Tabla 125. Próctor Modificado “B” N°3.....	230
Tabla 126. Próctor Modificado “B” N°4.....	231
Tabla 127. Próctor Modificado “B” N°5.....	232
Tabla 128. Próctor Modificado “B” N°6.....	233

Tabla 129. Próctor Modificado “B” N°7.....	234
Tabla 130. Próctor Modificado “B” N°8.....	235
Tabla 131. Próctor Modificado “B” N°9.....	236
Tabla 132. Próctor Modificado “B” N°10.....	237
Tabla 133. Próctor Modificado “B” N°11.....	238
Tabla 134. Próctor Modificado “B” N°12.....	239
Tabla 135. Ensayo CBR N°1	240
Tabla 136. Ensayo CBR N°2	242
Tabla 137. Ensayo CBR N°3	244
Tabla 138. Ensayo CBR N°4	246
Tabla 139. Ensayo CBR N°5	248
Tabla 140. Ensayo CBR N°6	250
Tabla 141. Ensayo CBR N°7	252
Tabla 142. Ensayo CBR N°8	254
Tabla 143. Ensayo CBR N°9	256
Tabla 144. Ensayo CBR N°10	258
Tabla 145. Ensayo CBR N°11	260
Tabla 146. Ensayo CBR N°12	262
Tabla 147. TPDA	264

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

AUTOR: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

TUTOR: Ing. Mg. Favio Portilla

FECHA: enero, 2020

La presente investigación es un trabajo experimental para determinar la correlación entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

Para este trabajo se realizó una visita a las parroquias indicadas, identificando tres vías secundarias por parroquia, en cada vía se obtuvo dos muestras de suelo de aproximadamente 50kg, recogiendo un total de doce muestras para el estudio de las propiedades de estos suelos.

Las correlaciones se realizaron mediante resultados obtenidos con ensayos de campo como el DCP, Pozo a cielo abierto, Densidad de campo (Método de cono y arena de Ottawa) y ensayos de laboratorio como Granulometría, Gravedad Específica, Límite Plástico, Límite Líquido, Próctor Modificado “B” y Relación de Soporte de California (CBR).

Las correlaciones se obtienen mediante métodos estadísticos con mínimos cuadrados, aplicando a dos y tres variables. Donde las mejores correlaciones fueron con el CBR. Los resultados obtenidos de estas correlaciones se aplican en el diseño de pavimentos, al encontrar valores confiables de CBR.

ABSTRACT

SUBJECT: “CORRELATION BETWEEN THE CBR AND THE INDEX AND MECHANICAL PROPERTIES IN GRANULAR SOILS, OF THE ATAHUALPA AND AUGUSTO MARTÍNEZ PARISHES, AMBATO CITY, TUNGURAHUA PROVINCE”

AUTHOR: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

TUTOR: Ing. Mg. Favio Portilla

DATE: JANUARY, 2020

The present investigation is an experimental work to determine the correlation between the laboratory CBR and the index and mechanical properties of the granular soils of the Atahualpa and Augusto Martínez parishes of Ambato City. Tungurahua Province

To carry out this work, a visit was made to the indicated parishes, identifying three secondary roads per parish, in each way two soil samples of approximately 50kg were obtained, collecting a total of twelve samples for the study of the properties of these soils.

The correlations were made using results obtained with field tests such as DCP, Open pit, Field density (Ottawa cone and sand method) and laboratory tests such as Granulometry, Specific Gravity, Plastic Limit, Liquid Limit, Modified Proctor “B” and California Support Relationship (CBR).

The correlations are obtained through statistical methods with least squares, applying to two and three variables. Where the best correlations were with the CBR. The results obtained from these correlations are applied in the pavement design, finding reliable CBR values.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

Según F. Viscarra (2006) el cono dinámico de penetración (DCP) se ha aplicado y se ha ido desarrollando desde el año 1959, siendo una herramienta de uso práctico y económico para evaluar la resistencia de suelos y estimar un valor de CBR en campo [1].

Korde y Yadab (2015) menciona que la prueba CBR es muy compleja, por lo que requiere mucho tiempo y se necesita una muestra con cantidades comparativamente grandes. En base a estos problemas se puede desarrollar una correlación entre CBR y otras propiedades índice del suelo. Estas pruebas son mucho más económicas y más rápidas que la prueba CBR [2].

K. Roksana, T. Islam y A. Muqtadir (2018) concluyen mediante gráficas que existe una relación proporcional entre los ensayos de CBR y Límite líquido, ya que los valores de golpes de compactación aumentan con el incremento del límite líquido. A la vez mencionan que existe una relación inversamente proporcional entre el ensayo CBR y Límite plástico, debido a que mientras aumenta el valor de límite plástico el CBR disminuye [1].

Patel y Desai (2010) analizaron 12 muestras de suelos de arcilla, arena y limo en 6 zonas diferentes de India. Por lo que realizaron un modelo de análisis de relación lineal simple y de análisis de relación lineal múltiple encontrando que el valor de CBR, tanto de campo como de laboratorio, disminuía al aumentar el índice de plasticidad (IP), el óptimo contenido de humedad (OMC) o la máxima densidad seca (MDD) [3].

Según el artículo de C.H. Florez G, F. A. Torres C, F. A Torres P y C.A. Peña se estimó una nueva correlación entre datos del ensayo CBR y el ensayo DCP aplicando métodos estadísticos de regresión, obteniéndose resultados para estos ensayos como una desviación estándar de 0.18, una correlación de 0.93 y un valor de coeficiente de determinación de 0.86 [4].

1.1.2. Justificación

La ingeniería de carreteras en la actualidad requiere de numerosas investigaciones de carácter práctico y teórico, que ayuden a brindar resultados aplicados eficazmente y con un acertado criterio técnico, actualizando los métodos ya existentes de control y diseño; y creando prácticas herramientas que establezcan una base común para comparar suelos de diferentes localidades [5]. Ya que las carreteras tienen una contribución importante al desarrollo económico y crecimiento social en nuestro país [1].

Dado que todo pavimento requiere para su diseño y evaluación, de un parámetro conocido como California Bearing Ratio (CBR) es útil encontrar mejores modos y técnicas para medirlo. Hasta el momento el principal obstáculo para la obtención de su valor es el tiempo y costo que representa [6]. Todos estos problemas pueden resultar en retraso en el progreso del proyecto y conducir a un aumento en el costo de la construcción [2]. En algunos tipos de obras donde la obtención de estos datos puede volverse tediosa, por la cantidad de pruebas a realizar y el tiempo consumido, pueden utilizarse métodos alternativos que den lugar a una estimación bastante cercana a lo esperado [3].

Uno de los motivos que llevó a seleccionar este tema de tesis, fue el de buscar otra manera de obtener el valor del CBR reduciendo tiempo y costos. Una de ellas es a través de correlaciones con otros parámetros del suelo; de este modo, es posible predecir un valor del CBR mediante una ecuación en función de esos parámetros para usarlo como un método alternativo más económico y más rápido que el método convencional; especialmente en las fases conceptuales de un proyecto (anteproyecto, perfil, prefactibilidad, etc.) en la que muchas veces no se cuenta con los medios económicos suficientes. Estas ecuaciones servirían de orientación para obtener el CBR y armar un primer presupuesto, dejando claro que no reemplazarán al CBR experimental y será para ciertas aplicaciones como la anteriormente mencionada [6].

El estudio de Valentine Yato (2018) obtuvo un modelo de regresión entre CBR y propiedades del suelo asegurando que predice los valores CBR experimentales con una buena precisión, siendo menos laborioso y rentable [7]. El estudio realizado por Talukdar (2014) estableció una relación del valor de CBR del suelo en función de sus propiedades índices. Los valores de CBR con respecto a las propiedades del suelo

reflejaron que su valor disminuye a medida que aumenta su índice de plasticidad y se incrementa con el aumento del valor de la densidad seca máxima [8].

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Suelos Granulares

1.1.3.1.1. Definición

El suelo es la capa suprayacente a la corteza terrestre sujeta a desintegración y descomposición permanente, es un agregado orgánico e inorgánico que está constituido por un conjunto de partículas con organización definida, cuyas propiedades varían vectorialmente, cambiando más rápido en dirección vertical que en la horizontal [9].

Los suelos granulares son partículas gruesas que no tienden a juntarse o adherirse, se caracterizan porque sus dimensiones son de magnitudes comparables con formas redondas y angulosas [10]. Se resalta estos suelos por ser estables y resistentes cuando se encuentran confinados, adicionando también su alta permeabilidad, su relativa estabilidad frente a cargas externas y su buena condición para drenaje [5].

1.1.3.1.2. Tamaño de Partículas del suelo

Los suelos según su tamaño pueden variar en un amplio intervalo e independientemente de su origen son llamados grava, arena, limo o arcilla. Varias organizaciones han nombrado y han desarrollado límites de separación a los suelos por su tamaño de partícula, como se puede ver en la tabla 1 al mostrar los límites de separación [11].

Tabla 1. Límites de Separación de tamaño de Suelo

Nombre de la Organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.02	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.02	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.02	<0.002

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075
--	-------------	--------------	--

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

1.1.3.2. Propiedades Índice

1.1.3.2.1. Contenido de Humedad (w%)

Se define el contenido de humedad a la relación entre el peso de agua y el peso de sólidos contenido en el mismo suelo. Se expresa como un valor porcentual y teóricamente va desde 0 a ∞ [9].

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Dónde:

W_w = Peso del agua

W_s = Peso de los sólidos

1.1.3.2.2. Relación de Vacíos (e)

Es la relación entre el volumen de vacíos y volumen de los sólidos de un suelo. Se expresa como un valor que puede variar desde 0.25 que son arenas muy compactas con finos, a 15 en el caso de arcillas altamente compresibles [9].

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde:

V_v = Volumen de Vacíos

V_s = Volumen de sólidos

1.1.3.2.3. Porosidad (n%)

La porosidad de un suelo es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa. Se expresa como un valor porcentual con un rango de valores reales entre 20% y 95% [9].

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_m} * 100$$

Donde:

V_v = Volumen de Vacíos

V_m = Volumen de masa del suelo

1.1.3.2.4. Grado de Saturación de agua (Gw%)

El grado de Saturación de agua de un suelo es la relación entre su volumen de agua y el volumen de sus vacíos. Se expresa como un valor porcentual con un rango de valores desde 0 (Suelo Seco) a 100% (Suelos totalmente saturados) [9].

$$G_w(\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Donde:

V_v = Volumen de Vacíos

V_w = Volumen de agua del suelo

1.1.3.2.5. Grado de Saturación de aire (Ga%)

El grado de Saturación de agua de un suelo es la relación entre su volumen de aire y el volumen de sus vacíos. Se expresa como un valor porcentual [9].

$$G_a(\%) = \frac{V_a}{V_v} * 100$$

Donde:

V_v = Volumen de Vacíos

V_a = Volumen de aire del suelo

1.1.3.2.6. Granulometría

El análisis granulométrico determina las proporciones relativas de los diferentes tamaños de partícula en una muestra de suelo y se expresa estadísticamente como porcentaje de peso seco total del suelo. Físicamente no es posible obtener el tamaño real de cada partícula independiente del suelo, por lo que en práctica solo se agrupan los materiales por rangos de tamaños. Se usan dos métodos para analizar la distribución del suelo: El primer método es el análisis de tamices y el segundo es análisis de hidrómetro [9].

Se realiza para tamaños de partículas mayores de 0.075mm (malla N°200) de diámetro y primero se debe secar al horno la muestra de suelo. Consiste en agitar la muestra y hacer pasar el suelo por medio de un conjunto de tamices con aberturas de tamaño desde arriba abajo. [11].

Al finalizar el tamizado del suelo, se pesa la masa de suelo retenido en cada tamiz y el porcentaje que representan respecto al peso total de la muestra se añade a los porcentajes retenidos de las mallas más grandes [12].

Las aberturas de los tamices se han estandarizado de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Aberturas de Tamices Estandarizados

TYLER STANDARD		U.S. BUREAU OF STANDARS	
MALLA NÚMERO	ABERTURA mm	MALLA NÚMERO	ABERTURA mm
3"	76,200	4"	101,600
2"	50,800	2"	50,800
--	26,670	1"	25,400
--	18,850	3/4"	19,100
--	13,320	1/2"	12,700
--	9,423	3/8"	9,520
3	6,680	1/4"	6,350
4	4,699	4	4,760
6	3,327	6	3,360
8	2,362	8	2,380

9	1,981	10	2,000
10	1,655	12	1,680
20	0,833	20	0,840
35	0,417	40	0,420
60	0,246	60	0,250
100	0,147	100	0,149
200	0,074	200	0,074
270	0,053	270	0,053
400	0,038	400	0,037

Fuente: Manual de Laboratorio de suelos de Josph Bowles

Los resultados del análisis granulométrico se presentan en forma de curva trazada a una escala semi-logarítmica. Como los tamaños de la distribución de partículas del suelo pueden variar desde 2mm a 0.075mm, es necesario para poder observar y comparar la distribución, realizar una escala logarítmica para los tamaños de partículas [12]. Las abscisas representan el diámetro medio de las partículas D ; las ordenadas corresponden al porcentaje en peso del material total que posee un diámetro inferior al de la abscisa correspondiente (porcentaje acumulado pasando en peso) [13].

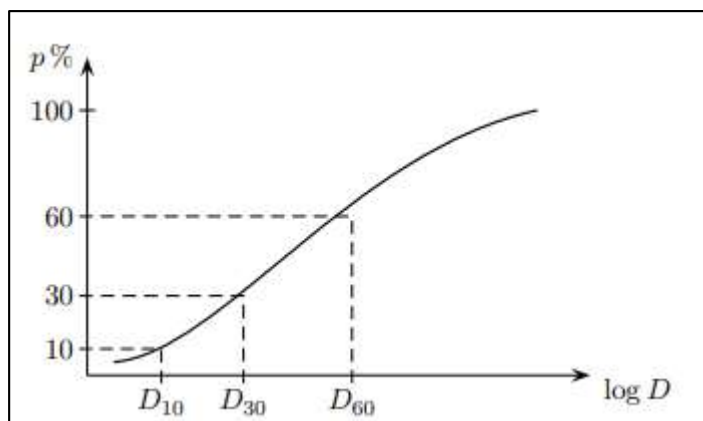


Figura 1 Curva granulométrica. Definición de D_{10} , D_{30} y D_{60}

Fuente: Fundamentos de Geotecnia, E. Sáez, 2010

A partir de estas curvas se pueden determinar tres parámetros para clasificar granularmente los suelos:

1.- Tamaño Efectivo (D_{10})

2.- Coeficiente de Uniformidad o de Hazen (C_u)

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

Donde:

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% más fino

3.- Coeficiente de Curvatura (C_c)

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

Donde:

D_{10} = Diámetro correspondiente al 10% más fino

La pendiente granulométrica indica si los suelos tienen buena o mala distribución granulométrica. Si la pendiente es muy vertical se considera una mala distribución granulométrica, si la pendiente es moderada posee una buena distribución ya que tiene bien repartido los tamaños de partículas. De la misma manera se puede determinar si un suelo es bien graduado o no con los coeficientes de uniformidad y curvatura.

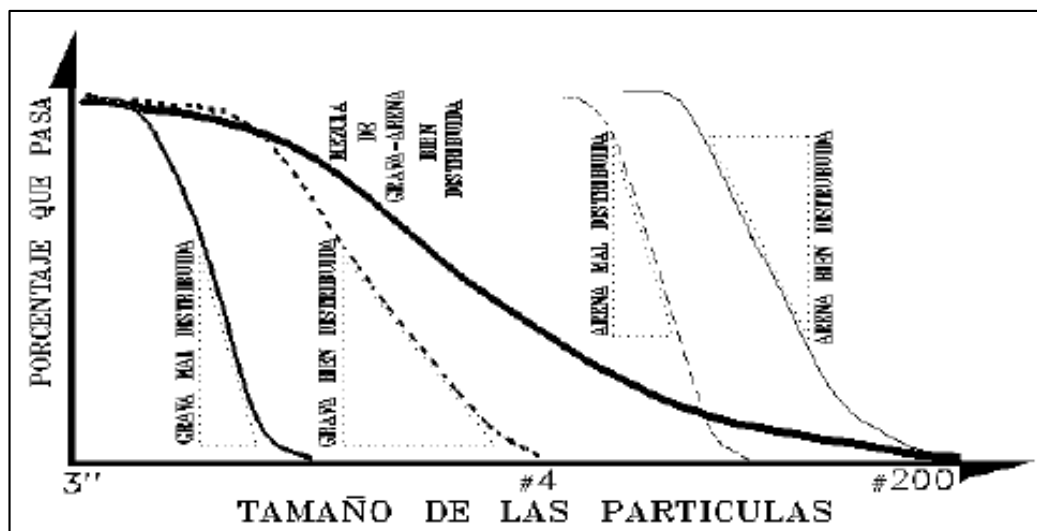


Figura 2 Pendiente granulométrica

Fuente: Mecánica de Suelos Juárez Badillo

1.1.3.2.7. Límites de Atterberg

Una muestra de suelo pasa por distintos estados a medida que el contenido de humedad decrece.

- Estado líquido.- Posee un contenido de humedad muy alto desparramándose el suelo cuando se sienta en una superficie horizontal. Las partículas están separadas por agua y no tiene resistencia [13].
- Estado plástico.- El suelo se comporta plásticamente siendo estable y maleable [13].
- Estado semisólido.- El suelo tienen la apariencia de un sólido, pero ante el secado aún presenta variaciones volumétricas [13].
- Estado Sólido.- En este estado se nota una contracción o reducción de volumen [13].

Los anteriores estados son fases por las que pasa el suelo, por lo que Atterberg estableció fronteras para distinguirlas, llamándolos límites de consistencia.

- Límite de Contracción.- El contenido de humedad se encuentra en el punto de transición del estado sólido al estado semisólido [11].
- Límite Plástico.- El contenido de humedad se encuentra en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico [11].
- Límite Líquido.- El contenido de humedad se encuentra en el punto de transición del estado plástico al estado líquido [11].

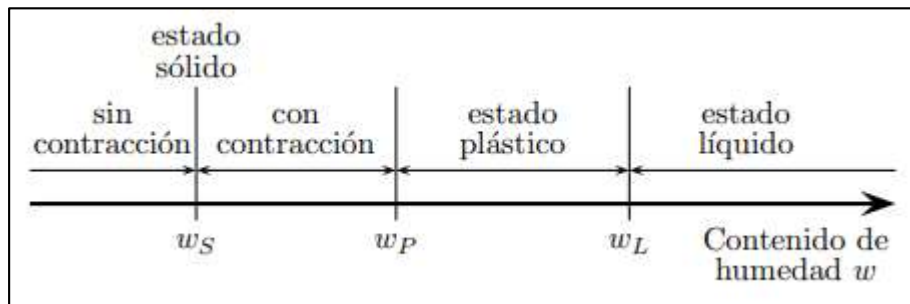


Figura 3 Estados del suelo en función del contenido de humedad
Límite de Contracción w_S , Límite Plástico w_P , Límite Líquido w_L

Fuente: Fundamentos de Geotecnia, E. Sáez, 2010

1.1.3.2.7.1. Límite Líquido

El límite líquido se representa en un plano cartesiano semilogarítmico, siendo la relación entre el contenido de humedad y el logaritmo de los números de golpes, dando como resultado una línea recta conocida como curva de flujo [11].

En el siguiente gráfico se puede apreciar que la curva de flujo representa la relación del contenido de humedad con el número de golpes, mientras que el eje del número de golpes se encuentra en una escala logarítmica. El contenido de humedad correspondiente al número de golpes de 25, determinado a partir de la curva de flujo se lo conoce como límite líquido.

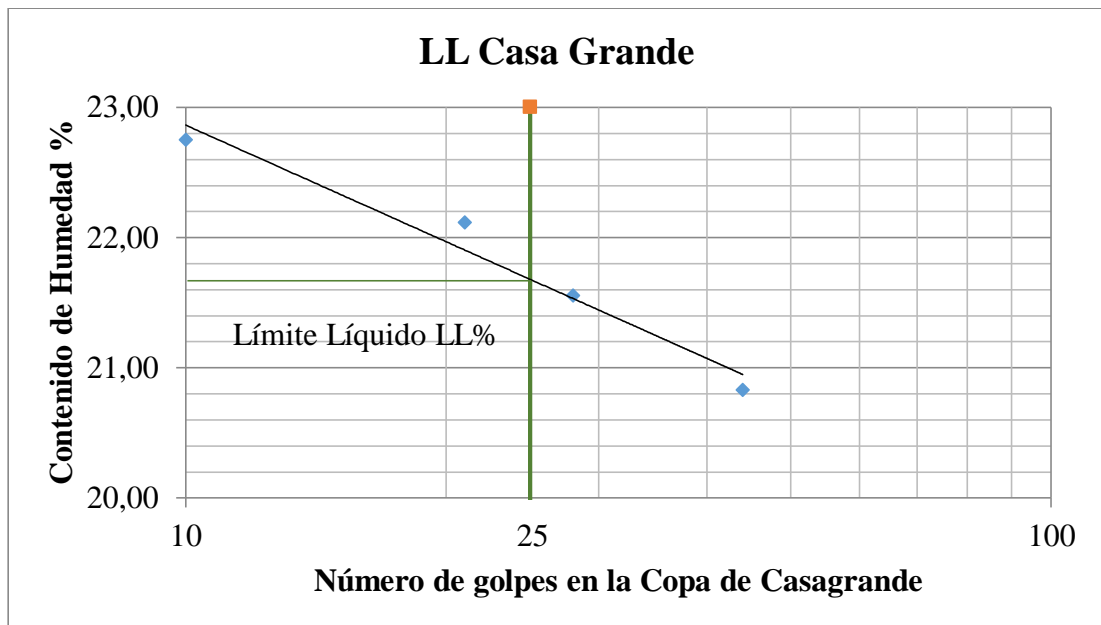


Figura 4 Determinación del límite líquido en la curva de escurrimiento

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

1.1.3.2.7.2. Límite Plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona, rompa o fisure. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo [11].

1.1.3.2.7.3. Índice Plástico

Es la diferencia entre los límites de liquidez y plasticidad de suelo. El suelo se encuentra en un intervalo de humedad en un estado plástico [13].

$$I_p = Ll - Lp$$

Donde:

I_p = Índice plástico

L_p = Límite plástico

L_l = Límite líquido

Los suelos según su grado de plasticidad pueden ser no plásticos cuando $0 < I_p < 5$, Suelos poco plásticos cuando $5 < I_p < 30$, Suelos plásticos cuando $30 < I_p < 50$ y suelos muy plásticos cuando $50 < I_p$ [13].

El límite líquido y plástico están asociados por una relación lineal empírica. La recta promedio conocida como recata de Casagrande tiene por ecuación [13]:

$$I_p = 0.73(L_l - 20)$$

Esta recta se traza sobre la carta de plasticidad (Gráfico 5) de Casagrande donde se clasifican los suelos finos de arcilla y limo.

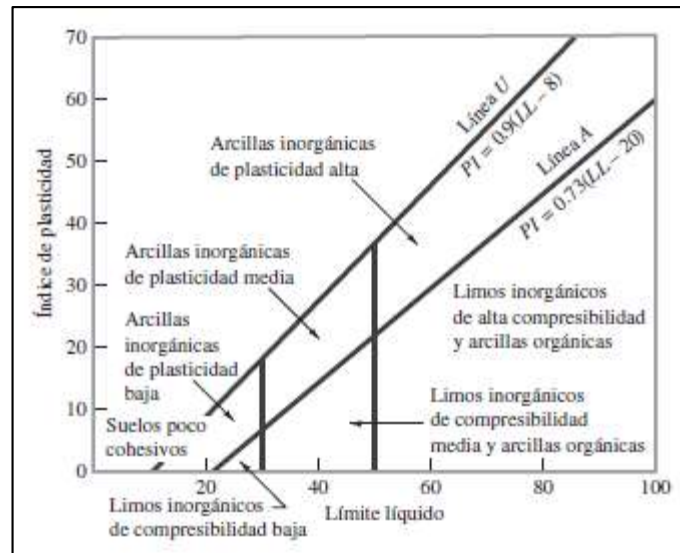


Figura 5 Carta de Casagrande

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

1.1.3.2.8. Gravedad Específica

La gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C. El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo [12].

En la siguiente tabla se muestran rangos de G_s para diferentes tipos de suelos.

Tabla 3. Rangos de Gs para suelos

Tipo de Suelo	Gs
Arena	2,65-2,67
Arena Limosa	2,67-2,70
Arcilla Inorgánica	2,70-2,80
Suelos con micas o hierro	2,80-3,00
Sueos Orgánicos	Inferior a 2,00

Fuente: Manual de Laboratorio de suelos de Josphe Bowles

1.1.3.2.9. Densidad de Campo (Método de cono y Arena)

El método de cono y arena permite el flujo de arena de “Ottawa” cuyo peso unitario ya es conocido, por lo que se debe realizar un hueco en el terreno seleccionado mediante un cono estándar. El volumen del hueco se obtiene del peso unitario de la arena y determinando el peso utilizado para rellenar el hueco con la arena. El peso húmedo del suelo se calcula con la relación del peso del suelo sacado del hueco con el volumen del hueco.

$$\gamma_{hum} = \frac{W_s}{V_s}$$

Donde:

W_s = Peso del Suelo extraído del hueco

V_s = Volumen del hueco

1.1.3.3. Clasificación de Suelos

Los suelos con características similares de acuerdo a sus propiedades mecánicas y su comportamiento se clasifican en grupos y subgrupos. Existen elaborados sistemas de clasificación de suelos como la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) [14].

Los sistemas mencionados se basan para clasificar los suelos en ensayos de distribución granulométrica y plasticidad.

1.1.3.3.1. Sistema de Clasificación AASHTO

De acuerdo al sistema de clasificación AASHTO los suelos se dividen en 7 grupos principales desde A-1 a A-7: se clasificará en los grupos A-1, A-2 y A-3 los suelos que como máximo el 35% de las partículas pasen a través del tamiz núm. 200, a estos se los llamará suelos granulares; los suelos que superan el 35% al pasar por el tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5 y A-6 y A-7, estos suelos se denominan limo y arcilla [11].

Este sistema de clasificación según la tabla 5 de la AASHTO se basa en tres criterios:

- a) El tamaño de grano

Grava: Partículas de 75mm y 2mm

Arena: Partículas de 2mm a 0.075mm

Limo y Arcilla: Partículas < a 0.075mm

- b) Plasticidad

Las fracciones finas *limosas* tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. Las fracciones finas arcillosas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.

- c) Si se encuentran cantos y guijarros (mayor a 75mm), para la clasificación que se realizó se excluyen de la muestra de suelo [11].

El índice de grupo (IG) está en función del límite líquido y límite plástico, expresado por la siguiente ecuación

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

LL = Límite Líquido

PI = Índice Plástico

En el gráfico 6 se muestra un el rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

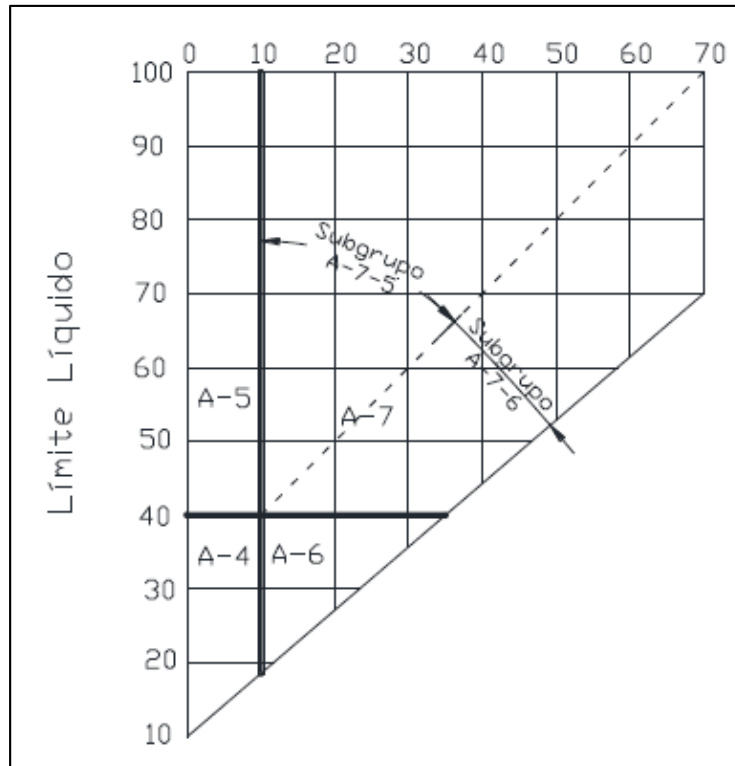


Figura 6 Rangos de clasificación según AASHTO

Fuente: Manual de Laboratorio de suelos de Josphe Bowles

Rangos de límite líquido e índice de plasticidad para los grupos de suelos A-4, A-5, A-6 Y A-7. [12]

Tabla 4. Clasificación AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz N°200)							Materiales Limo - Arcillosos (Más de 35% pasa el tamiz N°200)				
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
SUB - GRUPOS	A - 1a	A - 1b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5	A - 7 - 6
% que pasa el tamiz												
N° 10 (2mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 40 (0.425mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 200 (0.0075mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del material que pasa el tamiz N° 40												
Límite Líquido	-		N. P	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 min.	41 min.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min. IP≤LL-30; LP<30	11 min. IP>LL-30; LP≥30
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
Calidad (Subrasante)	Excelente a buena							Regular a mala				

Fuente: Manual de Laboratorio de suelos de Josphe Bowle

1.1.3.3.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo

El sistema clasifica a los suelos en finos y gruesos diferenciándose ambos por el cribado a través de la malla 200, siendo suelo grueso la porción que no pasa la malla 200 y suelo fino la que pasa. Un suelo se considera grueso si más del 50% de la muestra son gruesas, y un suelo fino, si más de la mitad de la muestra son finas. A continuación se detalla con más claridad los símbolos y subdivisiones de la tabla del SUCS [9].

1.- Suelos Gruesos

Las gravas (G) y arenas (S) se dividen por la malla N°4, de manera que un suelo pertenece al grupo G, si más del 50% de su porción de muestra gruesa no pasa la malla N°4, y un suelo de grupo S, en caso contrario. A la vez G y S se subdividen en cuatro tipos GW, SW, GP y SP: GW=Grava bien graduada, SW=Arena bien graduada, GP=Grava pobremente graduada y SP=Arena pobremente graduada. Estos suelos se encuentran con material limpios de finos y para su buena o mala graduación se juzga mediante coeficientes de uniformidad y curvatura [9].

2.- Suelos Gruesos con cantidad apreciable de finos

Se trata de grupos de suelos gruesos con porcentajes de limo (M) o arcilla (C), donde el agregado fino debe ser mayor que el 12% en peso. Los suelos se identifican como GM, SM, GC y SC: GM=Grava limosa, SM=Arena limosa, GS=Grava arcillosa y SC=Arena arcillosa [9].

3.- Otros Suelos Gruesos

Son los grupos de suelos que tienen entre 5 y 12% del material en peso. GW-GC, GW-GM, SW-SC, SW-SM, GP-GC, GP-GM, SP-SC, SP-SM [9].

4.- Suelos Finos

Son suelos que pasan más del 50% por el tamiz N°200 y se dividen en limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), limos y arcillas orgánicas (O). Estos tipos de suelos se subdividen en dos grupos según su límite líquido, si es menor de 50% son suelos de baja compresibilidad (L) y si su límite líquido es mayor al 50% son de alta compresibilidad (H), teniéndose como grupos de suelos ML, CL, OL, MH, CH y OH [9].

Tabla 5. Sistema unificado de clasificación de suelo

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM	
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC	
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM		
	Más de 12% finos ^{b,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC		
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL	
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	ML	
	Límite líquido: secado	Orgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL
			Límite líquido: no secado		
	Límite líquido: 50 o más	Orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH	
			Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH	
Límite líquido: 50 o más	Orgánico	Límite líquido: secado	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH	
		Límite líquido: no secado			

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

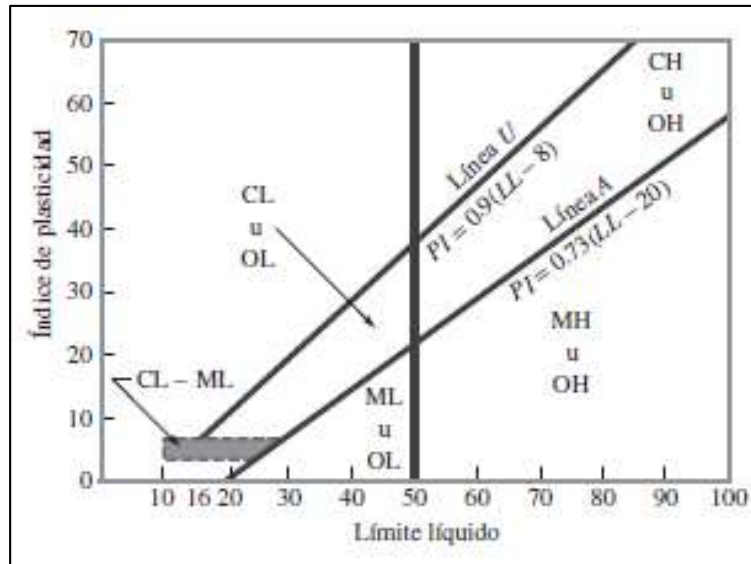


Figura 7 Carta de Plasticidad

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

Tabla 6. Comparación de los grupos de clasificación de suelos AASHTO y SUCS

AASHTO	SUCS
A-1 ^a	GW, GP, SW, GM
A-1b	SW, SP, SM, GC
A-3	SP
A-2-4	CL, ML
A-2-5	CL, ML, CH, MH
A-2-6	CL, ML
A-2-7	CL, ML, CH, MH
A-4	CL, ML
A-5	CL, ML, CH, MH
A-6	CL, ML
A-7	CL, ML, CH, MH
A-8	Turba y detrito orgánicos

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Ing. Carlos Crespo, 2004 [15]

1.1.3.4. Propiedades Mecánicas

1.1.3.4.1. Compactación

Es la densificación del suelo por medios mecánicos. Tiene como objetivo mejorar las características de resistencia del suelo, disminuir la compresibilidad y permeabilidad del mismo.

En 1933 Próctor encontró que al aplicar cierta energía a un suelo para compactarlo, el peso volumétrico varía con el contenido de humedad según una curva, el contenido de humedad % y densidad seca se grafican en un plano cartesiano donde la abscisa corresponde a la humedad y la ordenada a la densidad seca.

El ensayo de compactación tipo Próctor permite obtener la relación adecuada para la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo y así poder controlar las densidades obtenidas en el campo.

El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco, el peso unitario seco aumenta a medida que se aumenta el contenido de humedad hasta encontrar su punto máximo, cualquier aumento de contenido de humedad después de este punto reducirá el peso unitario seco [11].

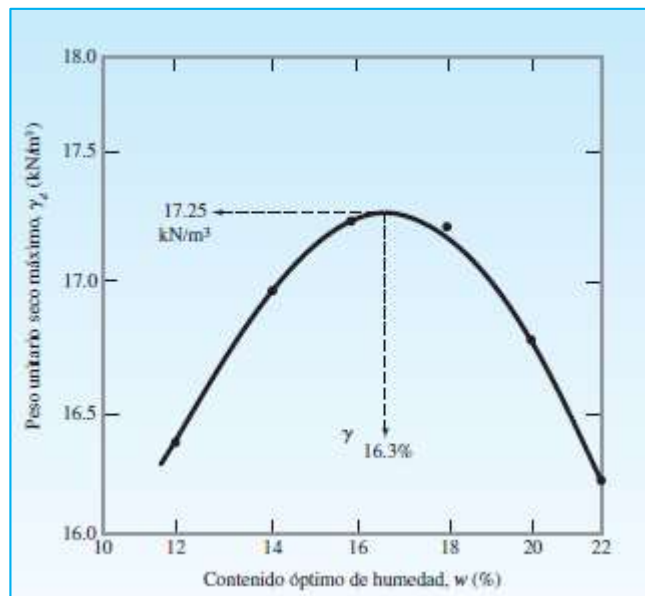


Figura 8 Relación Peso Unitario Máximo Vs. Contenido Óptimo de Humedad

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

1.1.3.4.1.1. Energía de Compactación

La calidad de compactación depende de la energía específica por unidad de volumen, esto se debe a que a medida que aumenta la energía de compactación aumenta el peso unitario seco y el contenido de humedad se reduce en cierta medida, está dada por la siguiente expresión [11]:

$$E = \frac{n * N * W * h}{V}$$

Donde:

N = Número de capas

n = Número de golpes

W = Peso del pistón

h = Altura de caída del pistón

V = Volumen del molde y muestra

1.1.3.4.1.2. Efecto del tipo del Suelo

Para la compactación se debe considerar el tipo del suelo, es decir, la distribución de tamaño de grano, la forma y el peso específico. Lee y Suedkamp (1972) estudiaron curvas de compactación de diferentes suelos y observaron cuatro tipos de diferentes curvas como se muestra en la siguiente figura [11].

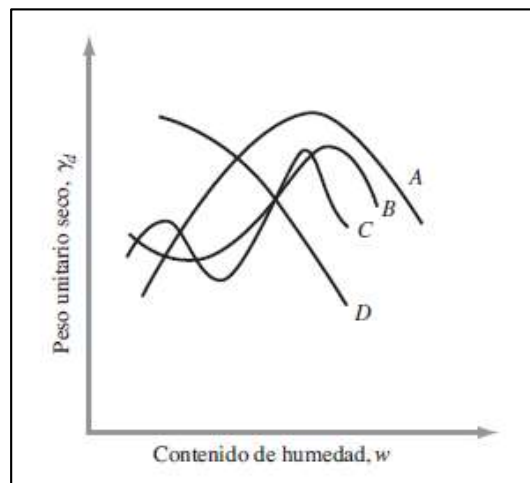


Figura 9 Diferentes tipos de Curvas de compactación encontradas en suelos

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

1.1.3.4.1.3. Método Próctor Estándar

El suelo se compacta en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm³, diámetro de 101.6mm, el molde se une a una placa inferior y en la parte superior a una extensión. Se compacta el suelo mezclando con cantidades variables de agua en tres capas iguales por un martillo que pesa 2.5 kg golpeando 25 veces a cada capa, desde una altura de caída de 30.48 cm. Este procedimiento de la prueba Próctor estándar se da en la Norma ASTM D-698 y Norma AASHTO T-99. [11].

Tabla 7. Especificaciones de la prueba Próctor estándar (Basadas en la Norma ASTM 698)

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6mm	101.6mm	152.4mm
Volumen del molde	943.3cm ³	943.3cm ³	2124cm ³
Peso del martillo	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de la caída del martillo	304.8mm	304.8mm	304.8mm
Número de golpes de martillo	25	25	56
Número de Capas de Compactación	3	3	3
Energía de Compactación	591.3kN-m/m ³	591.3kN-m/m ³	591.3kN-m/m ³
Suelo Utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

1.1.3.4.1.4. Método Próctor Modificado

Es una modificación de la prueba próctor estándar para representar mejor las condiciones de campo. Para esta prueba se usa un molde de las mismas dimensiones del ensayo de próctor estándar, la diferencia radica en que la energía aplicada en el modificado es aproximadamente cinco veces más que en la estándar. Esto se debe a que el suelo es compactado en 5 capas por un martillo de 4.536 kg de peso con una caída de 45.72cm. El número de golpes por cada capa se mantiene. Las normas para la prueba de próctor modificado son (ASTM D-1557 y AASHTO T-180) [11].

Tabla 8. Especificaciones de la prueba Próctor modificada (Norma ASTM-1577)

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6mm	101.6mm	152.4mm
Volumen del molde	943.3cm ³	943.3cm ³	2124cm ³
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes de martillo	25	25	56
Número de Capas de Compactación	5	5	5
Energía de Compactación	2696kN-m/m ³	2696kN-m/m ³	2696kN-m/m ³
Suelo Utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015

Tabla 9. Comparaciones entre el Próctor Estándar y Modificado

	T-99	T-180
Volumen del molde , m3	Método A, C:0,000943 ±0,000008	Método A, C:0,000943 ±0,000008
	Método B, D:0,002124 ±0,000021	Método B, D:0,002124 ±0,000021
Diámetro del molde, mm	Método A, C: 101,6 ±0,41	Método A, C: 101,6 ±0,41
	Método B, D: 152,4 ±2,54	Método B, D: 152,4 ±2,54
Altura del molde, mm	116,43 ±0,13	116,43 ±0,13
Altura del collar desmontable, mm	50,80 ±0,64	50,80 ±0,64
Diámetro del pistón, mm	50,8	50,8
Masa del pistón, kg	2,495	4,536
Altura de caída	305	457
Capas	3	5
Golpes por capas	Método A, C: 25	Método A, C: 25
	Método B, D:56	Método B, D:56
Tamaño del material, mm	Método A, C: mínimo 4,75	Método A, C: mínimo 4,75
	Método B, D: mínimo 19,0	Método B, D: mínimo 19,0
Tamaño de la muestra, Kg	Método A: 3 Método A: 5(1)	Método A: 7 Método A: 11(1)
Energía KN -m / m3	592	2693

Fuente: AASHTO T-180

1.1.3.4.2. Relación de Soporte California CBR

- **Origen**

El ensayo de relación de soporte de California se desarrolló en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base para carreteras de la segunda guerra mundial por parte de la División de Carreteras de California [12].

- **Definición de CBR y Valores de Carga Unitaria**

El ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El valor de CBR se calcula mediante la relación de la carga unitaria (lb/in²) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración a una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón, mediante un pistón de penetración de área 19.4 cm² [12]. La expresión que define el valor de CBR está dada por la siguiente ecuación:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100\%$$

Se deduce de esta manera que el CBR es un valor porcentual de la carga unitaria patrón, se debe tomar en cuenta que en práctica el símbolo % se quita y el valor será un numero entero [12].

El número CBR se basa en la relación de carga a una penetración de 0.1 in (25mm), si el valor de CBR a una profundidad de 0.2 in es mayor, se debe repetir el ensayo, si al repetir el ensayo y el valor de CBR a una profundidad de 0.2 in sigue siendo mayor, se debe aceptar este valor como final del ensayo CBR [12].

El valor de del CBR se realiza para establecer el comportamiento de los suelos como bases y subbases bajo el pavimento de carreteras y aeropistas. En la siguiente tabla se muestra una clasificación para el uso de suelos en materiales bajo un pavimento [16] :

Tabla 10. Sistema de Clasificación de Suelos según su valor de CBR

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy Pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a Regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, GW, SM, SP, GP	A1-b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: Manual de Laboratorio de suelos de Josph Bowle

- **Energías de Compactación**

Se debe realizar el ensayo CBR en muestras compactadas a un contenido de humedad y densidad seca controladas y determinadas por el ensayo próctor. El ensayo CBR se compacta en un molde de 15.2cm² y se basa en los siguientes métodos [12]:

Tabla 11. Métodos de Compactación CBR

Método		Golpes	Capas	Peso del Martillo N
D698	2 (Suelos de Grano Fino)	56	3	24,5
	4 (Suelos Gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (Suelos de Grano Fino)	56	5	44,5
	4 (Suelos Gruesos)	56	5	44,5

Fuente: Manual de Laboratorio de suelos de Josphe Bowle,

- **Ensayo de Penetración**

Se debe compactar un molde de suelo para dejarlo saturar 96 horas con una sobrecarga no menor a 4.5 kg que reemplaza al peso del pavimento en campo. Este ensayo se realiza en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1.27 mm/min. Las lecturas de carga se registran a cada 0.5 mm de penetración hasta llegar a un valor 5 mm, a partir de este punto se registran datos cada 2.5 mm hasta obtener una profundidad de penetración de 12.7 mm (0.5 in)

1.1.3.4.3. Cono Dinámico de Penetración DCP

El DCP fue creado por Scala en 1956. Sirve para evaluar la resistencia de todo tipo de suelos y estimar un valor CBR en campo. El DCP es un instrumento simple, de fácil uso y económico. El DCP mide la penetración dinámica por golpe, ayudando a determinar la resistencia de cada capa del pavimento [17].

- **Especificaciones Geométricas del DCP**

La ASTM D-6951-03 menciona que tiene un martillo de 8kg que cae desde una altura de 575mm y un cono intercambiable en la punta con un ángulo de 60° y un diámetro de 20mm [17].

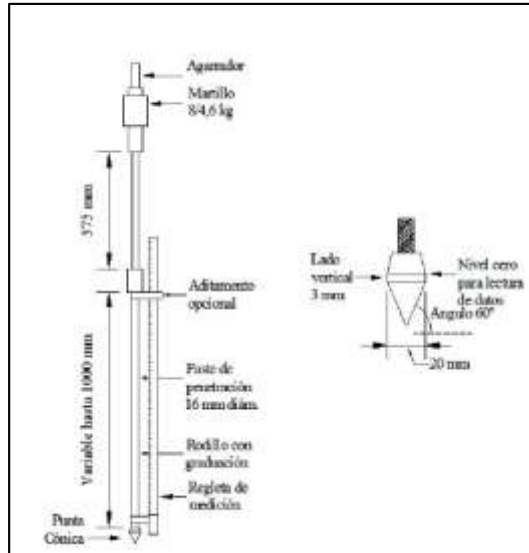


Figura 10 Esquema del equipo DCP

Fuente: ASTM D-6951-03

- **Curva DCP**

Es una representación gráfica entre el número de golpes acumulados en relación con la profundidad de penetración acumulada del DCP. Las capas existentes de un suelo se diferencian por la inclinación o pendientes de sus rectas, teniendo cada capa distinta resistencia [17].

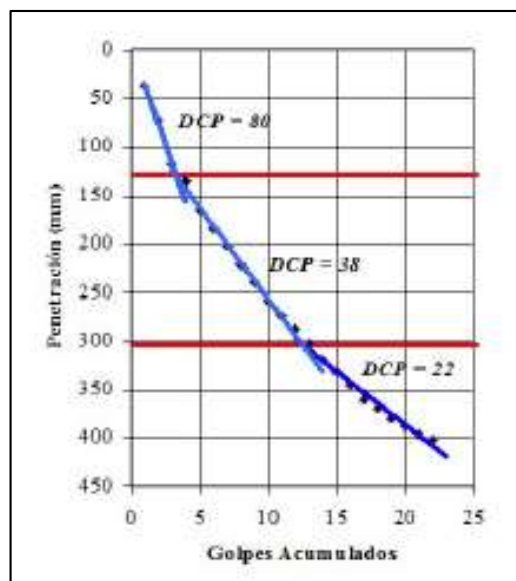


Figura 11 Curva DCP para una serie de valores, con tres capas diferentes.

Fuente: EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE SUELOS, F. Viscarra, 2006

- **Número DCP**

Es la relación entre la profundidad en mm de la penetración por golpe del DCP (mm/golpe). Este valor es de la pendiente de la curva DCP, por lo que mientras más vertical sea la gradiente, menor será la resistencia del suelo [17].

1.1.3.5. Pavimentos

Un pavimento está formado por un conjunto de capas horizontales superpuestas encima de una fundación. Esta estructura de pavimento se apoya sobre la sub-rasante de una vía que resiste esfuerzos de cargas repetidas que el tránsito transmite durante el período para el cual es diseñada la estructura de pavimento [18].

Un pavimento tiene como función resistir ante los agentes de intemperismo y resistir a la acción de cargas impuestas por el tránsito. Debe tener una textura superficial adaptada a las velocidades diseñadas para la circulación de vehículos y debe presentar regularidad superficial, transversal y longitudinal. Debe ser durable y poseer un buen drenaje ofreciendo seguridad al tránsito [18].

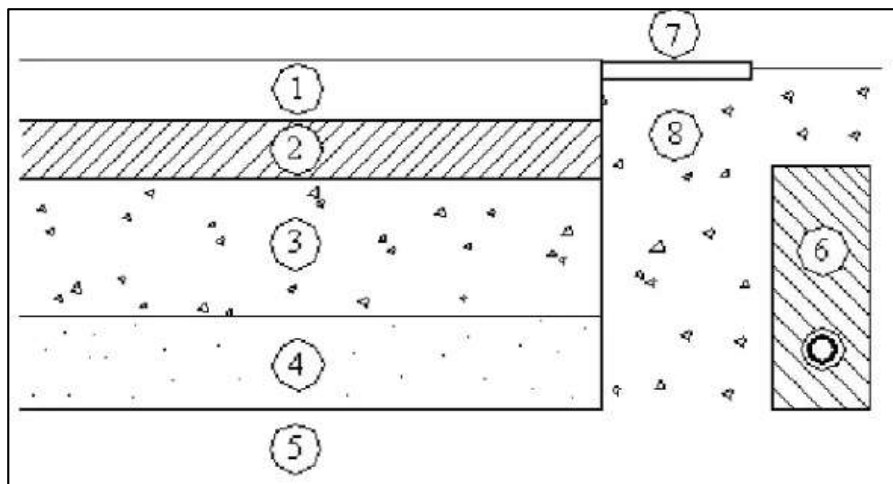


Figura 12 Sección Típica de un pavimento

Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000.

1. Capa de Rodadura
2. Capa Base
3. Capa Sub-base
4. Suelo Compactado
5. Subrasante

6. Sub-drenaje longitudinal
7. Revestimiento de Hombreras
8. Sub-base de Hombreras

1.1.3.5.1. Componentes de la Infraestructura de un camino

- **Terraplén**

Es el corte y relleno sobre un terreno preparado que se realiza para un fin determinado.

- **Sub-rasante**

Es una superficie donde el terraplén se encuentra listo para que sobre él se coloque la estructura de pavimento o afirmado. La sub-rasante es la capa compactada superior del terraplén que soporta la estructura del pavimento y las cargas que transmiten el tránsito. En la etapa constructiva los últimos 30cm de suelo debajo del nivel superior de la sub-rasante se debe compactar un 95% de la densidad seca máxima obtenida por el CBR [19].

Los suelos en una profundidad de 60cm por debajo de la capa superior a la sub-rasante son adecuados y estables cuando su $CBR \geq 6$, en caso contrario cuando el suelo tenga $CBR < 6\%$ se debe estabilizar el suelo buscando soluciones como la estabilización mecánica, reemplazo de suelo de cimentación, etc, debido a que estos suelos tienen una sub-rasante pobre o inadecuada [19].

De la calidad de esta capa depende de cierto modo el espesor del pavimento, es necesario controlar la humedad del suelo, ya que factores como la resistencia y el volumen del suelo se podrían ver afectados, ocasionando daños en las capas que se apoyen sobre este [18].

- **La capa Base**

Su función principal es reducir, distribuir y transmitir a la sub-base y sub-rasante los esfuerzos verticales que las cargas ejercen sobre ella. Esta capa debe ser de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) para que el agua que se infiltra en el pavimento, circule a través de drenajes laterales longitudinales [20, 18].

- **La capa Sub-base**

Está constituida por un material resistente de material especificado con espesor de diseño, sirve para reducir el espesor de la capa base y soportar la base y la carpeta asfáltica. Puede ser de material granular ($CBR \geq 40\%$) [20].

- **Afirmado**

Es una capa compactada de material granular diseñada para soportar cargas específicas, funciona como capa de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas [19].

- **La capa de rodadura o Carpeta Asfáltica**

Es la capa superior de un pavimento cuya función principal es sostener directamente el tránsito proporcionando una superficie uniforme y resistente. Impermeabiliza el pavimento, impidiendo el paso del agua al interior del pavimento para que pueda mantener su capacidad de soporte. Reduce tensiones verticales para controlar la capacidad estructural del pavimento [20].

1.1.3.5.2. Tipos de pavimentos

En nuestro medio existen pavimentos flexibles, semirrígidos, rígidos.

- **Pavimentos Flexibles**

El pavimento flexible tiene una capa de rodadura formada por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas, la base y sub-base soportados por la sub-rasante [18].

- **Pavimentos Rígidos**

Los pavimentos rígidos tienen una capa de rodadura formada por una losa de concreto hidráulico, con o sin refuerzo estructural, soportado por la sub-rasante, siendo esta de material granular [21].

- **Pavimentos semirrígidos**

Es la combinación de pavimentos rígidos y flexibles, donde la capa rígida (concreto hidráulico) va debajo de la capa flexible (carpeta asfáltica).

1.1.3.5.3. Diseño de Pavimentos Flexibles Método AASHTO 93

La AASHTO para el diseño de pavimentos toma en cuenta un factor de confiabilidad, Módulos resilientes de los materiales, Coeficientes estructurales, de drenaje y Efecto de Sub-rasantes expansivas o sometidas a congelación y deshielo [22].

AASHTO-93 propone encontrar el valor de SN (Número Estructural) para soportar las cargas bajo las condiciones de diseño, mediante la siguiente ecuación para encontrar el valor de SN se soluciona mediante iteraciones sucesivas:

$$\log_{10}(Wt18) = Z_R * S_O + \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

Wt18 = Ejes Equivalentes

Z_R = Desviación Estándar Normal

S_O = Desviación Estándar Global

SN = Número Estructural

ΔPSI = Cambio en la Serviciabilidad

M_R = Módulo de Resiliencia

- **Período de Análisis**

Se debe considerar estrategias de diseño que vayan desde una estructura que requiera bajo nivel de mantenimiento y que dure todo el período seleccionado. A continuación se presenta los lapsos de diseño sugeridos [23]:

Tabla 12. Período de Análisis

Tipo de Carretera	Período de Análisis (años)
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo Volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO, Ing.

Gustavo Corredor.

- **Tránsito**

AASHTO-93 se fundamenta en la determinación de las "Cargas Equivalentes Acumuladas en el Período de Diseño (W18)", en el que se simula al tráfico en un número de repeticiones de ejes equivalentes sencillos de 8.2 Ton (80KN), se toma en cuenta factores equivalentes de carga y consideraciones de distribuciones de carriles [24].

El factor equivalente de carga representa el número de repeticiones de cualquier magnitud y configuración (simple, tándem, trídem) que reemplazan el daño al pavimento por una aplicación de eje simple de 8.2ton [24].

- **Factor Equivalente de Carga (LEF)**

Es la relación de un eje con valores de carga sobre un eje equivalente de 8.2t en un tiempo determinado, cuantificando el daño en el índice de serviciabilidad actual [24].

$$LEF = \frac{N_x}{N_{18}}$$

Donde:

N_{18} = Repeticiones de carga del eje 8.2Ton, en un tiempo t.

N_x = Repeticiones de carga de un eje X en un tiempo t.

- **Factor Equivalente de carga por eje (Ley generalizada de la cuarta potencia)**

$$LEF = \left(\frac{P_i}{P_r}\right)^n$$

$$LEF = \left(\frac{P_i}{P_r}\right)^4$$

La ecuación se interpreta como la relación de la carga del tipo de vehículo analizado (P_i) y la configuración del eje de referencia (P_r), todo esto elevado a un exponente empírico "n", que la AASHTO Road Test para pavimentos flexibles determinó un valor entre 3.8 y 4.2, debido a esto se utiliza un valor promedio de 4.0 siendo este valor la ley generalizada de la cuarta potencia [24].

En la siguiente tabla se especifica el tipo de vehículo según su eje de referencia y configuración de ruedas que reemplazan el daño ocasionado en el pavimento [24].

Tabla 13. Carga del eje de Referencia

Eje de Referencia	Configuración de Ruedas	Carga		
		Klb	Ton.	KN
Simple	Simple	14.5	6.6	65
Simple	Doble	18	8.2	80
Tándem	Doble	33	15	146
Tridem	Doble	50.7	23	225

Fuente: INVIAS, “Guía Metodológica para el diseño de Obras de rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras”, Cargas equivalentes de referencia, 2008

- **Factor de distribución por dirección (Fd)**

Teniendo en cuenta un conteo de flujo vehicular, en la mayoría de vías circulan aproximadamente el mismo porcentaje de vehículos para cada dirección, es decir, 50 % de vehículos en una dirección y el otro 50% en la otra dirección, existen casos especiales (donde camiones cargados se dirigen a un solo sentido y camiones vacíos circulan en dirección opuesta) o justificando algún otro evento, la AASHTO recomienda tomar un valor del 50% para cada dirección [24].

- **Factor de distribución por Carril (Fc)**

La circulación de una vía en análisis depende del número de carriles, por lo que en la siguiente tabla se muestra factores de distribución por carril [24]:

Tabla 14. Factor de distribución por Carril

Número de Carriles de cada Dirección	Porcentaje de Ejes Equivalentes de 8,2 ton (W18) en el carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Confiabilidad**

La confiabilidad R del diseño es la probabilidad de que el diseño del pavimento dure en la realidad el mismo tiempo o más que el período previsto por el diseño adoptado.

Los valores de R se relacionan a valores estadísticos del coeficiente Z_R (Desviación estándar normal). Para el factor de confiabilidad se toma en cuenta el diseño y el comportamiento del pavimento, donde Z_R y el factor S_o (Desviación estándar global) determinan dicho factor de confiabilidad. La AASHTO presenta los niveles de confianza recomendados para diferentes tipos de carreteras como se muestra en la siguiente tabla [24].

Tabla 15. Niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad, R (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85-99,9	80-99,9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviador normal estándar (Z_R)**

Cada valor porcentual de confiabilidad (R) corresponde a un valor de propio de Z_R . En la siguiente tabla se muestra los valores correspondientes de Z_R para cada valor de R% [24].

Tabla 16. Desviador normal estándar

Confiabilidad, R (%)	Desviador Normal Estándar, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841

85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviador global estándar (S_o)**

Este valor considera errores de calidad y materiales de la vía, considera también la incertidumbre de saber si los resultados de tráfico están bien. El valor S_o para pavimentos flexibles varía de 0.40 a 0.50 por lo que se recomienda usar un valor de 0.45 [24].

- **Serviciabilidad (PSI)**

En un pavimento la serviciabilidad se define como la condición de ofrecer un servicio seguro y confortable a todo tipo de tráfico en algún momento determinado. La capacidad del índice de serviciabilidad actual (PSI) se mide desde 0 a 5, siendo el valor más alto un servicio perfecto o vía perfecta y el valor de 0 una vía intraficable [24].

$$\Delta PSI = PSI \text{ Inicial} - PSI \text{ Final}$$

Donde:

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

PSI Inicial = Índice de Servicio Inicial

PSI Final = Índice de Servicio Final

El valor de PSI inicial para pavimentos flexibles es de 4.2 y para pavimentos rígidos 4.5. Para el valor de PSI final AASHTO recomienda 3 valores, el valor de 2.0 para vías secundarias o con tráfico de menor importancia y los valores de 2.5 y 3.0 para el diseño de vías principales [24].

Tabla 17. Calificación de la serviciabilidad de la carretera

Índice de Serviciabilidad	Calificación
5 a 4	Muy Buena
4 a 3	Buena
3 a 2	Regular
2 a 1	Mala
1 a 0	Muy Mala

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Módulo de Resiliencia “Mr” (Características de la subrasante)**

La subrasante es el suelo que sirve como fundación para la estructura del pavimento flexible. Los espesores de las capas del pavimento dependen de la calidad de la subrasante, del clima y el número estructural calculado por la ecuación de la AASHTO 93 [24].

Para el diseño de pavimentos se realizaba ensayos de cargas estáticas o de baja velocidad de deformación como el CBR, siendo éste reemplazado por ensayos triaxiales cíclicos y de repetición de cargas como el módulo de resiliencia, con el propósito de simular mejor el comportamiento del pavimento ante tensiones y deformaciones [24].

AASHTO ha reconocido que algunos países no tienen acceso a estos equipos, por lo que sugiere que a partir de un valor CBR conocido se puede determinar Mr usando correlaciones conocidas con el CBR [24].

Para la ecuación de correlación $M_R = 1500 * CBR$ se considera usar CBR menores o iguales a 7.2% y se recomienda para suelos finos [23].

Para la ecuación de correlación $M_R = 3000 * CBR^{0.65}$ se considera usar CBR mayores 7.2%, pero menor o igual a 20% [23].

Para la ecuación de correlación $M_R = 4326 * \ln(CBR) + 241$ se considera usar CBR mayores 20% [23].

Todos estos valores de M_R se miden en Psi (lb/in²).

- **Coefficiente Estructural de capa (a_i)**

Una vez encontrado el valor del Número estructural SN mediante la ecuación general básica de diseño se asigna un valor a cada capa del pavimento flexible (sub-base, base, carpeta asfáltica) mediante coeficientes estructurales “ a_i ” que representan la capacidad de resistencia a las cargas solicitadas. Los coeficientes se basaron en correlaciones realizadas por el ensayo de AASHTO 1958-60 [24].

La siguiente ecuación se usa para obtener los valores de espesores de las capas del pavimento flexible, tomando en cuenta coeficientes de drenaje para base y sub-base.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

$a_1 a_2 a_3$ = Coeficientes estructurales de las capas del pavimento (carpeta asfáltica, base y sub-base respectivamente).

$D_1 D_2 D_3$ = Espesores de las capas del pavimento (carpeta asfáltica, base y sub-base respectivamente).

$m_2 m_3$ = Coeficientes de drenaje (base y sub-base respectivamente).

- **Espesores de capa**

La AASHTO 93 recomienda los siguientes espesores según el tránsito de W18 que se tenga para el diseño.

Tabla 18. Espesores mínimos según los ejes equivalentes (pulg.)

Tránsito W18	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 5000	1,0 o Tándem Superficial	4
50001 a 150000	2	4
150001 a 500000	2,5	4
500001 a 2000000	3	6
2000001 a 7000000	3,5	6
mayor a 7000000	4	6

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficiente Estructural sub-base (a_3)**

Nomograma establecido por la AASHTO para encontrar el coeficiente estructural a_3 de material granular [24].

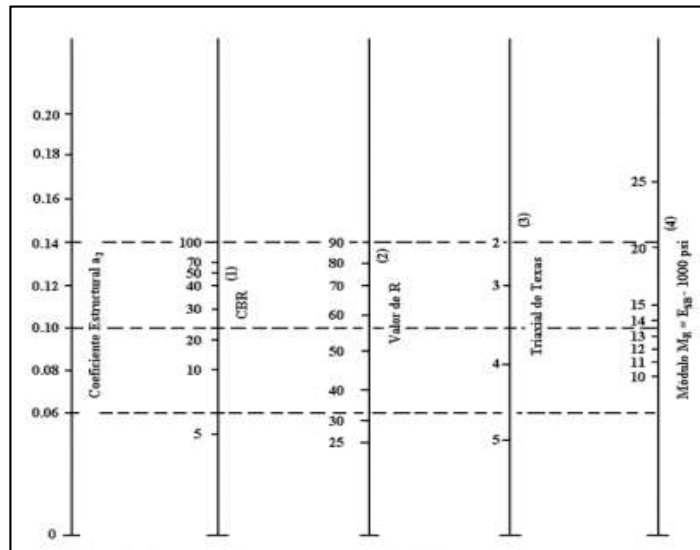


Figura 13 Estimación de a_3 para Sub-bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficiente Estructural base (a_2)**

Nomograma establecido por la AASHTO para encontrar el coeficiente estructural a_2 de material granular [24].

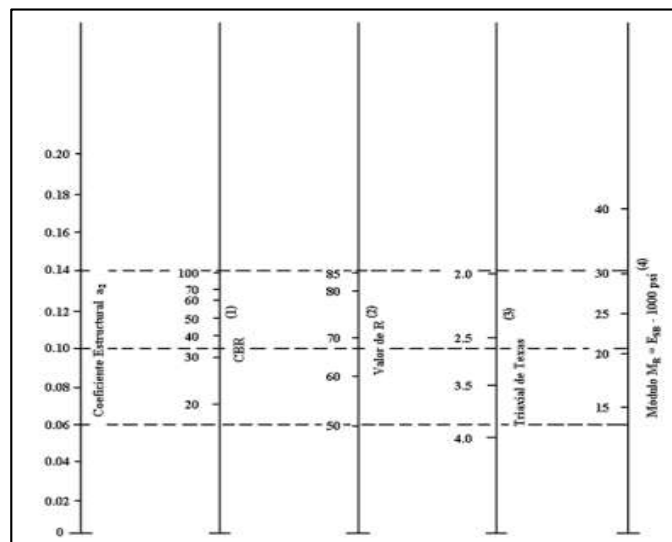


Figura 14 Estimación de a_2 para bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Nomograma establecido por la AASHTO para encontrar el coeficiente estructural a_2 de bases tratadas con cemento [24].

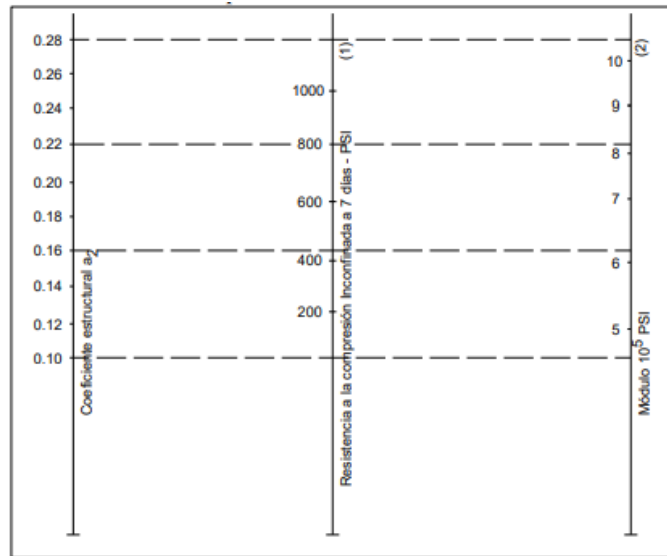


Figura 15 Estimación del a_2 para bases tratadas con cemento

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Nomograma establecido por la AASHTO para encontrar el coeficiente estructural a_2 de bases tratadas con asfalto [24].

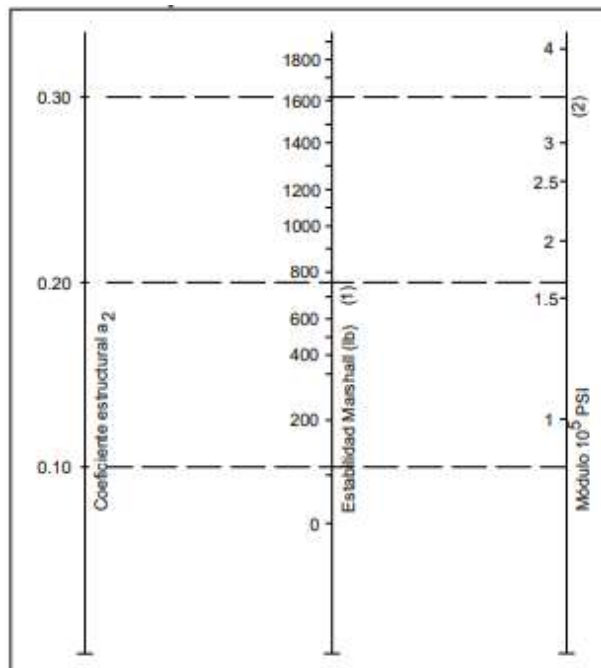


Figura 16 Estimación de a_2 para bases tratadas con asfalto

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficiente Estructural asfalto (a_1)**

Nomograma establecido por la AASHTO para encontrar el coeficiente estructural a_2 de bases tratadas con asfalto [24].

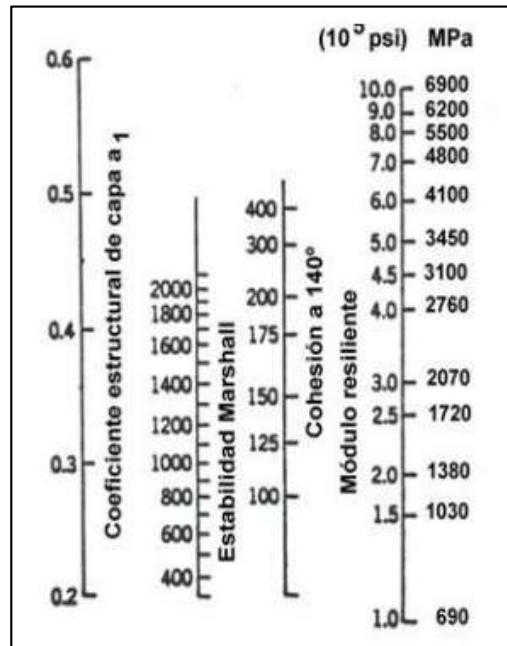


Figura 17 Estimación del a_1 para asfalto

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficiente Drenaje (m_i)**

La calidad del drenaje está en función del tiempo que se demora el agua en desaparecer de las capas del pavimento (Base y sub-base). No se toma en cuenta la capa asfáltica ya que se considera impermeable.

Tabla 19. Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
EXCELENTE	2 horas
BUENO	1 día
REGULAR	1 semana
POBRE	1 mes
MUY MALO	el agua no evacua

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Tabla 20. Corrección de coeficientes estructurales con respecto al drenaje y a la humedad a la que está expuesta el pavimento

Calidad de Drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura de pavimento está compuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35-1,30	1,30 - 1,20	1,2
Buena	1,35 - 1,25	1,25-1,15	1,15 - 1,00	1
Regular	1,25 - 1,15	1,15-1,05	1,00 - 0,80	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05-0,80	0,80 - 0,60	0,6
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95-0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

1.1.3.6. Correlación y Regresión

1.1.3.6.1. Correlación

Una correlación existe cuando entre dos variables, una variable se relaciona con la otra de alguna manera [25].

- **Coefficiente de correlación lineal**

El coeficiente r calcula la magnitud de relación lineal entre dos variables (X y Y) que representan datos cuantitativos. Este valor se calcula con la siguiente fórmula [25]:

$$r = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \sqrt{n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2}}$$

Donde:

n = Es el número de pares de datos presentes

Σ = Es la suma de los elementos indicados

Σx = Es la suma de todos los valores de x

Σx^2 = Cada valor de x debe elevarse al cuadrado y después deben sumarse esos cuadrados

$(\Sigma x)^2$ = Los valores de x deben sumarse y el total elevarse al cuadrado

Σxy = Cada valor de x debe multiplicarse primero por su valor y correspondiente. Calcular la suma de tos estos productos.

r = Coeficiente de correlación lineal de una muestra

Siempre se puede calcular el coeficiente de correlación lineal r entre las muestras apareadas o relacionadas, pero se debe cumplir los siguientes requisitos cuando se prueban hipótesis acerca de r [25].

1. La correlación entre dos variables (x,y) es una relación aleatoria de datos cuantitativos. Tomar en cuenta que no sean datos de respuesta voluntaria o datos recopilados por métodos inadecuados [25].
2. Los puntos que aparecen en el diagrama de dispersión deben acercarse al patrón de línea recta [25].
3. Si existen valores disparados o extremos se deben eliminar si es un error. Se debe calcular r con y sin el valor extremo [25].

• **Interpretación del Coeficiente de correlación lineal**

Si el valor de r calculado se acerca a 0 se concluye que no hay una correlación lineal entre x y y , pero si se acerca -1 o +1 si existe una correlación lineal entre x y y [25].

Se debe saber que el valor de r está entre -1 y +1; que el valor de r no cambia si los valores de cualquier variable se convierten a otra escala; r no sufrirá cambios por la elección de x o y ; r no mide la fuerza de una relación que no sea lineal [25].

Cuando se obtiene una correlación lineal entre x y y , existe una ecuación lineal que exprese y en términos de x , es decir, a través de valores de x se puede predecir los valores de y [25].

El valor estadístico de r se basa en la sumatoria de los productos de valores apareados conocidos y valores medios $\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})$. Donde $(\bar{x}-\bar{y})$ se denomina centroide.

Para saber si existe una correlación lineal significativa entre dos variables existen métodos llamados estadístico de prueba donde presentan la desviación estándar muestral de los valores r .

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

Donde:

t = Estadístico de prueba

r^2 = Proporción de variación de y que está explicada por la relación lineal entre x y y

n = Número de muestras

1.1.3.6.2. Regresión

La regresión describe la relación entre dos variables mediante el cálculo de una gráfica y una ecuación que represente mejor la relación. La ecuación de regresión es la que se ajusta mejor a los puntos muestrales y representa la relación de una variable independiente x y una variable dependiente \hat{y} . Esta ecuación nace de la ecuación típica de una línea recta ($y = mx + b$) y está expresada en la siguiente forma y se llama recta de regresión o recta de mínimos cuadrados [25]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x$$

Donde:

b_0 es la intersección en y

$$b_0 = \hat{y} - b_1x$$

b_1 es la pendiente de la recta.

$$b_1 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Los requisitos para realizar una regresión son los mismos que en una correlación, añadiendo que para cada valor fijo de x , los valores correspondientes de y deben tener una distribución en forma de campana. Para los distintos valores de x , las distribuciones respectivas de y tienen semejante varianza. Las medias correspondientes a los valores de y para cada valor de x se ubican en la misma línea recta. Los valores de la variable y deben ser independientes [25].

La ecuación de regresión suele utilizarse para encontrar valores de una variable en base a un valor conocido de la otra variable. Si la recta de regresión ajusta bien a los valores, se debe usarla para encontrar o predecir valores. No hay que realizar predicciones con valores que sobrepasen el rango de valores conocidos [25].

- **Interpretación de la ecuación de regresión**

En una ecuación de regresión se aprecia el efecto en una variable en base al cambio de cantidades específicas de otra variable. Se llama cambio marginal a la cantidad que cambia una variable cuando la otra variable cambia su valor [25].

Los valores extremos que aparecen lejos de otros valores en un diagrama de dispersión son puntos de influencia que afectan a la gráfica de la recta de regresión [25].

- **Residuales y la propiedad de mínimos cuadrados**

El criterio para determinar que recta se ajusta mejor a los datos se basa en residuales que consiste en distancias verticales entre los puntos de datos originales y la recta de regresión [25].

Un residual entre dos variables (x,y) , es la diferencia entre un valor y conocido y un valor \hat{y} predicho por la ecuación de regresión tal como se expresa en la siguiente ecuación [25]:

$$\text{residual} = \text{observada } y - \text{predicha } \hat{y} = y - \hat{y}$$

La propiedad de los mínimos cuadrados se cumple si en una recta la suma de los cuadrados de los residuales es la menor suma posible [25].

- **Gráficas Residuales**

Una gráfica residual es un diagrama de dispersión de valores $(x, y - \hat{y})$. Una buena grafica de dispersión residual no debe tener ningún patrón, ya que la ecuación de regresión representa correctamente a las dos variables. De lo contrario, si existe algún patrón sistemático, la ecuación de regresión no es buena para representar dichas variables [25].

- **Variación**

Existe variaciones que se pueden explicar y otras que no al realizar una correlación lineal entre las variables (x, y) . La desviación sin explicar se expresa como la diferencia vertical del valor de y conocido y \hat{y} predicho $(y - \hat{y})$. La desviación explicada se define como la diferencia vertical de \hat{y} predicha y \bar{y} media de los valores conocidos $(\hat{y} - \bar{y})$. La desviación total o estándar es la resta vertical entre el valor de y conocido y \bar{y} media

de los valores conocidos ($y - \bar{y}$). La desviación total es la suma de la desviación explicada y la desviación sin explicar [25].

$$y - \bar{y} = (\hat{y} - \bar{y}) + (y - \hat{y})$$

En la última ecuación descrita si se suma los cuadrados de las desviaciones a todos los puntos (x, y) , se obtienen cantidades de variación. La variación total se expresa como la suma de los cuadrados de los valores de desviación totales, la variación explicada es la suma de los cuadrados de los valores de desviación explicados, y la variación sin explicar es la suma de los cuadrados de los valores de desviación sin explicar [25].

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = \Sigma(\hat{y} - \bar{y})^2 + \Sigma(y - \hat{y})^2$$

- **Coefficiente de Determinación**

El valor de r^2 se define como la cantidad de variación en y que está explicada por la recta de regresión y se calcula como [25]:

$$r^2 = \frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}}$$

A la vez r^2 se puede calcular el coeficiente de correlación lineal.

- **Error Estándar del estimado**

El error estándar estimado S_e es una medida de las diferencias de valores de los y conocidos y los valores predichos \hat{y} , se expresa por la siguiente ecuación [25]:

$$s_e = \sqrt{\frac{\Sigma(y - \hat{y})^2}{n - 2}}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

1.1.3.6.3. Regresión múltiple

Se usa la ecuación de regresión múltiple para relaciones lineales cuando existen más de dos variables, donde una variable es de respuesta y las otras variables son de predicción. La forma general de esta ecuación es la siguiente [25]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

Donde:

k = número de variables de predicción o variables independientes

\hat{y} = valor predicho de y, calculado por la ecuación de regresión múltiple

x_1, x_2 = variables independientes

b_0 = intercepto y, o el valor cuando todas las variables de y son 0.

b_1, b_2 = Coeficientes de las variables independientes.

- **Coeficiente Ajustado de Determinación**

Es el coeficiente múltiple de determinación R^2 ajustado para el número de variables y tamaño de la muestra. Un ajuste de R^2 bueno da un resultado cercano a 1 y un valor malo de ajuste da cercano a 0. Se expresa por la siguiente expresión [25]:

$$R^2_{ajustada} = 1 - \frac{(n - 1)}{[n - (k + 1)]} (1 - R^2)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

k = número de variables de predicción o variables independientes

1.1.3.6.4. Modelos Matemáticos

Son funciones matemáticas que se ajustan a datos muestrales. Existen varios métodos matemáticos como la función lineal, logarítmica, potencial y exponencial. Cada función tiene su propio modelo de ecuación como se presenta a continuación [25]:

Lineal:

$$y = a + bx$$

Logarítmico:

$$y = a + b \ln x$$

Potencia:

$$y = ax^2$$

Exponencial:

$$y = ab^x$$

1.1.4. Hipótesis

Existe correlaciones entre el CBR de laboratorio y las propiedades índices y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la correlación entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez del cantón Ambato.
- Obtener las correlaciones experimentales entre las propiedades índice y mecánicas y el CBR de laboratorio para los suelos estudiados.
- Obtener la correlación experimental entre el factor DCP y el CBR de laboratorio para los suelos estudiados.
- Aplicar los valores de las correlaciones obtenidas en el diseño de un pavimento flexible.
- Realizar una zonificación general de los diferentes tipos de suelo parroquias Atahualpa y Augusto Martínez.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Niveles de Investigación

2.1.1. Investigación Exploratoria

La investigación del presente proyecto es exploratoria ya que se busca encontrar correlaciones entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas del suelo de las parroquias Augusto Martínez y Atahualpa, mediante estudios y análisis de suelos en campo y laboratorio para así determinar el diseño de un pavimento.

2.1.2. Investigación Aplicada

La presente investigación es aplicada ya que se puso en práctica conocimientos teóricos y prácticos; conocimientos teóricos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería civil y prácticos realizados en base a normas de ensayos de suelos. A la vez se aplica la investigación en el diseño de pavimentos.

2.1.3. Investigación Experimental

La investigación del proyecto también es experimental, debido a que en base al ensayo DCP y ensayos de granulometría, plasticidad y compactación, se busca saber si existe relación alguna para encontrar propiedades de resistencia y densidad del suelo.

2.2. Población

2.1.1. Parroquia Augusto Martínez

Augusto Martínez es una parroquia rural perteneciente al cantón Ambato, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Augusto Martínez de 2015, existe una población de 9065 habitantes, con una superficie de 38.38 km²; limitando al norte con la provincia de Cotopaxi, al sur Parroquia de San Bartolomé de Pinillo y Constantino Fernández, al este las Parroquia Urbana de Atocha-Ficoa, Cunchibamba, Unamuncho y Atahualpa y Provincia de Cotopaxi [26].

SENPLADES (2014) menciona que el relieve de esta parroquia se encuentra formado por edificios volcánicos, colinas altas glaciales. Además la topografía de la zona es irregular y está rodeada de quebradas [26].

La altitud de esta parroquia en la parte más alta se encuentra a los 3600.01-4120 m.s.n.m, mientras que en la parte baja existe una altitud de 2640-3080 m.s.n.m, debido a esta variación de altura existe diversidad de climas permitiendo que se de cultivos en la zona. Los climas del lugar son Ecuatorial de alta montaña, semi-húmedo y seco [26].

El suelo de estas parroquias son inceptisoles que son suelos limosos, arcillosos limosos que se han originado a partir de materiales resistentes o ceniza volcánica y molisoles que básicamente son suelos a partir de sedimentos minerales [26].

2.1.2. Parroquia Atahualpa

Atahualpa es una parroquia rural perteneciente al cantón Ambato, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Atahualpa de 2015, existe una población de 12910 habitantes. Por otra parte según la Cartografía GAD de la Municipalidad de Ambato la parroquia Atahualpa tiene una superficie de 934.891 ha. La parroquia limita al norte con la parroquia Unamucho, al Sur con el centro de Ambato, al este con la parroquia Izamba y al Oeste con la parroquia Augusto Martínez.

En esta zona los suelos en su mayoría son pastos y cultivos, al igual que la parroquia Augusto Martínez son suelos limosos, arcillosos limosos; su clima es templado, entre húmedo y seco.

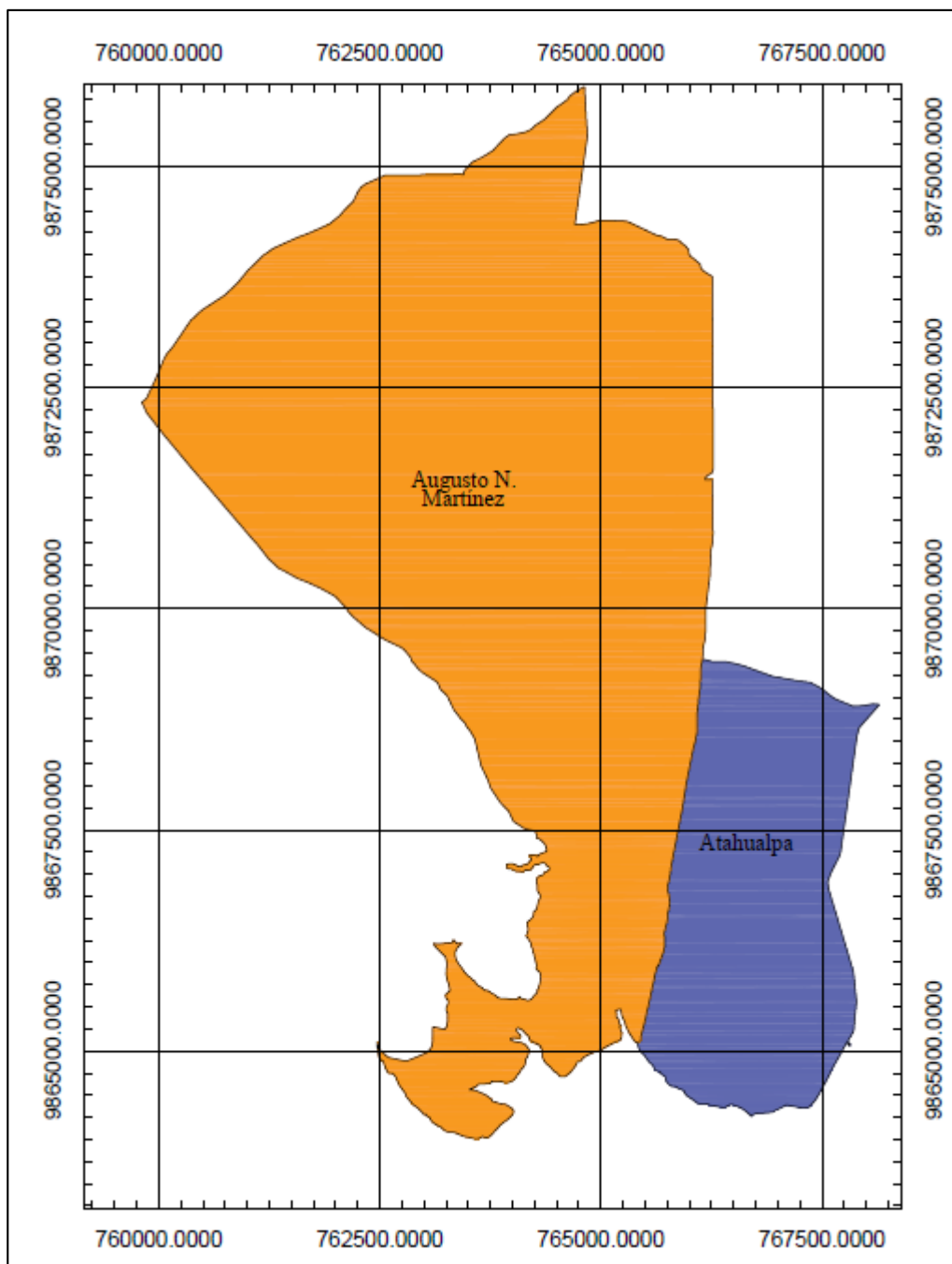


Figura 18 Superficie de las parroquias A. Martínez y Atahualpa

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

2.3. Muestra

Se realizó el reconocimiento de campo en las parroquias rurales Augusto Martínez y Atahualpa del cantón Ambato, para posteriormente proceder a sacar muestras de suelo en dichas parroquias. Como puntos de muestras de suelo se escogió para cada parroquia tres vías de orden secundario; en cada vía se extrajo dos muestras de suelo, mínimo cada 500m de distancia, dando como resultado seis muestras de suelo para cada parroquia, es decir doce muestras para el estudio del presente proyecto.

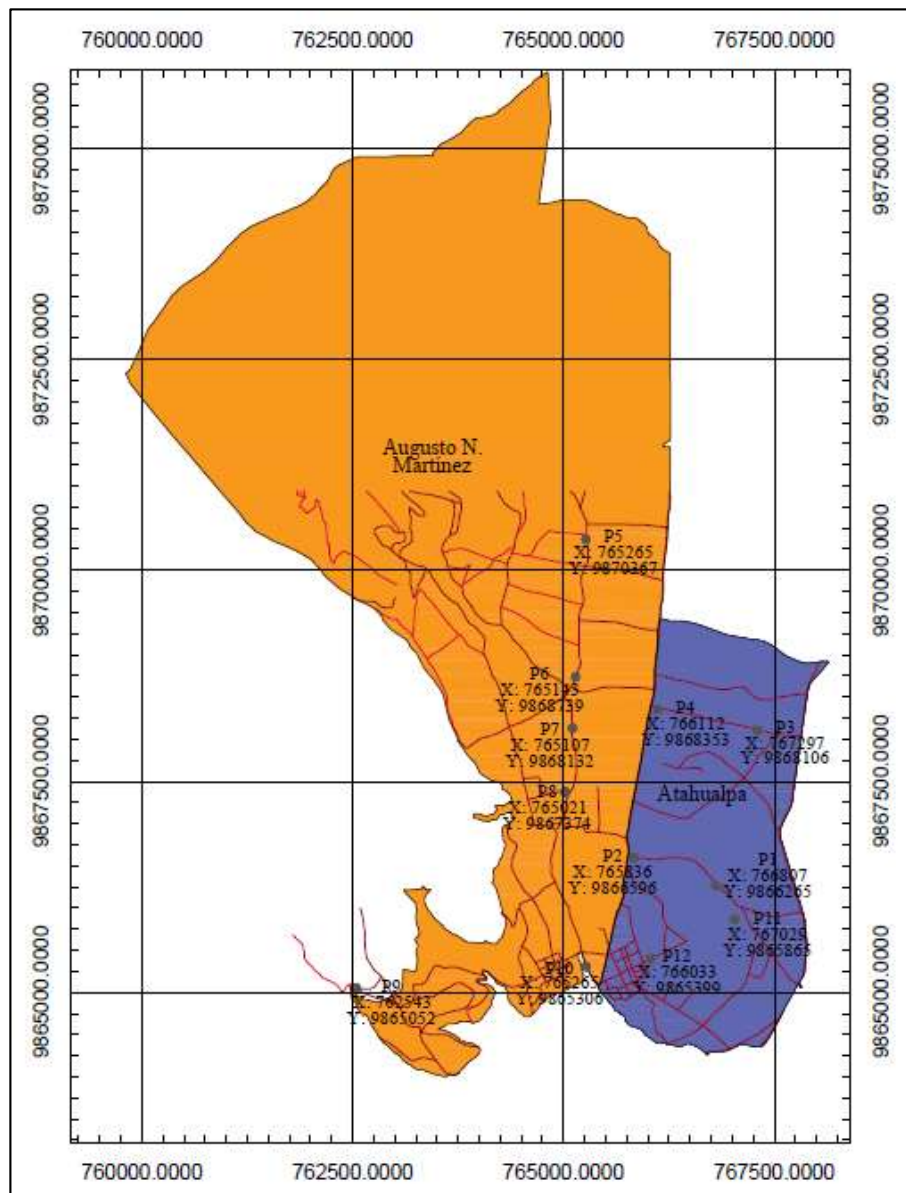


Figura 19 Coordenadas de las muestras de suelo de las parroquias A. Martínez y Atahualpa

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

2.4. Materiales y Equipos

Tabla 21. Materiales y Equipos de cada ensayo realizado

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Pozo a cielo abierto	Muestras en Situ	Pala Pico Barra Flexómetro	AASHTO T 87-70
Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras en Situ	Cono Cinzel Cuchareta Placa metálica Balanza Clavos Martillo	AASHTO T 191 2014
Dinamic Cone Penetrometer (DCP)	Muestras en Situ	Equipo DCP Libreta de anotación	ASTMD 6951-03
Gravedad Específica de sólidos	50 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Tamiz #4 Picnómetro Embudo Termómetro Recipiente metálico Pipeta Baño María	AASHTO T 100 2015
Granulometría	Muestra cuarteada de 250 gr	Tamizadora Juego de Tamices Brocha Recipiente	AASHTO T 88 2013
Límite Líquido (Copa Casagrande)	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Copa Casagrande Espátula, Acanalador Recipientes de aluminio	AASHTO T 89 2013

		Mortero de porcelana Pistillo de caucho	
Límite plástico	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Placa de vidrio Fuente de mezclado Calibrador pie de rey Mortero de porcelana Pistillo de caucho	AASHTO T 90 2016
Próctor Modificado tipo B	18 kg de suelo que pasa tamiz # 4	Bandeja metálica cuadrada Martillo de compactación Molde diámetro 6" con extensión y base Probeta graduada Palustre Regleta Metálica	AASHTO T 180 2018
California Bearing Ratio (CBR)	18 kg de suelo que pasa tamiz # 4	MULTISPEED 34-V1172	AASHTO T 193 2013

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

2.5. Métodos

2.5.1. Plan de Recolección de datos

Tabla 22. Plan de Recolección de datos

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Correlacionar las propiedades índice y mecánicas de diferentes suelos con su respectivo valor de CBR obtenido en laboratorio.
¿A quiénes?	A las muestras de suelo de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez, cantón Ambato.
¿Sobre qué aspectos?	Las propiedades de los suelos obtenidas mediante los diferentes ensayos de campo y laboratorio, así como el valor del CBR obtenido del ensayo de relación de soporte de California.
¿Quién?	El investigador Cristhian Bonilla
¿Cuándo?	Ensayos de campo del 16 de junio al 07 de julio.

	<p>Ensayos de laboratorio del 08 de julio al 05 de septiembre.</p> <p>Procesamiento y análisis de información desde septiembre a noviembre.</p>
¿Dónde?	<p>Parroquias Atahualpa y Augusto Martínez para tomas de muestras y ensayos en situ.</p> <p>Laboratorio de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.</p>
¿Técnicas de Recolección?	<p>Se retira la capa vegetal y se procede a realizar el ensayo DCP bajo la norma ASTM D 6951-03 y la Densidad de Campo por el método de Cono y Arena bajo la norma AASHTO T 191, ambos ensayos realizados en situ.</p> <p>Posterior a ello se toma la muestra de suelo aproximadamente 50 kg, esto para los ensayos de laboratorio. La muestra de suelo es pasada a través del tamiz rectangular # 4 y colocada en la bandeja para su secado.</p> <p>Para el análisis granulométrico se toma una muestra representativa de suelo, la misma que debe estar totalmente seca y se la coloca en la tamizadora con el juego de tamices en forma descendente como lo establece la norma AASHTO T 88 2013.</p> <p>Los límites de Atterberg son realizados bajo las normas AASHTO T 89 2013 y AASHTO T 90 2016, la gravedad específica bajo la norma AASHTO T 100 2015, los ensayos mencionados anteriormente requieren una muestra de suelo que pase el tamiz #40.</p> <p>En la determinación del contenido óptimo de humedad es necesario mínimo cuatro puntos, tres de ellos deberán generar un pico y el otro menor al máximo, esto mediante la norma AASHTO T 180 2018 del ensayo del Próctor Modificado, este contenido de humedad es utilizado para realizar el ensayo de relación de soporte de California (CBR) este último normado mediante AASHTO T 193 2013</p>

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

En las siguientes fotografías se muestra como se realizaron cada uno de los ensayos mencionados en la tabla 22 de plan de recolección de datos.



Figura 20 Ensayo Pozo a cielo abierto
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 21 Ensayo Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 22 Ensayo DCP

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 23 Ensayo de Granulometría

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 24 Ensayo Límite Líquido (Copa Casagrande)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 25 Ensayo Límite Plástico

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 26 Ensayo Próctor Modificado Tipo B

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Figura 27 Ensayo CBR

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

2.5.2. Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Se realizó tablas y gráficas en Excel mediante modelos matemáticos para poder procesar y analizar los datos de las muestras y así obtener correlaciones aceptables.

- **Correlación lineal múltiple**

Tabla 23. Formato de hoja de cálculo para ecuación lineal múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación lineal múltiple					
X1	X2	Y	X1*Y	X2*Y	X1*X2	X1^2	X2^2	Y^2
$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	ΣY	$\Sigma(X1*Y)$	$\Sigma(X2*Y)$	$\Sigma(X1*X2)$	$\Sigma(X1^2)$	$\Sigma(X2^2)$	$\Sigma(Y^2)$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

En base al criterio de mínimos cuadrados se resuelve el sistema de ecuaciones de la siguiente forma:

$$a * n + b_1 * \Sigma X1 + b_2 * \Sigma X2 = \Sigma Y$$

$$a * \Sigma X1 + b_1 * \Sigma X1^2 + b_2 * \Sigma X1 * X2 = \Sigma(X1 * Y)$$

$$a * \Sigma X2 + b_1 * \Sigma X1 * X2 + b_2 * \Sigma(X2)^2 = \Sigma(X2 * Y)$$

El sistema de ecuaciones se resuelve mediante la ayuda del programa Excel obteniendo matriz inversa.

Tabla 24. Sistema de ecuaciones para lineal múltiple

a	b1	b2	
n	$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	ΣY
$\Sigma X1$	$\Sigma X1^2$	$\Sigma X1 * X2$	$\Sigma(X1 * Y)$
$\Sigma X2$	$\Sigma X1 * X2$	$\Sigma(X2)^2$	$\Sigma(X2 * Y)$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

El resultado del cálculo de este sistema de ecuaciones son los valores de a, b1 y b2, de este modo se encuentran los valores de la ecuación de correlación múltiple lineal y posteriormente se procede a calcular el coeficiente de correlación r.

$$Y = a + b1 * X1 + b2 * X2$$

$$r^2 = \frac{a\Sigma Y + b_1\Sigma(X1 * Y) + b_2\Sigma(X2 * Y) - n * (Ymed)^2}{\Sigma(Y)^2 - n * (Ymed)^2}$$

- **Correlación logarítmica múltiple**

Tabla 25. Formato de hoja de cálculo para ecuación logarítmica múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación logarítmica múltiple						
X1	X2	Y	X1'=LOG(X)	X1'*Y	X2*Y	X1'*X2	X1'^2	X2^2	Y^2
$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	ΣY	$\Sigma X1'$	$\Sigma(X1'*Y)$	$\Sigma(X2*Y)$	$\Sigma(X1'*X2)$	$\Sigma(X1'^2)$	$\Sigma(X2^2)$	$\Sigma(Y^2)$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

En base al criterio de mínimos cuadrados se resuelve el sistema de ecuaciones de la siguiente forma:

$$a * n + b_1 * \Sigma X1' + b_2 * \Sigma X2 = \Sigma Y$$

$$a * \Sigma X1' + b_1 * \Sigma X1'^2 + b_2 * \Sigma X1' * X2 = \Sigma(X1'*Y)$$

$$a * \Sigma X2 + b_1 * \Sigma X1' * X2 + b_2 * \Sigma(X2)^2 = \Sigma(X2*Y)$$

El sistema de ecuaciones se resuelve mediante la ayuda del programa Excel obteniendo matriz inversa.

Tabla 26. Sistema de ecuaciones para logarítmica múltiple

a	b1	b2	
n	$\Sigma X1'$	$\Sigma X2$	ΣY
$\Sigma X1'$	$\Sigma X1'^2$	$\Sigma X1' * X2$	$\Sigma(X1'*Y)$
$\Sigma X2$	$\Sigma X1' * X2$	$\Sigma(X2)^2$	$\Sigma(X2*Y)$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

El resultado del cálculo de este sistema de ecuaciones son los valores de a, b1 y b2, de este modo se encuentran los valores de la ecuación de correlación múltiple logarítmica y posteriormente se procede a calcular el coeficiente de correlación r.

$$Y = a + b_1 * \log(X1) + b_2 * X2$$

$$r^2 = \frac{a\Sigma Y + b_1\Sigma(X1' * Y) + b_2\Sigma(X2 * Y) - n * (Ymed)^2}{\Sigma(Y)^2 - n * (Ymed)^2}$$

- **Correlación Potencial múltiple**

Tabla 27. Formato de hoja de cálculo para ecuación potencial múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación Potencial múltiple								
X1	X2	Y	X1'=LOG(X)	X2'=LOG(Y)	Y'=LOG(Z)	X1'*Y'	X2'*Y'	X1'*X2'	X1'^2	X2'^2	Y'^2
$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	ΣY	$\Sigma X1'$	$\Sigma X2'$	$\Sigma Y'$	$\Sigma(X1'*Y')$	$\Sigma(X2'*Y')$	$\Sigma(X1'*X2')$	$\Sigma(X1'^2)$	$\Sigma(X2'^2)$	$\Sigma(Y'^2)$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

En base al criterio de mínimos cuadrados se resuelve el sistema de ecuaciones de la siguiente forma:

$$a * n + b_1 * \Sigma X1' + b_2 * \Sigma X2' = \Sigma Y'$$

$$a * \Sigma X1' + b_1 * \Sigma X1'^2 + b_2 * \Sigma X1' * X2' = \Sigma(X1'*Y')$$

$$a * \Sigma X2' + b_1 * \Sigma X1' * X2' + b_2 * \Sigma(X2')^2 = \Sigma(X2'*Y')$$

El sistema de ecuaciones se resuelve mediante la ayuda del programa Excel obteniendo la matriz inversa.

Tabla 28. Sistema de ecuaciones para potencial múltiple

a	b1	b2	
n	$\Sigma X1'$	$\Sigma X2'$	$\Sigma Y'$
$\Sigma X1'$	$\Sigma X1'^2$	$\Sigma X1'*X2'$	$\Sigma(X1'*Y')$
$\Sigma X2'$	$\Sigma X1'*X2'$	$\Sigma(X2')^2$	$\Sigma(X2'*Y')$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

El resultado del cálculo de este sistema de ecuaciones son los valores de a, b1 y b2, de este modo se encuentran los valores de la ecuación de correlación múltiple potencial y posteriormente se procede a calcular el coeficiente de correlación r.

$$\log(Y) = \log(a1) + b1 * \log(X1) + b2 * \log(X2)$$

$$r^2 = \frac{a\Sigma Y' + b1\Sigma(X1' * Y') + b2\Sigma(X2' * Y') - n * (Y' med)^2}{\Sigma(Y')^2 - n * (Y' med)^2}$$

- **Correlación Exponencial múltiple**

Tabla 29. Formato de hoja de cálculo para ecuación exponencial múltiple

Variable Dependiente	Variable Dependiente	Variable Independiente	Ecuación Exponencial múltiple						
X1	X2	Y	Y'=LOG(Y)	X1*Y'	X2*Y'	X1*X2	X1^2	X2^2	Y'^2
$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	ΣY	$\Sigma Y'$	$\Sigma(X1*Y')$	$\Sigma(X2*Y')$	$\Sigma(X1*X2)$	$\Sigma(X1^2)$	$\Sigma(X2^2)$	$\Sigma(Y'^2)$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

En base al criterio de mínimos cuadrados se resuelve el sistema de ecuaciones de la siguiente forma:

$$a * n + b_1 * \Sigma X1 + b_2 * \Sigma X2 = \Sigma Y'$$

$$a * \Sigma X1 + b_1 * \Sigma X1^2 + b_2 * \Sigma X1 * X2 = \Sigma(X1*Y')$$

$$a * \Sigma X2 + b_1 * \Sigma X1 * X2 + b_2 * \Sigma(X2)^2 = \Sigma(X2*Y')$$

El sistema de ecuaciones se resuelve mediante la ayuda del programa Excel obteniendo la matriz inversa.

Tabla 30. Sistema de ecuaciones para exponencial múltiple

a	b1	b2	
n	$\Sigma X1$	$\Sigma X2$	$\Sigma Y'$
$\Sigma X1$	$\Sigma X1^2$	$\Sigma X1*X2$	$\Sigma(X1*Y')$
$\Sigma X2$	$\Sigma X1*X2$	$\Sigma(X2)^2$	$\Sigma(X2*Y')$

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

El resultado del cálculo de este sistema de ecuaciones son los valores de a, b1 y b2, de este modo se encuentran los valores de la ecuación de correlación múltiple exponencial y posteriormente se procede a calcular el coeficiente de correlación r.

$$\ln(Y) = \ln(a1) + b1 * X1 + b2 * X2$$

$$r^2 = \frac{a\Sigma Y' + b1\Sigma(X1 * Y') + b2\Sigma(X2 * Y') - n * (Y' med)^2}{\Sigma(Y')^2 - n * (Y' med)^2}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y Discusión

3.1.1. Resultados de los suelos analizados

Los resultados obtenidos a través de esta investigación representan rangos de valores de las propiedades de las muestras de los 12 suelos estudiados, ensayados y analizados.

- El color predominante de las muestras de suelo en las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez es café oscuro.
- El contenido de humedad natural tiene valores desde un 7.46% hasta un 25.68%.
- La densidad natural in situ varía entre 1.634 y 2.059gr/cm³.
- Los datos obtenidos de la densidad seca in situ varían entre 1.393 y 1.712gr/cm³.
- La relación de vacíos de las muestras de suelos varían entre 0.54 y a 0.9
- La porosidad varía entre 35.25 y 47.47%.
- El rango de valores del grado de saturación del agua se encuentra desde el 22.04 al 99.17%.
- El rango de valores del grado de saturación del aire varía desde el 0.83 al 77.96%.
- El rango de valores porcentual de gravas existentes en los suelos va desde 0 a 2.72.
- El rango de valores porcentual de arena existente en los suelos va desde 65.01 a 87.16.
- El rango de valores porcentual de finos existentes en los suelos va desde 10.12 a 34.99.
- El rango de valores del límite líquido de las muestras analizadas varían entre 21.70 y 31.50%.

- El rango de valores del límite plástico de las muestras analizadas varían entre 19.71 y 27.12%.
- El rango de valores del índice plástico de las muestras analizadas varían entre 0.31 y 4.38.
- El rango de valores del índice de liquidez de las muestras analizadas varían entre -32.93 y 9.36%.
- La gravedad específica de los suelos varía entre 2.325 y 2.668 gr/cm³.
- La densidad seca máxima varía con valores desde 1.437 y 1.742 gr/cm³.
- El contenido de humedad óptimo tiene valores desde un 15.4% hasta un 22.8%.
- El grado de Compactación de las muestras de suelos varía entre 85.60 y 109.39%.
- Los valores CBR mayores tomados para el 95% de la densidad seca máxima (corregidos) varían de 13 a 37%.
- El Índice de Penetración (DN) para 700 mm, varía de 3.2 a 34.02 mm/golpe.
- Según la (SUCS) los suelos de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez son SM-SP, SM-SC y SM.
- Según la (AASHTO) los suelos de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez son A 2-4.

3.1.2. Nomenclatura

CBR 0.1" = CBR para 0.1 pulg. de penetración (%)

CBR 0.2" = CBR para 0.2 pulg. de penetración (%)

CBR mayor" = CBR mayor entre 0.1" y 0.2" (%)

DN = Índice de Penetración (mm/golpe)

Gc = Grado de Compactación (%)

Gs = Gravedad específica de sólidos

IL = Índice de Liquidez (%)

IP = Índice Plástico (%)

LL = Límite Líquido (%)

LP = Límite Plástico (%)

N°200 = Pasa el tamiz N° 200 (%)

W_{nat} = Contenido de Humedad Natural (%)

W_{ópt} = Contenido de Humedad Óptima (%)

y_{Húm} = Densidad Húmeda in-situ (gr/cm³)

y_{d in-situ} = Densidad Seca in-situ (gr/cm³)

y_{d máx} = Densidad Seca Máxima (gr/cm³)

e = Relación de Vacíos

n = Porosidad (%)

G_w = Grado de Saturación del agua (%)

G_a = Grado de Saturación del aire (%)

D₆₀ = Diámetro correspondiente al 60% más fino

D₃₀ = Diámetro correspondiente al 30% más fino

D₁₀ = Diámetro correspondiente al 10% más fino

C_u = Coeficiente de Uniformidad

C_c = Coeficiente de Uniformidad

G = Porcentaje de grava existente en la muestra de suelo

S = Porcentaje de arena existente en la muestra de suelo

F = Porcentaje de finos existentes en la muestra de suelo

Nota:

Las ecuaciones propuestas por las correlaciones llevan las unidades descritas en esta sección.

Los valores de CBR usados en las correlaciones son corregidos para el 95% de la Densidad Seca Máxima.

3.1.3. Tablas y Figuras de Clasificación y Propiedades de los Suelos

Tabla 31. Propiedades de los Suelos

<i>Ensayo:</i>			<i>Densidad de Campo</i>							<i>Granulometría</i>							
N°	Parroquia	Vía	W nat (%)	γ Húm (gr/cm3)	γ Seca (gr/cm3)	e	n (%)	Gw (%)	Ga (%)	D60	D30	D10	Cu	Cc	G (%)	S (%)	F (%)
1	Atahualpa	El Pisque-La Merced	25,68	1,910	1,520	0,74	42,59%	91,30%	8,70%	0,35	0,14	0,07	4,73	0,70	2,72	87,16	10,12
2	Atahualpa	El Pisque-La Merced	7,46	1,497	1,393	0,90	47,47%	22,04%	77,96%	0,19	0,1	0,06	2,98	0,84	0	82,62	17,38
3	Atahualpa	Sta Fé-Sta Teresita	20,58	2,059	1,708	0,55	35,63%	99,17%	0,83%	0,24	0,07	0,04	6,86	0,55	0	67,50	32,50
4	Atahualpa	Sta Fé-Sta Teresita	18,64	2,031	1,712	0,54	35,25%	89,52%	10,48%	0,24	0,09	0,05	4,62	0,65	0,20	76,93	22,87
5	A. Martínez	Chaupi-San Pedro	19,11	1,981	1,663	0,58	36,71%	82,89%	17,11%	0,58	0,12	0,06	10,00	0,43	2,44	80,06	17,49
6	A. Martínez	Chaupi-San Pedro	10,72	1,740	1,572	0,69	40,67%	41,38%	58,62%	0,21	0,06	0,03	6,77	0,59	0,48	65,09	34,43
7	A. Martínez	San Pedro-Esperanza	11,26	1,767	1,588	0,67	40,18%	45,20%	54,80%	0,2	0,06	0,03	6,25	0,64	0	65,86	34,14
8	A. Martínez	San Pedro-Esperanza	12,74	1,648	1,462	0,82	44,92%	41,99%	58,01%	0,16	0,07	0,04	4,32	0,71	0	65,51	34,49
9	A. Martínez	Esperanza-Martínez	15,72	1,749	1,511	0,75	42,99%	55,39%	44,61%	0,35	0,08	0,04	9,72	0,46	0	70,95	29,05
10	A. Martínez	Esperanza-Martínez	13,04	1,634	1,446	0,83	45,45%	41,54%	58,46%	0,33	0,08	0,04	9,17	0,58	0	72,61	27,39
11	Atahualpa	Atahualpa-El Pisque	10,45	1,744	1,579	0,68	40,39%	40,63%	59,37%	0,1	0,07	0,04	4,73	0,74	0	67,31	32,69
12	Atahualpa	Atahualpa-El Pisque	22,43	1,840	1,503	0,76	43,19%	77,53%	22,47%	0,2	0,06	0,03	6,67	0,64	0	65,01	34,99

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 32. Propiedades de los Suelos

Ensayo:			Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Índice de Liquidez (%)	Gravedad Específica (Gs)	Clasificación	
N°	Parroquia	Vía						SUCS	AASHTO
1	Atahualpa	El Pisque-La Merced	22,90	22,57	0,33	9,36	2,381	SM-SP	A 2-4(0)
2	Atahualpa	El Pisque-La Merced	22,05	21,44	0,61	-22,80	2,393	SM	A 2-4(0)
3	Atahualpa	Sta Fé-Sta Teresita	21,90	21,59	0,31	-3,21	2,668	SM	A 2-4(0)
4	Atahualpa	Sta Fé-Sta Teresita	23,30	21,92	1,38	-2,37	2,645	SM	A 2-4(0)
5	A. Martínez	Chaupi-San Pedro	31,50	27,12	4,38	-1,83	2,515	SM-SC	A 2-4(0)
6	A. Martínez	Chaupi-San Pedro	22,80	21,33	1,47	-7,24	2,628	SM	A 2-4(0)
7	A. Martínez	San Pedro-Esperanza	25,90	25,16	0,74	-18,75	2,537	SM	A 2-4(0)
8	A. Martínez	San Pedro-Esperanza	24,80	24,44	0,36	-32,93	2,400	SM	A 2-4(0)
9	A. Martínez	Esperanza-Martínez	26,10	25,38	0,72	-13,44	2,642	SM	A 2-4(0)
10	A. Martínez	Esperanza-Martínez	28,30	25,00	3,30	-3,62	2,325	SM	A 2-4(0)
11	Atahualpa	Atahualpa-El Pisque	21,70	19,71	1,99	-4,66	2,392	SM	A 2-4(0)
12	Atahualpa	Atahualpa-El Pisque	25,80	23,81	1,99	-0,69	2,642	SM	A 2-4(0)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 33. Propiedades de los Suelos

<i>Ensayo:</i>			<i>Compactación</i>			<i>CBR (%)</i>			<i>DCP</i>
N°	Parroquia	Ubicación	yd máx (gr/cm3)	W ópt (%)	Gc (%)	95% yd máx			DN (mm/golpe)
						0,1"	0,2"	mayor"	
1	Atahualpa	El Pisque-La Merced	1,702	20,0	89,30	19,4	21,6	21,6	21,450
2	Atahualpa	El Pisque-La Merced	1,464	22,4	95,13	13	12	13	18,200
3	Atahualpa	Sta Fé-Sta Teresita	1,669	18,5	102,31	20	19,6	20	17,887
4	Atahualpa	Sta Fé-Sta Teresita	1,731	15,4	98,92	24,3	26,7	26,7	34,020
5	A. Martínez	Chaupi-San Pedro	1,655	21,8	100,51	31,7	34,5	34,5	3,210
6	A. Martínez	Chaupi-San Pedro	1,437	18,4	109,39	21,4	23,3	23,3	28,000
7	A. Martínez	San Pedro-Esperanza	1,742	17,9	91,17	18,8	20,4	20,4	11,474
8	A. Martínez	San Pedro-Esperanza	1,708	16,3	85,60	21,5	27,9	27,9	8,000
9	A. Martínez	Esperanza-Martínez	1,695	18,8	89,17	19,5	19,5	19,5	10,702
10	A. Martínez	Esperanza-Martínez	1,563	22,8	92,51	18,8	20,6	20,6	16,981
11	Atahualpa	Atahualpa-El Pisque	1,716	16,0	92,00	36,8	31,4	36,8	20,327
12	Atahualpa	Atahualpa-El Pisque	1,642	20,8	91,54	12,8	18	18	7,977

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

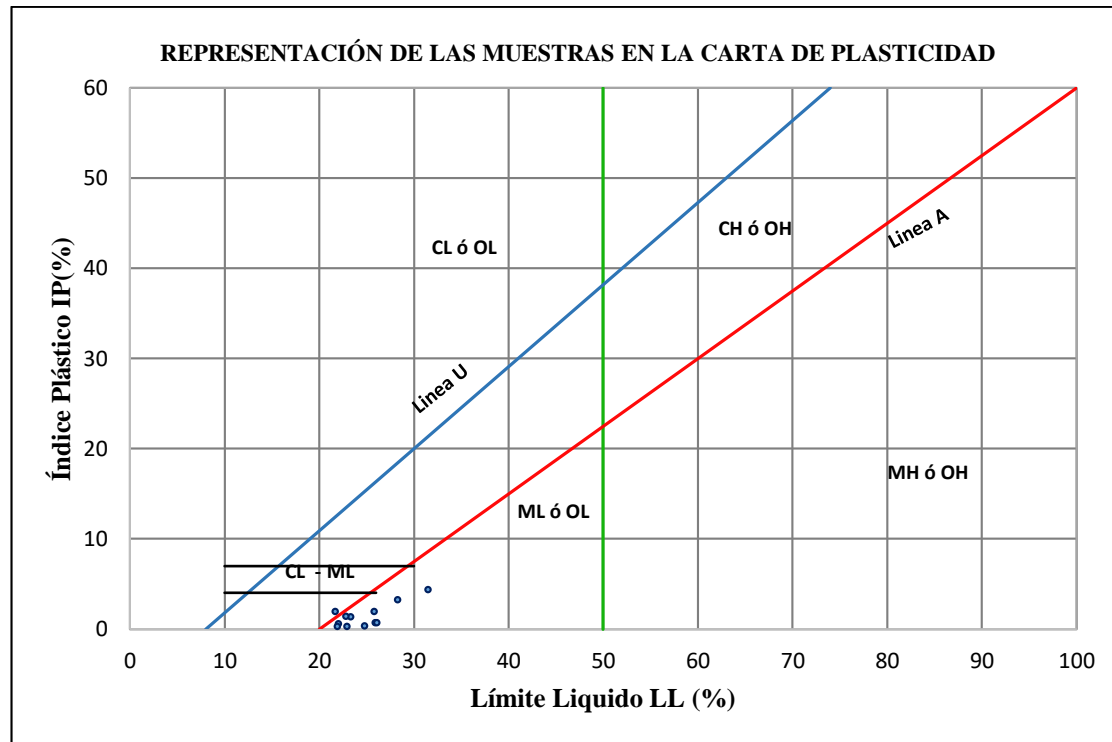


Figura 28 Carta de Plasticidad de los suelos

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

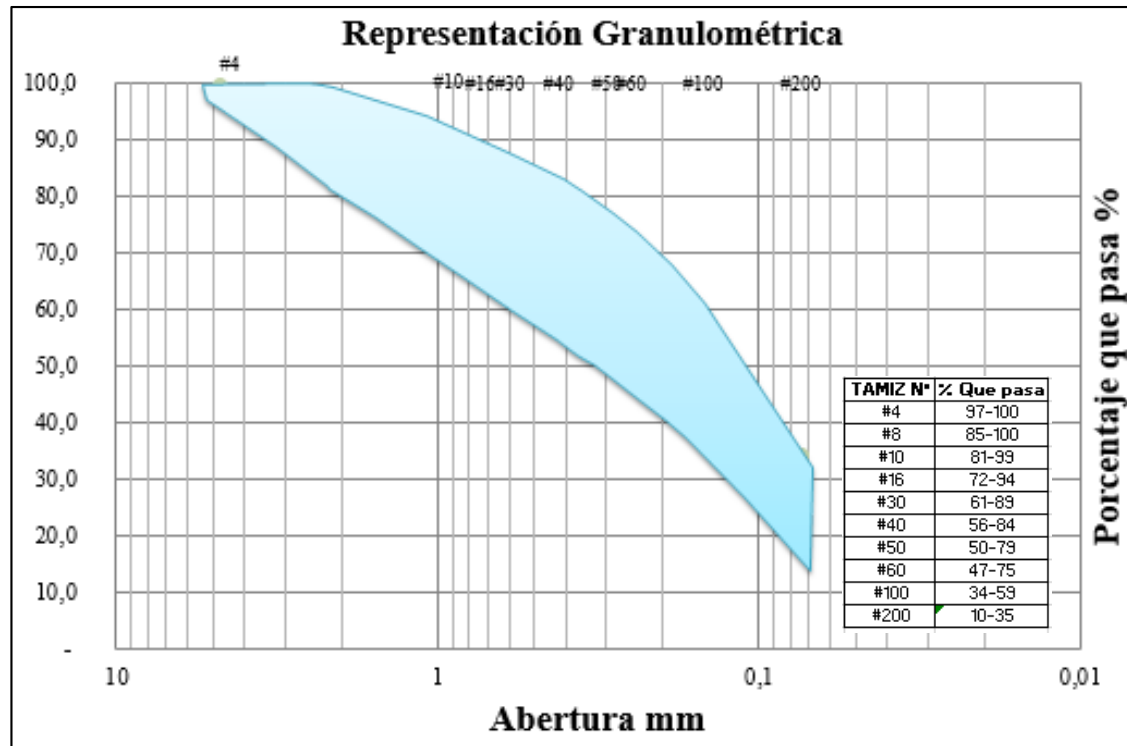


Figura 29 Rango Granulométrico de los suelos Estudiados

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

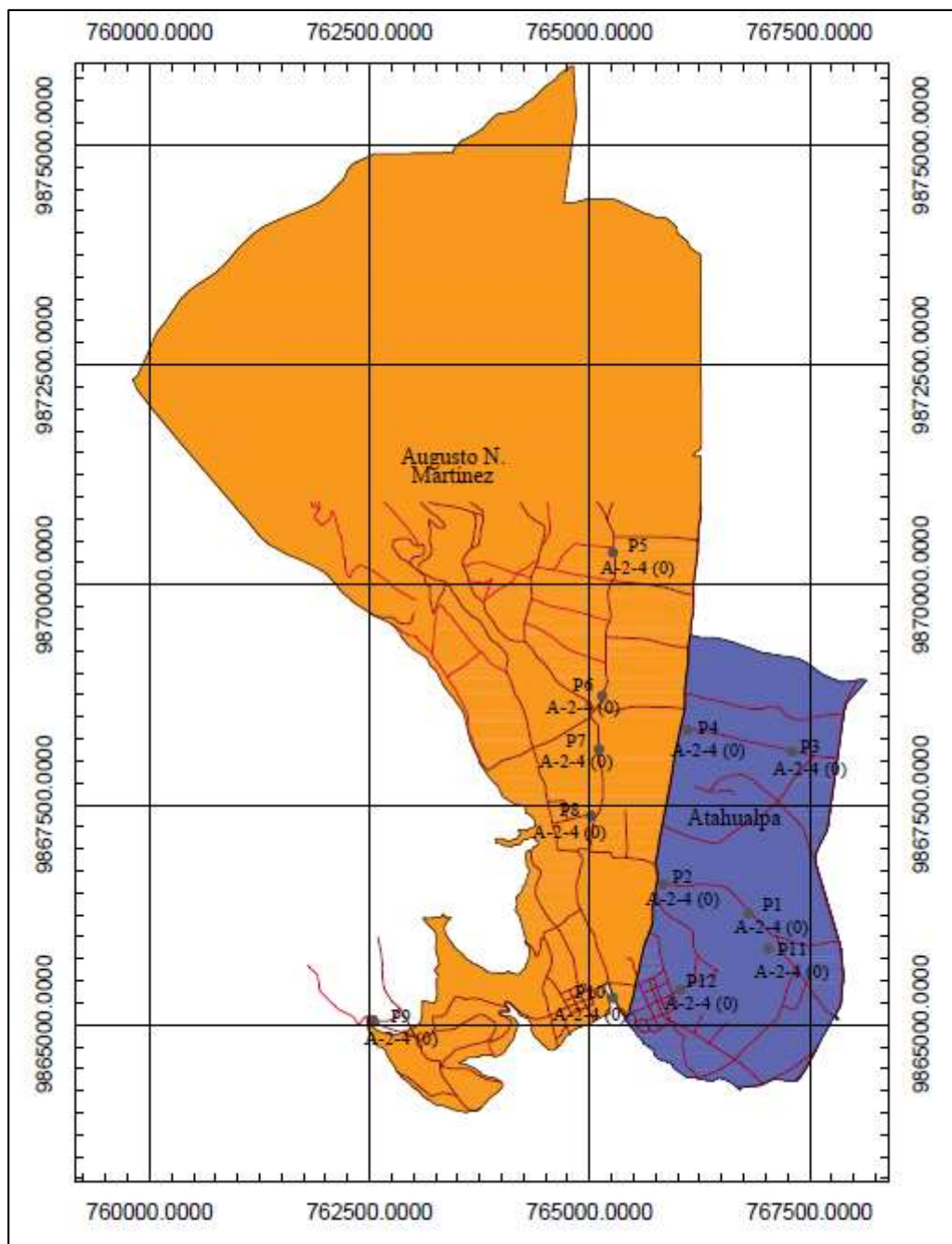


Figura 30 Muestras de suelos según AASHTO en las parroquias A. Martínez y Atahualpa

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

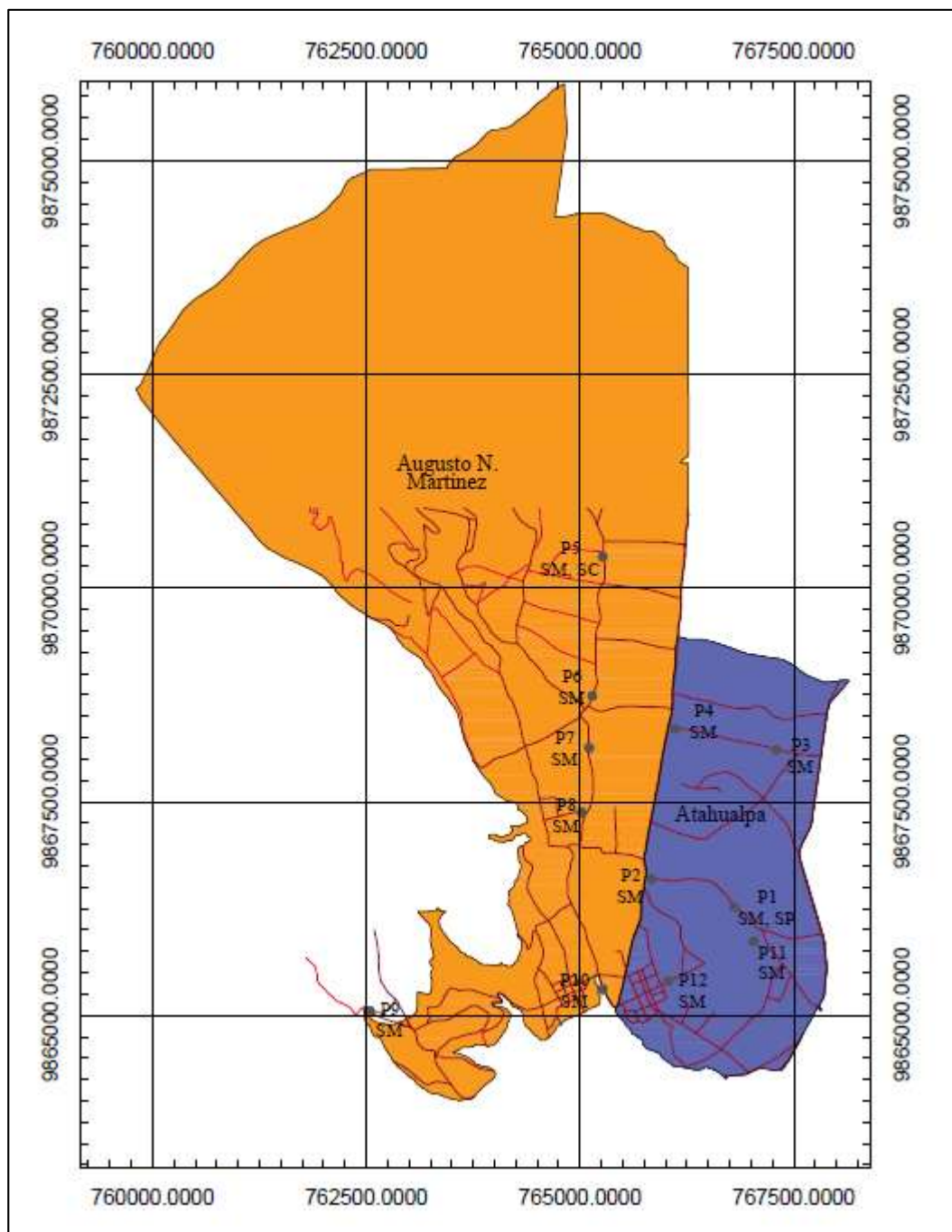


Figura 31 Muestras de suelos según SUCS en las parroquias A. Martínez y Atahualpa

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

3.1.4. Correlaciones

Tabla 34. Correlaciones entre propiedades

N°	Ecuación	Coef. de correlación R (%)	N° Muestras	Figura
Correlaciones entre propiedades Índice				
1	$LP=0.6781(LL)+6.5035$	90%	12	32
2	$\gamma_{d \max}=0.0056(W_{\text{ópt}})+0.1884(W_{\text{ópt}})+0.1332$	74%	11	33
3	$W_{\text{ópt}}=6.6274+0.9924(LL)-0.5511(LP)$	60%	10	34
4	$\gamma_{d \max}=0.1602*LL^{-1.0008}*LP^{1.7499}$	70%	10	35
5	$\gamma_{d \max} = 1.7076 - 0.0206(W_{\text{ópt}}) + 0.2248(\gamma_{d \text{ in situ}})$	68%	10	36
6	$G_s=1.1039-(W_{\text{ópt}}*0.0021)+(\gamma_{d \text{ in situ}}*0.9113)$	66%	11	37
7	$G_c=-1.0633+46.6929(\gamma_{d \text{ in situ}})+1.149(W_{\text{ópt}})$	75%	11	38
8	$W_{\text{ópt}}=10.7774 + 0.4274(LL) - 0.0839(\text{Pasa N}^\circ 200)$	56%	10	39
Correlaciones DN vs. Propiedades Índice				
9	$DN=3989.4e^{-0.242(LP)}$	62%	11	40
10	$DN=952.79e^{-0.17(LL)}$	60%	11	41
11	$DN=9845.44*e^{-0.00937(LL)}*e^{-0.2690(LP)}$	68%	11	42
12	$DN=0.3908*e^{(0.01311*IL)}*e^{(0.0406*GC)}$	54%	11	43
13	$DN=87.2395-0.5009(\text{Pasa N}^\circ 200) - 1.3283(n)$	51%	11	44
Correlaciones CBR vs. Propiedades Índice				
14	$CBR_{\text{mayor}}=0.3046(W_{\text{ópt}})^2-13.573(W_{\text{ópt}})+168.45$	66%	11	45
15	$CBR = 2.779* \gamma_{d \max}^{4.1922}$	65%	10	46
16	$CBR_{\text{mayor}}=0.3203*e^{(0.0465*LL)}*e^{(1.8303*\gamma_{d \max})}$	63%	10	47
17	$CBR_{\text{mayor}}=2102.6453*(\gamma_{d \max}^{0.1454})*(W_{\text{ópt}}^{-1.5847})$	64%	11	48

18	$CBR_{\text{mayor}} = 0.0898 * (LP ^ 1.4351) * (\gamma_{\text{d in situ}} ^ 2.1761)$	53%	11	49
19	$CBR_{\text{mayor}} = 5348.5222 * (LP ^ (-0.2803)) * (W_{\text{opt}} ^ (-1.5793))$	64%	11	50
20	$CBR_{\text{mayor}} = 104.9749 - 65.2244 * \text{Log}(LP) + 5.0989(IP)$	60%	10	51
21	$CBR_{\text{mayor}} = 16.3305 * e^{(0.0667 * LL)} * e^{(-0.07159 * W_{\text{opt}})}$	64%	11	52
22	$CBR_{\text{mayor}} = 5577.6442 * (\gamma_{\text{d in situ}} ^ (-0.5694)) * (W_{\text{opt}} ^ (-1.8090))$	65%	11	53
Correlación CBR vs. DCP				
23	$CBR_{\text{mayor}} = 0.1082 (DN)^2 - 3.3718 (DN) + 43.688$	70%	10	54

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

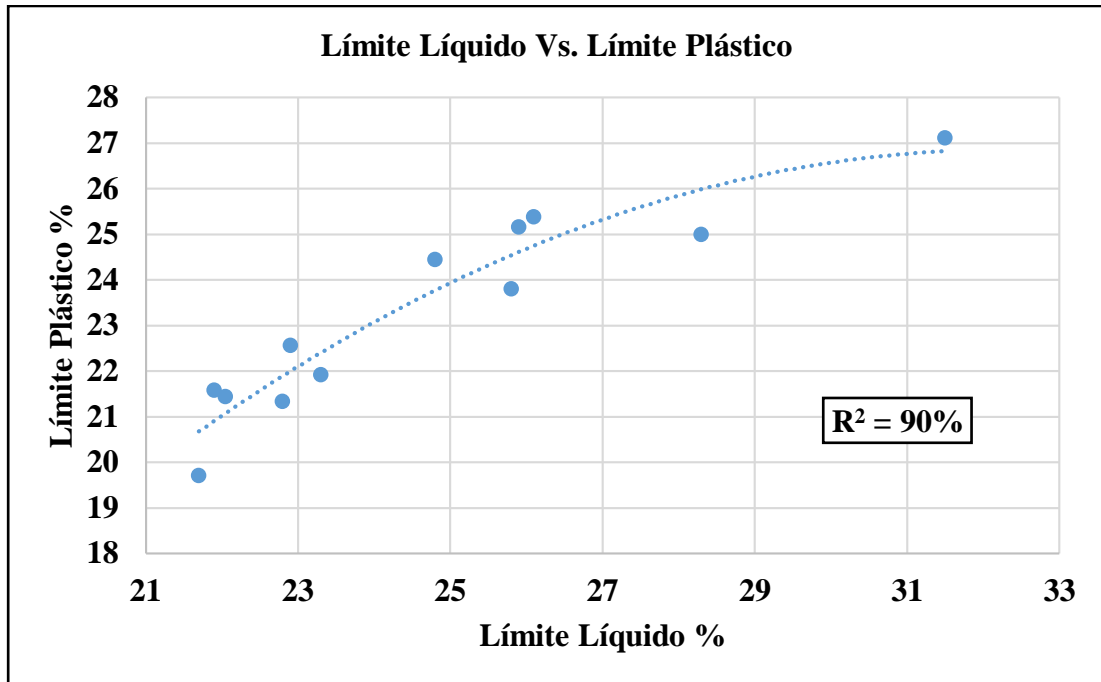


Figura 32 Correlación LP (%) vs. LL (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $LP = 0.6781 (LL) + 6.5035$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 90\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Límite Líquido (%) vs. Límite Plástico (%) presenta un coeficiente de correlación excelente, ya que tiene un valor de $R^2=90\%$ en función a su ecuación polinómica de segundo orden. El muestreo de datos para la correlación fue de las 12 muestras analizadas de suelo. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de límite plástico, el valor del límite líquido debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos de cada variable. Estas propiedades son directamente proporcionales entre sí, ya que los datos relacionados indican que cuando un suelo es más húmedo también es más plástico, por ende los suelos son más manejables y deformables.

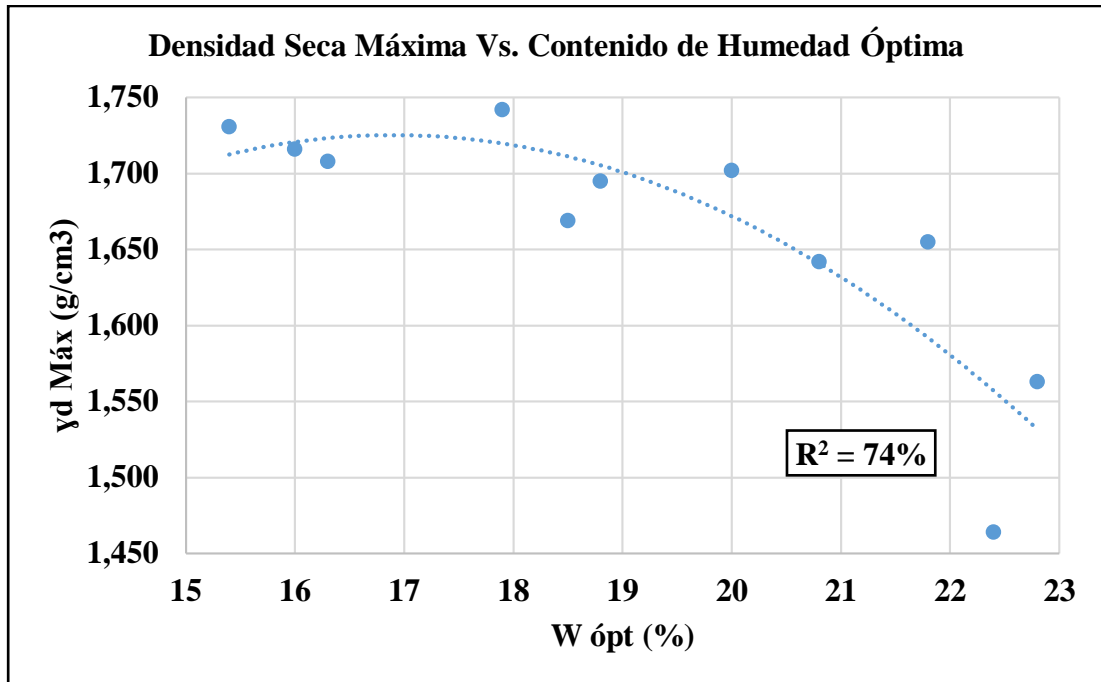


Figura 33 Correlación γ_d Máx vs. W ópt (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $\gamma_{d \max} = 0.0056 (W_{\text{ópt}}) + 0.1884 (W_{\text{ópt}}) + 0.1332$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 74\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre Densidad Seca Máxima vs. Contenido de humedad Óptimo (%) presenta un coeficiente de correlación muy bueno, ya que tiene un valor de $R^2=74\%$ en función a su ecuación polinómica de segundo orden. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de γ_d Máx, el valor del W ópt (%) debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

El uso de esta gráfica se limita para rangos de contenido de humedad óptimo de 15% a 23% y para densidad seca máxima de 1.45 a 1.75 gr/cm³. Estas propiedades del suelo son inversamente proporcionales entre sí, ya que la mayoría de datos relacionados indican que cuando se tiene mayor humedad, las muestras de suelo son menos densas perdiendo resistencia por la presencia de agua.

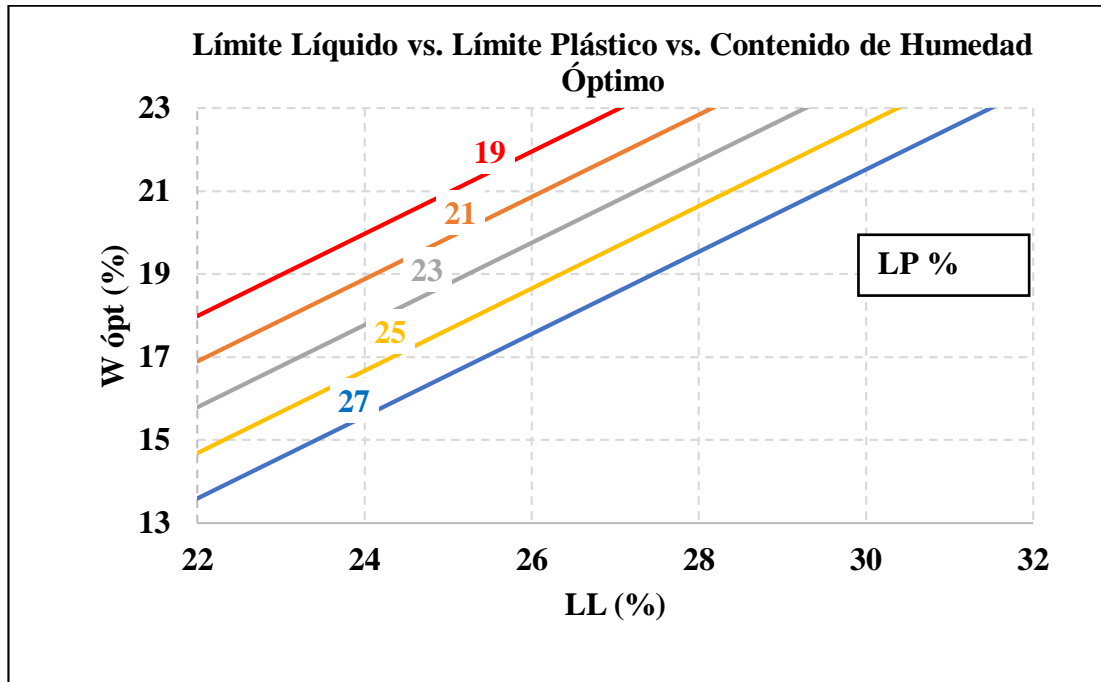


Figura 34 Correlación W ópt (%) vs. LL (%) vs. LP (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $W_{\text{ópt}} = 6.6274 + 0.9924 (\text{LL}) - 0.5511 (\text{LP})$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 60\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Contenido de Humedad Óptimo vs. Límite Líquido (%) vs. Límite Plástico (%) presenta un coeficiente de determinación regular, ya que tiene un valor de $R^2=60\%$ en función a su ecuación múltiple lineal. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las 2 muestras eliminadas. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LL% y LP% se conoce el valor de W ópt%.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos de cada propiedad. La correlación descrita indica la relación entre humedades, donde un suelo en cualquier estado plástico que presente una mayor humedad de límite líquido tendrá un mayor contenido de humedad óptimo. Por lo tanto la humedad óptima del suelo es directamente proporcional al límite líquido.

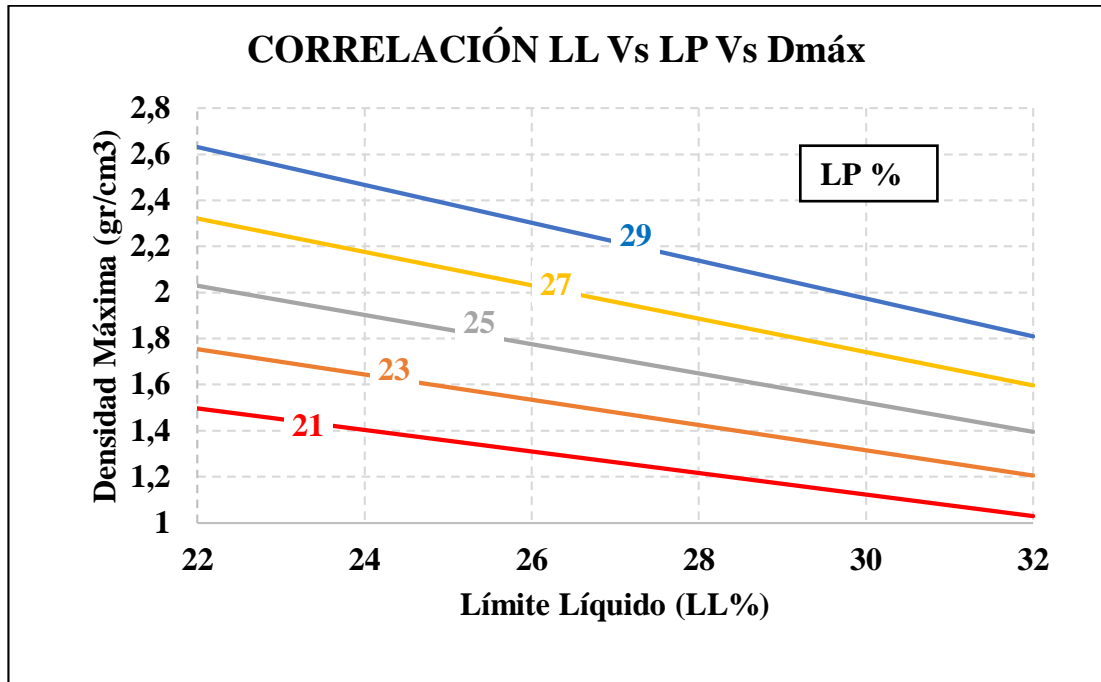


Figura 35 Correlación γ_d Máx vs. LL (%) vs. LP (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $\gamma_{d \max} = 0.1602 * LL^{-1.0008} * LP^{1.7499}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 70\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Contenido de Humedad Óptimo vs. Límite Líquido (%) vs. Límite Plástico (%) presenta un coeficiente de correlación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=70\%$ en función a su ecuación múltiple potencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras eliminadas, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las 2 muestras eliminadas. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LL% y LP% se conoce el valor de γ_d Máx %.

Mediante la gráfica se determina que la densidad seca máxima es proporcional a LP e inversamente proporcional a LL. Un suelo es más denso y compacto cuando es más plástico debido a que tiene menos humedad de límite líquido. Si se mantiene un valor constante de límite líquido (LL%), los suelos más densos serán más plásticos y cuando se mantenga un valor constante de límite plástico (LP%), los suelos con mayor límite líquido serán menos densos y compactos.

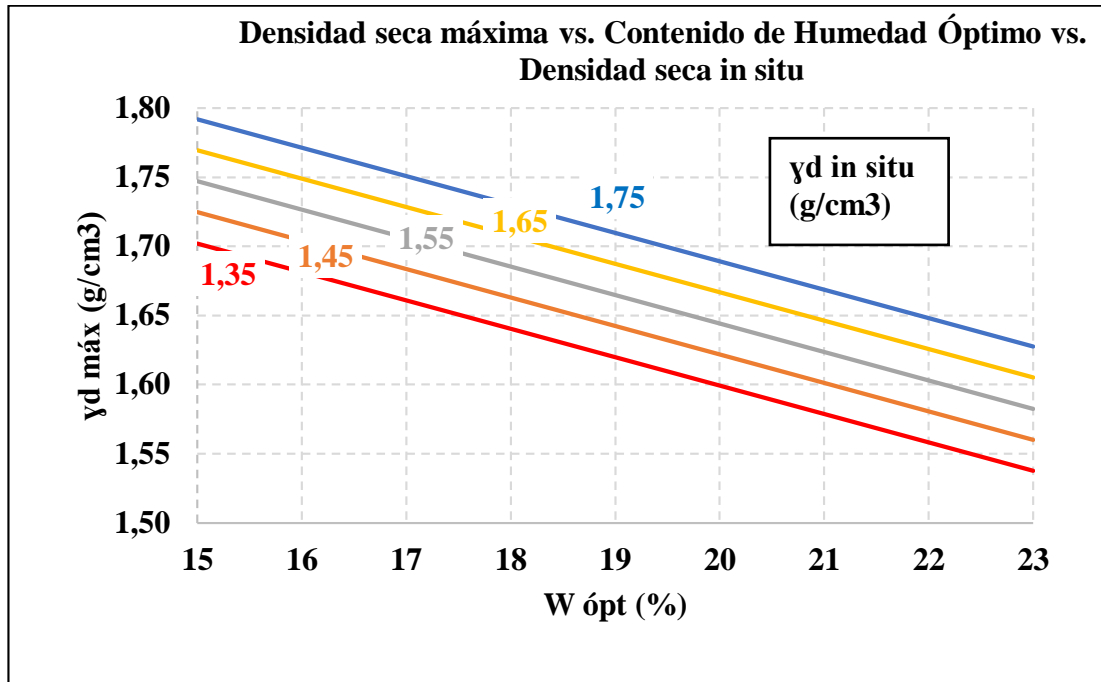


Figura 36 Correlación γ_d Máx vs. $W_{\text{ópt}}$ (%) vs. γ_d in situ

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $\gamma_{d \text{ máx}} = 1.7076 - 0.0206 (W_{\text{ópt}}) + 0.2248 (\gamma_{d \text{ in situ}})$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 68\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre la Densidad Seca Máxima vs. Contenido de Humedad Óptimo vs. Densidad Seca in situ presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=68\%$ en función a su ecuación múltiple lineal. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las 2 muestras eliminadas. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de $W_{\text{ópt}}\%$ y γ_d in situ se conoce el valor de γ_d Máx.

Se observa en la gráfica que la densidad seca máxima y densidad seca in situ de cada suelo es mayor cuando su contenido óptimo de humedad es menor. Por lo tanto γ_d Máx es inversamente al $W_{\text{ópt}}\%$. Esto quiere decir que al aumentar humedad se pierde resistencia y compactación en el suelo volviéndose menos denso y perdiendo peso en relación a su volumen. Las densidades secas in situ y máxima son directamente proporcionales, ya que a medida que la densidad seca in situ es mayor su densidad seca máxima de igual manera será mayor.

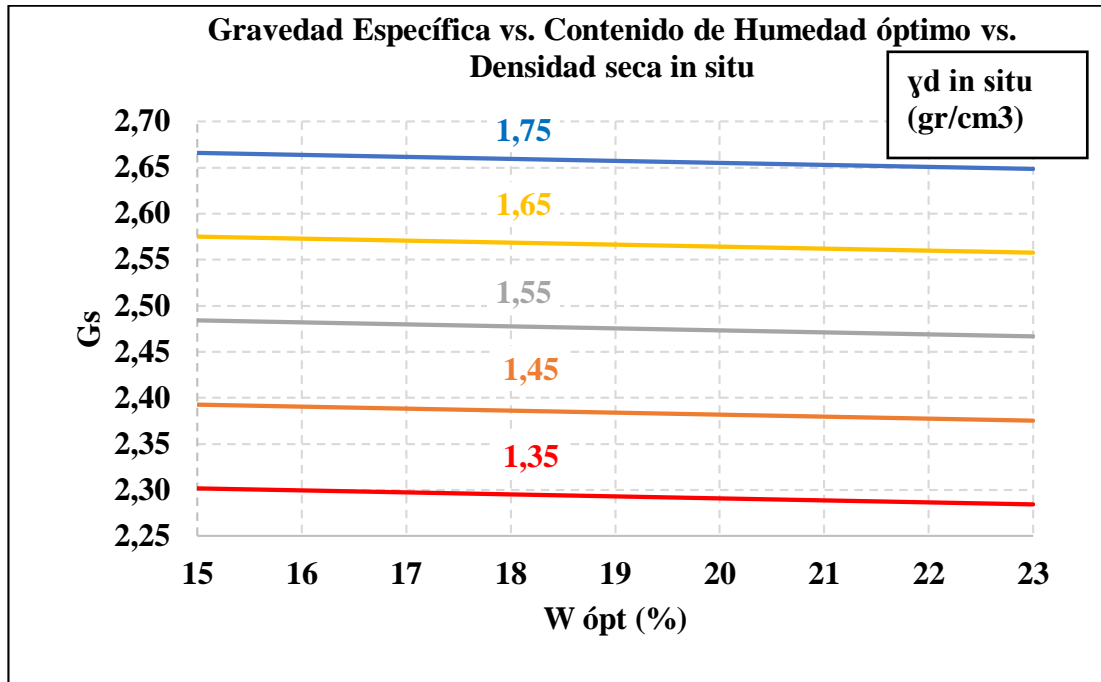


Figura 37 Correlación Gs vs. W ópt (%) vs. γd in situ

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $G_s = 1.1039 - (W_{\text{ópt}} * 0.0021) + (\gamma_{d \text{ in situ}} * 0.9113)$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 66\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Gravedad Específica vs. Contenido de Humedad Óptimo vs. Densidad seca in situ presenta un coeficiente de determinación muy bueno, ya que tiene un valor de $R^2=66\%$ en función a su ecuación múltiple lineal. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para 1 muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de $W_{\text{ópt}}\%$ y $\gamma_{d \text{ in situ}}$ se conoce el valor de G_s .

La gravedad específica de los sólidos y la densidad seca in situ son directamente proporcionales. A medida que la Gravedad Específica aumenta la densidad in situ también aumenta. Esta relación se mantiene en cualquier estado de contenido de humedad óptimo para este tipo de suelos, ya que el aumento de humedad varía significativamente en la densidad del suelo. Por lo tanto el contenido de humedad óptimo influye mejorando la correlación entre la densidad seca in situ y la gravedad específica.

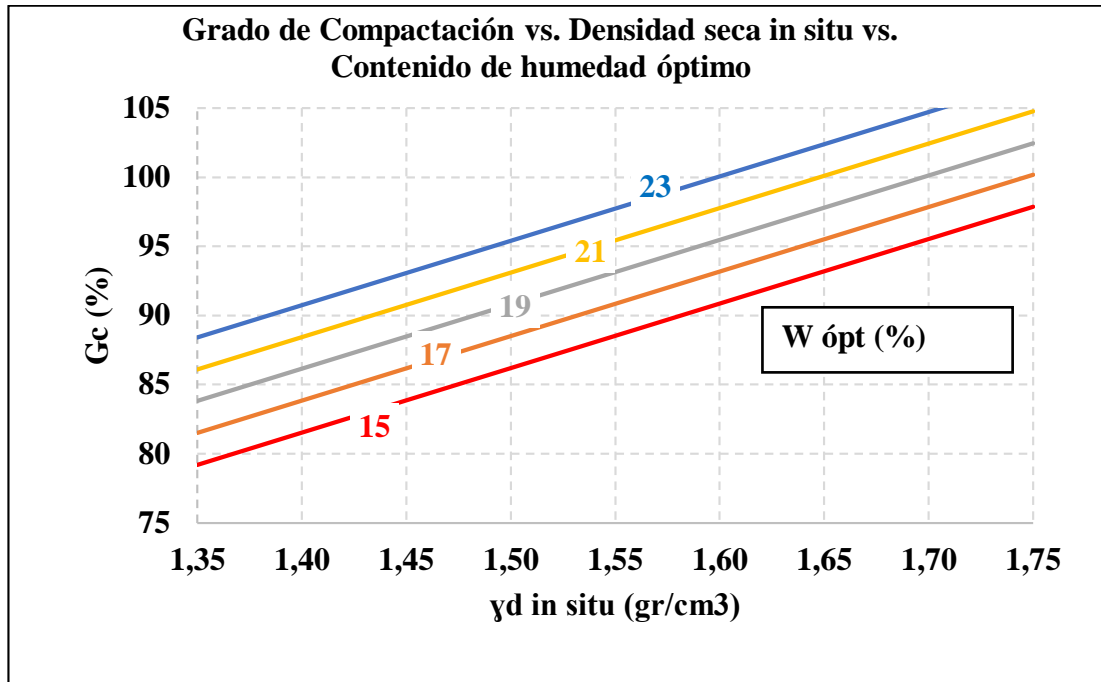


Figura 38 Correlación Gc (%) vs. γ_d in situ vs. W ópt (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $G_c = -1.0633 + 46.6929 (\gamma_{d \text{ in situ}}) + 1.149 (W_{\text{ópt}})$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 75\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Grado de Compactación vs. Densidad seca in situ vs. Contenido de Humedad Óptimo presenta un coeficiente de determinación muy bueno, ya que tiene un valor de $R^2=75\%$ en función a su ecuación múltiple lineal. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de $W_{\text{ópt}}\%$ y γ_d in situ se conoce el valor de $G_c\%$.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos. La humedad óptima y densidad seca in situ son directamente proporcionales al grado de compactación. Al aumentar humedad óptima, el suelo responde a una mejor compactación, por ende el suelo se vuelve más denso.

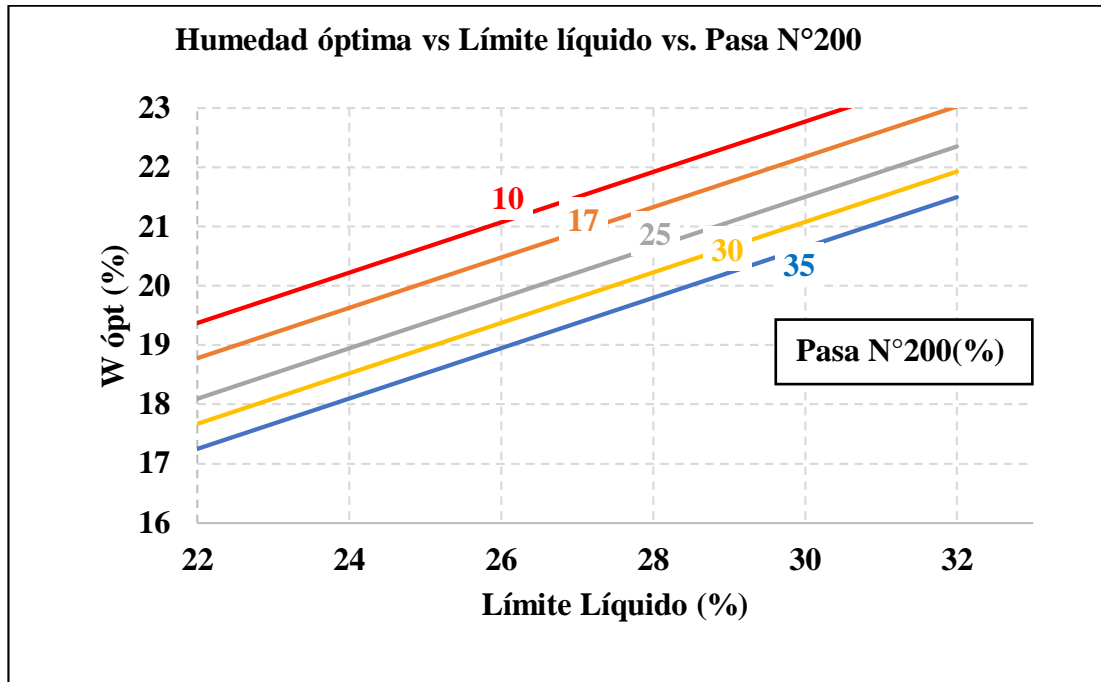


Figura 39 Correlación W ópt(%) vs. LL(%) vs. Pasa N°200

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $W_{\text{ópt}} = 10.7774 + 0.4274(LL) - 0.0839(\text{Pasa N}^{\circ}200)$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 55\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Contenido de Humedad Óptimo vs. Límite Líquido vs. Tamiz N°200 presenta un coeficiente de determinación regular, ya que tiene un valor de $R^2=55\%$ en función a su ecuación múltiple lineal. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las dos muestras eliminadas. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LL% y Tamiz N°200 se conoce el valor de Wópt%.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos, LL% tiene un rango de (22% a 32%) y el porcentaje de finos del suelo un rango de (10% a 35%).

Se observa en la gráfica que cuando se tiene límites líquidos bajos y porcentajes de finos altos en el suelo, el contenido de humedad óptimo es más bajo. Cuando se tiene un valor alto de límite líquido en el suelo y menos porcentaje de finos, el contenido de humedad es más alto.

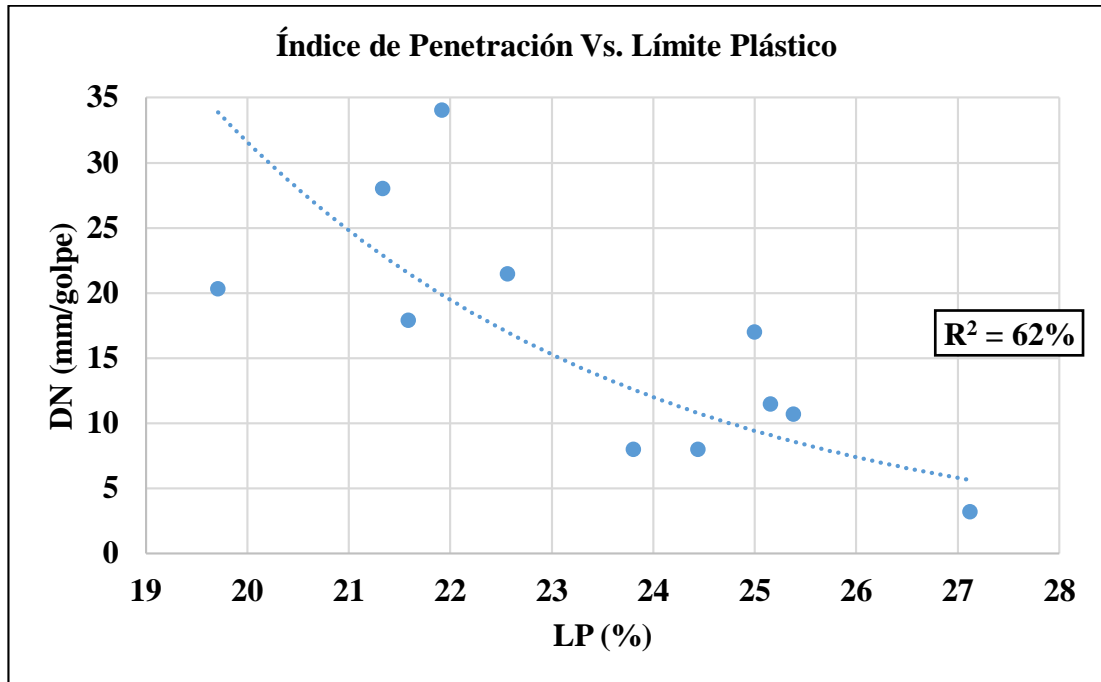


Figura 40 Correlación DN vs. LP (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $DN=3989.4e^{-0.242(LP)}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 62\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre Índice de penetración vs. Límite plástico presenta un coeficiente de correlación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=62\%$ en función a su ecuación exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de DN el valor del LP (%) debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos de cada variable. La propiedad límite plástico (LP%) del suelo es inversamente proporcional al índice de penetración realizado por el DCP, debido a que la mayoría de datos relacionados indican que cuando un suelo es más fácil de penetrar es menos resistente y menos compacto por lo que será un suelo menos plástico.

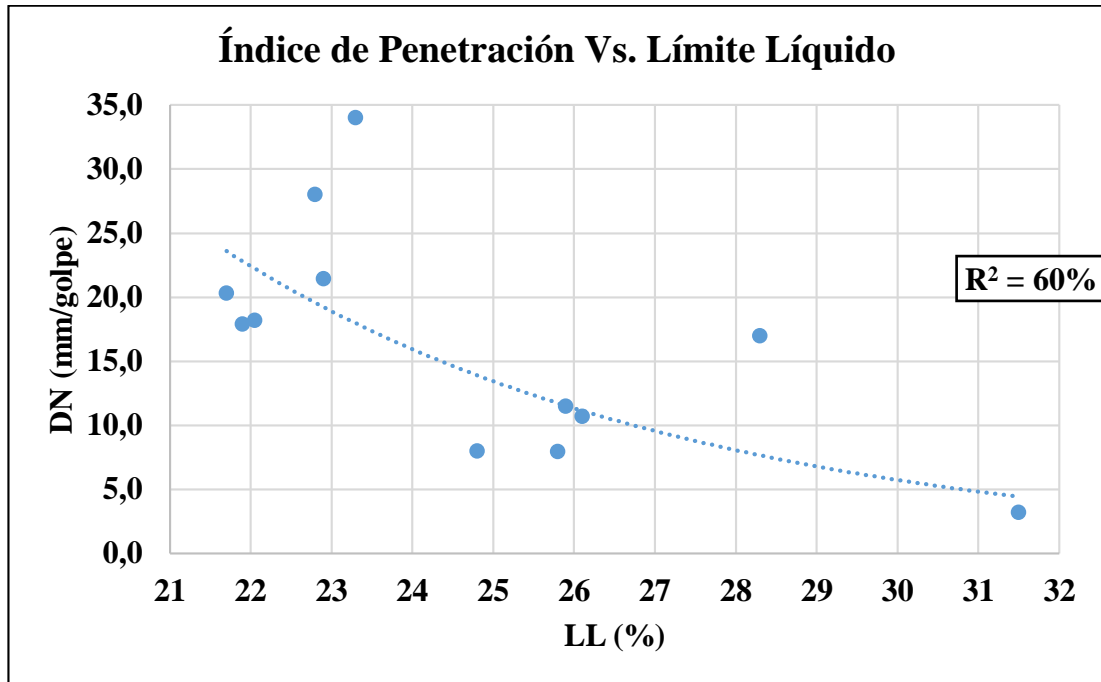


Figura 41 Correlación DN vs. LL (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $DN = 952.79e^{-0.17(LL)}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 60\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre Índice de penetración vs. Límite líquido presenta un coeficiente de correlación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=60\%$ en función a su ecuación exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de DN el valor del LL (%) debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

Los valores de DN son inversamente proporcionales a LL%. Se indica en la gráfica que los suelos que tienen menores valores de límite líquido tienen mayor índice de penetración (mm/golpe), esto quiere decir que mientras más humedad tiene un suelo este es más resistente y por ende tiene menos vacíos en su masa.

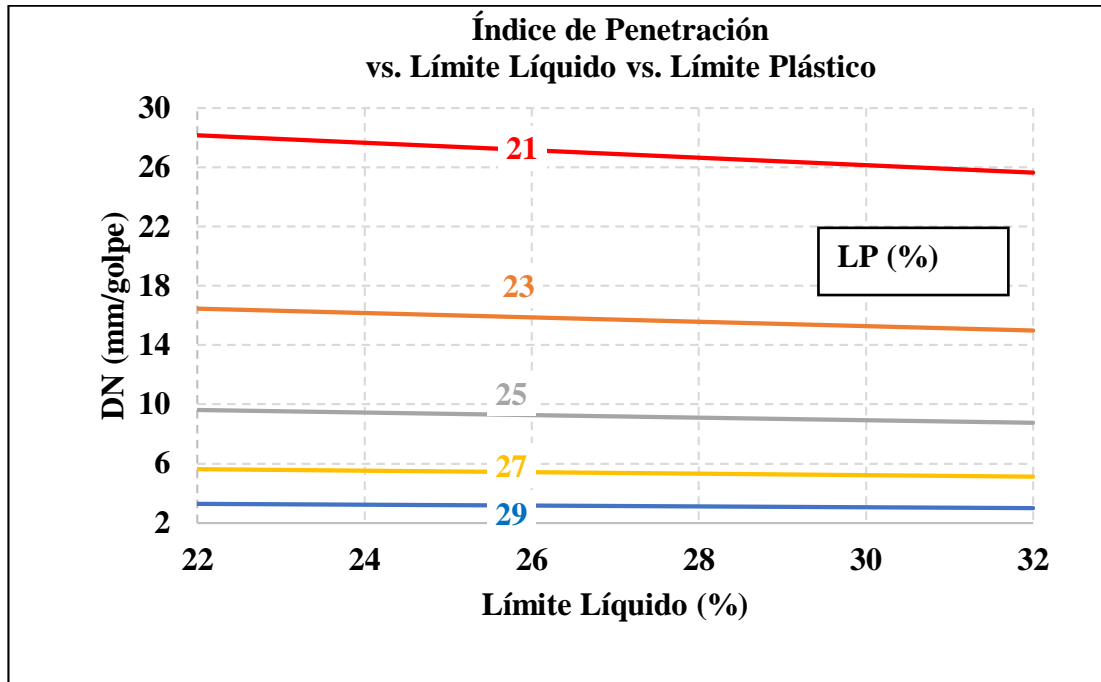


Figura 42 Correlación DN vs. LL (%) vs. LP (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $DN = 9845.44 * e^{-0.00937 (LL)} * e^{-0.2690 (LP)}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 68\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Índice de penetración vs. Límite Líquido vs. Límite plástico presenta un coeficiente de determinación muy bueno, ya que tiene un valor de $R^2=68\%$ en función a su ecuación múltiple exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LL% y LP% se conoce el valor de DN.

Los valores del índice de penetración y el límite plástico son inversamente proporcionales. A medida que el índice de penetración aumenta el límite plástico disminuye, es decir, mientras más plástico sea un suelo más resistente será. Esta relación se mantiene en cualquier estado de límite líquido para este tipo de suelos, ya que su aumento varía significativamente en el estado plástico del suelo. El límite líquido y límite plástico tienen una excelente correlación ayudando a aumentar el coeficiente de determinación entre las 3 variables.

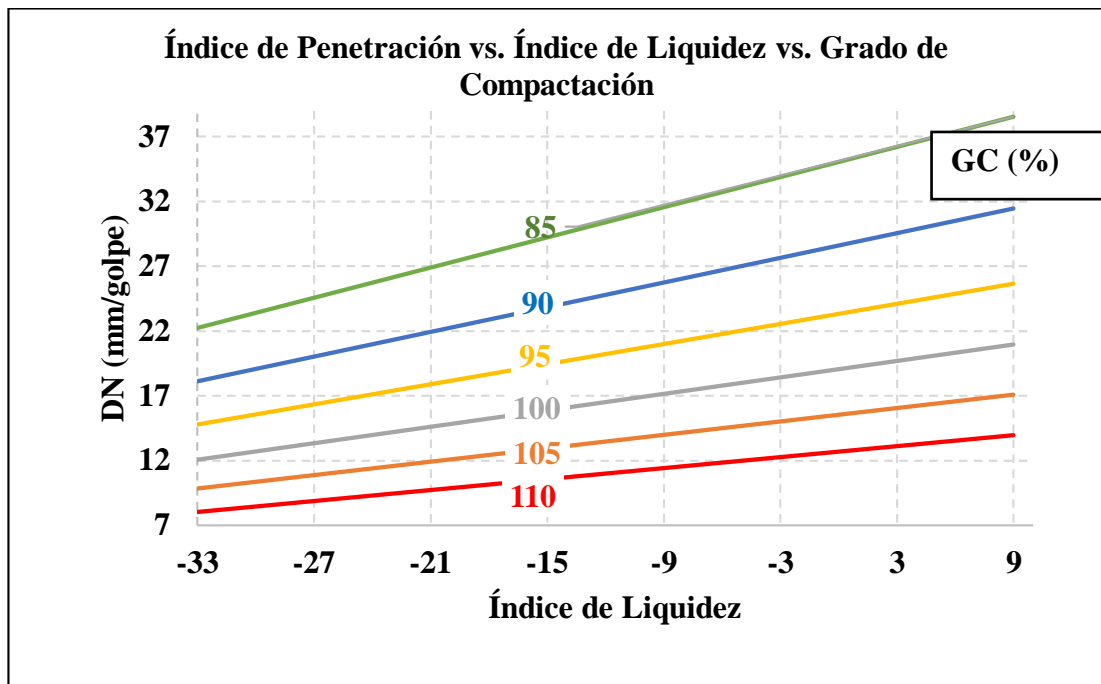


Figura 43 Correlación DN vs. IL (%) vs. GC (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $DN = 0.3908 * e^{(0.01311*IL)} * e^{(0.0406*GC)}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 54\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Índice de penetración vs. Índice de Liquidez vs. Grado de Compactación presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=54\%$ en función a su ecuación múltiple exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de IL% Y GC% se conoce el valor de DN.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos, IL tiene un rango de (-33% a 9%) y el GC un rango de (85% a 110%). Los valores del índice de penetración son directamente proporcionales al índice líquido e inversamente proporcional a GC. Se observa en la gráfica que cuando un suelo tiene un índice de liquidez menor, el suelo es más resistente y tiene mejor grado de compactación.

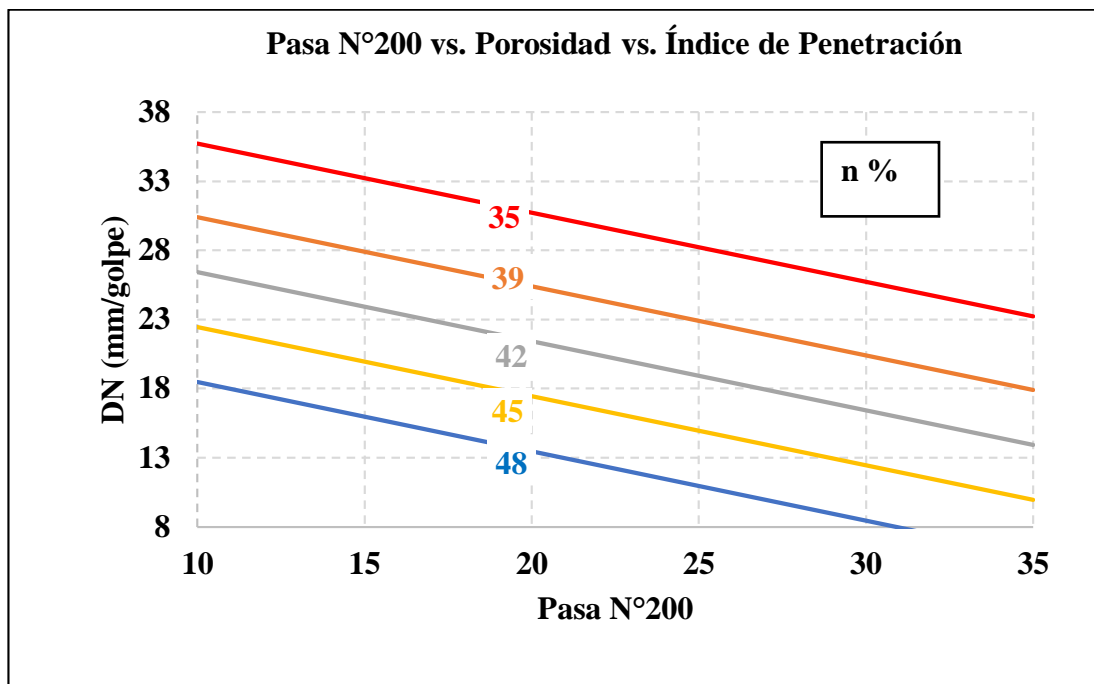


Figura 44 Correlación DN vs. Tamiz n°200 (%) vs. n (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $DN = 87.2395 - 0.5009 (\text{Pasa N}^\circ 200) - 1.3283(n)$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 51\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre el Índice de penetración vs. Porosidad vs. Porcentaje de finos que pasa tamiz 200 presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=54\%$ en función a su ecuación múltiple exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de porcentaje de finos% y n% se conoce el valor de DN.

Se observa en la gráfica que cuando el suelo tiene más porcentaje de finos, el valor del índice de penetración es menor y cuando el suelo tiene un porcentaje menor de finos y menor porosidad el valor de DN aumenta. Por lo tanto esto indica que un suelo es más resistente debido a la presencia de partículas finas.

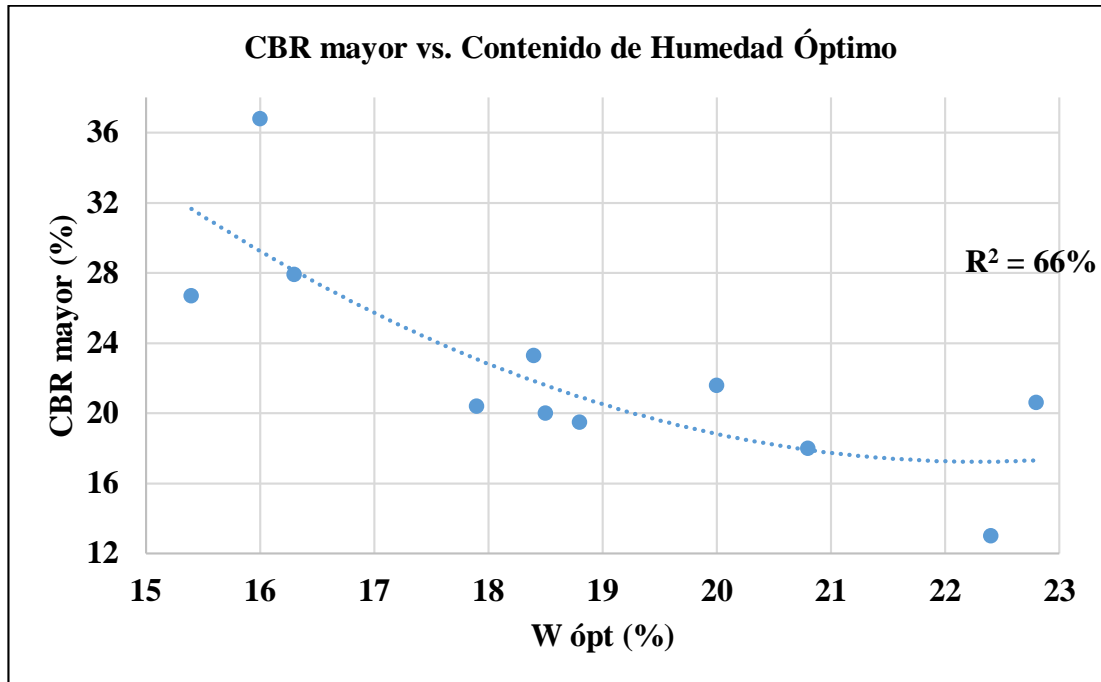


Figura 45 Correlación CBR mayor (%) vs. W ópt (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 0.3046 (W_{\text{ópt}})^2 - 13.573 (W_{\text{ópt}}) + 168.45$

Coefficiente de Determinación: $R^2 = 66\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR mayor para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Contenido de Humedad Óptimo presenta un coeficiente de correlación muy bueno, ya que tiene un valor de $r^2=66\%$ en función a su ecuación polinómica de segundo orden. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de CBR mayor el valor del $W_{\text{ópt}}$ (%) debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

Esta gráfica nace de los valores más altos entre CBR 0.1” y CBR 0.2”. En la gráfica se puede observar que los valores más bajos de $W_{\text{ópt}}$ (%) tienen valores de CBR más altos y viceversa. Siendo estas propiedades inversamente proporcionales entre sí, lo que explica que un suelo con mayor humedad controlada presenta resistencias más bajas para este tipo de suelos.

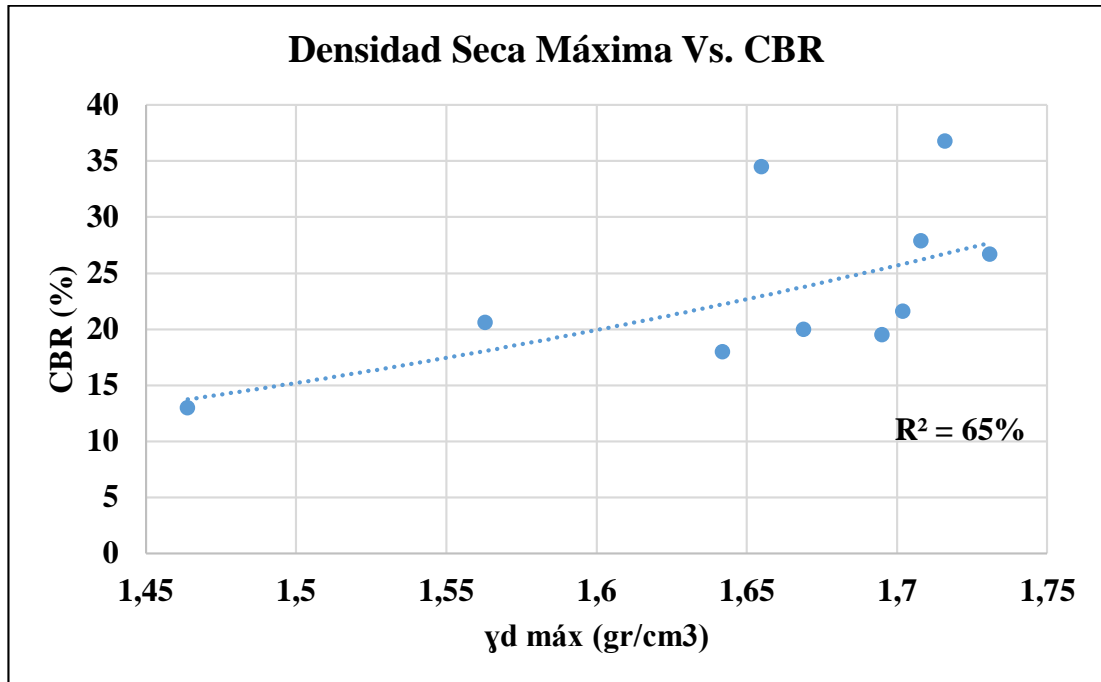


Figura 46 Correlación CBR (%) vs. γ_d máx

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 2.779 * \gamma_{d\text{ máx}}^{4.1922}$

Coefficiente de Determinación: $R^2 = 65\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima presenta un coeficiente de correlación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=65\%$ en función a su ecuación potencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las muestras eliminadas. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de CBR el valor de la γ_d máx debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

En la gráfica se puede observar que los valores más bajos de γ_d máx tienen valores de CBR más bajos y viceversa. Por lo tanto estas propiedades son directamente proporcionales entre sí, lo que explica que un suelo con mayor densidad tiende a ser más resistente.

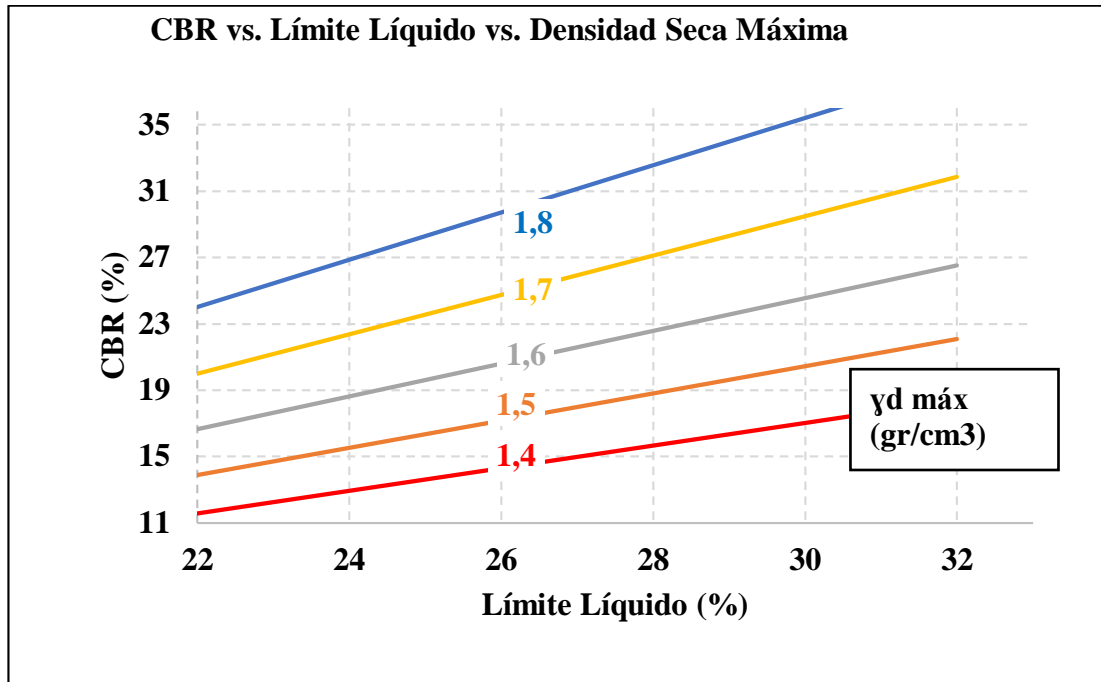


Figura 47 Correlación CBR (%) vs. LL (%) vs. γ_d máx

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 0.3203 * e^{(0.0465*LL)} * e^{(1.8303*\gamma_d \text{ máx})}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 63\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Límite Líquido vs. Densidad Seca Máxima presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=63\%$ en función a su ecuación múltiple exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las 2 muestras eliminadas. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LL% y γ_d máx se conoce el valor de CBR.

Se analiza que estas propiedades entre sí son directamente proporcionales, ya que cuando se tiene suelos con valores de CBR altos, sus límites líquidos y sus densidades también son altas. Esto quiere decir que un suelo se vuelve más resistente cuando es más denso y compacto con humedades controladas.

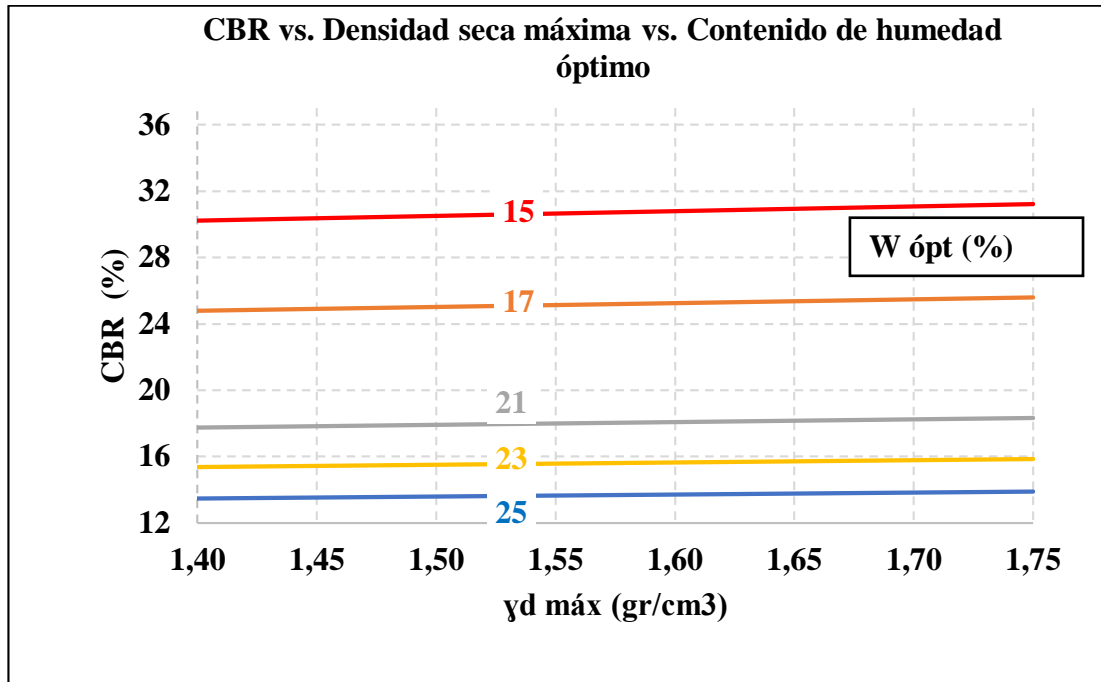


Figura 48 Correlación CBR (%) vs. γ_d máx vs. $W_{\text{ópt}}$ (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 2102.6453 * (\gamma_d \text{ máx} ^{0.1454}) * (W_{\text{ópt}} ^{-1.5847})$

Coefficiente de Correlación: $R = 64\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Densidad Seca Máxima vs. Contenido de Humedad óptimo presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=64\%$ en función a su ecuación múltiple potencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de $W_{\text{ópt}}\%$ y γ_d máx se conoce el valor de CBR.

En esta gráfica se aprecia valores mínimos y máximos del muestreo de datos de suelos, donde se indica que con una densidad seca máxima constante, mientras menos contenido de humedad tenga un suelo, mayor será el valor de CBR y cuando la humedad óptima del suelo sea constante, el valor de CBR y Densidad Máxima seca serán proporcionales, por ende si el suelos es más denso, será más resistente al corte teniendo valores de CBR más altos.

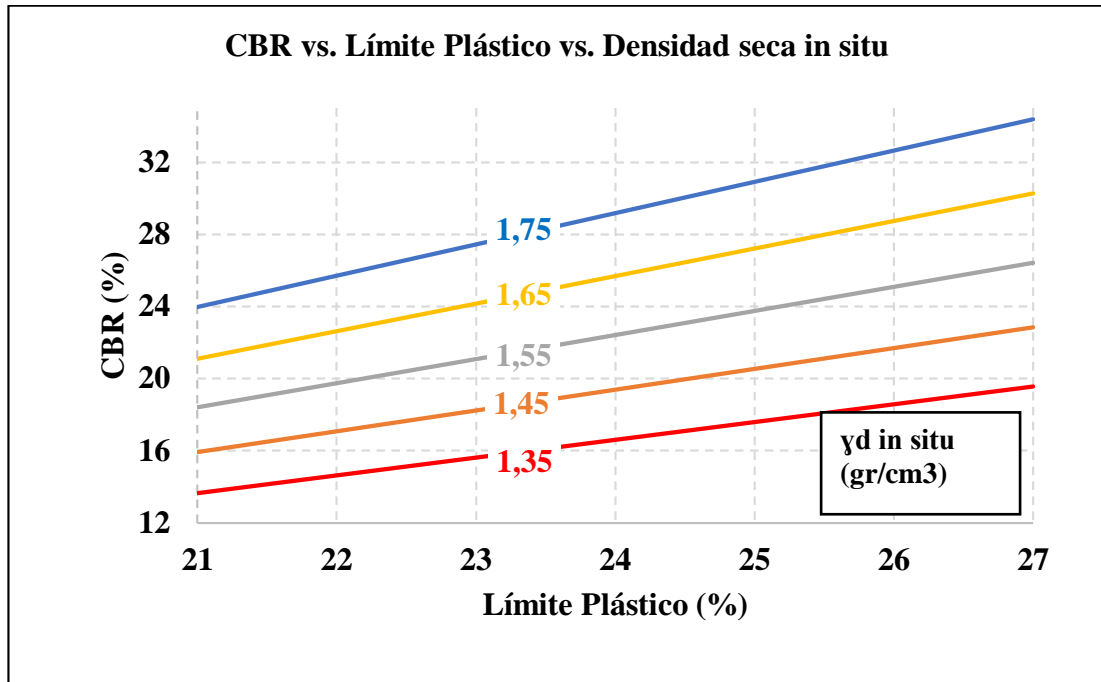


Figura 49 Correlación CBR (%) vs. LP (%) vs. γ_d in situ

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 0.0898 * (LP \wedge 1.4351) * (\gamma_d \text{ in situ} \wedge 2.1761)$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 53\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Densidad Seca in situ vs. Límite Plástico presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=53\%$ en función a su ecuación múltiple potencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LP% y γ_d in situ se conoce el valor de CBR.

Las propiedades de esta correlación son directamente proporcionales, debido a que mientras un suelo sea más denso en campo y más plástico se tendrá un valor de CBR mayor. De igual manera si un suelo es menos denso en campo, será menos plástico, por ende su resistencia al corte será menor para este tipo de suelos granulares.

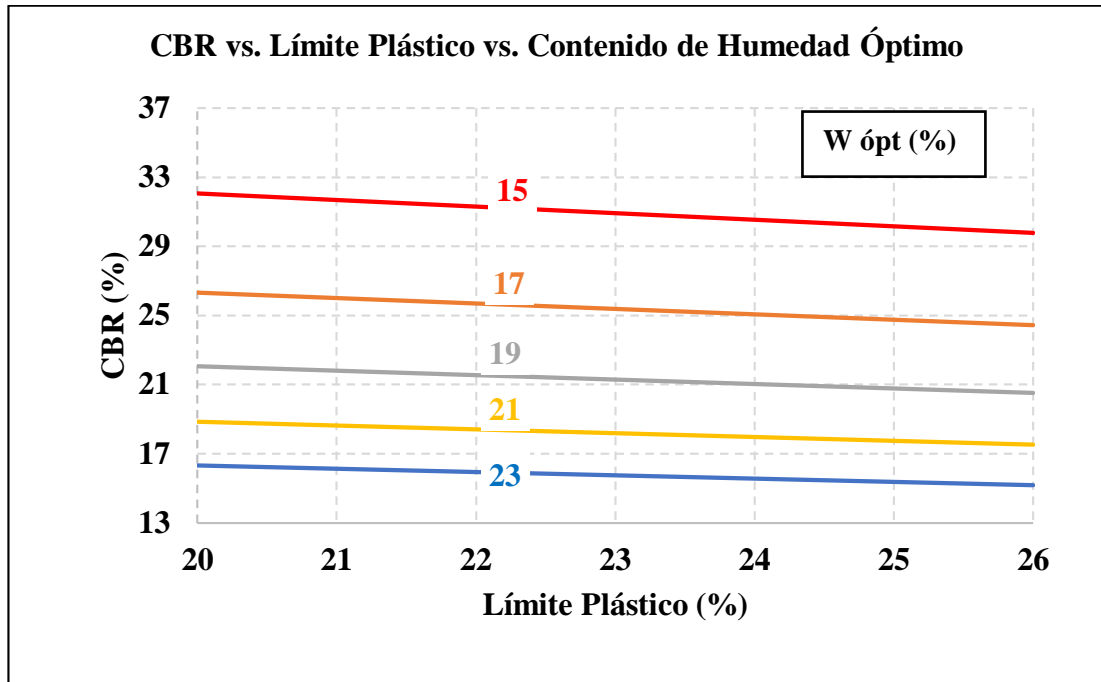


Figura 50 Correlación CBR (%) vs. LP (%) vs. W ópt (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 5348.5222 * (LP^{-0.2803}) * (W_{\text{ópt}}^{-1.5793})$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 64\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Contenido de Humedad óptimo vs. Límite Plástico presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=64\%$ en función a su ecuación múltiple potencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LP% y Wópt% se conoce el valor de CBR.

Las propiedades Contenido de humedad óptimo (Wópt%) y Límite Plástico (LP%) son inversamente proporcionales al CBR mayor, ya que cuando un suelo está en estado pero con porcentajes más altos de humedad, su valor de CBR será menor. Mientras el suelo sea menos plástico y húmedo, el valor de CBR será más alto. Esto se debe a que los suelos son más resistentes con menos cantidad de humedad.

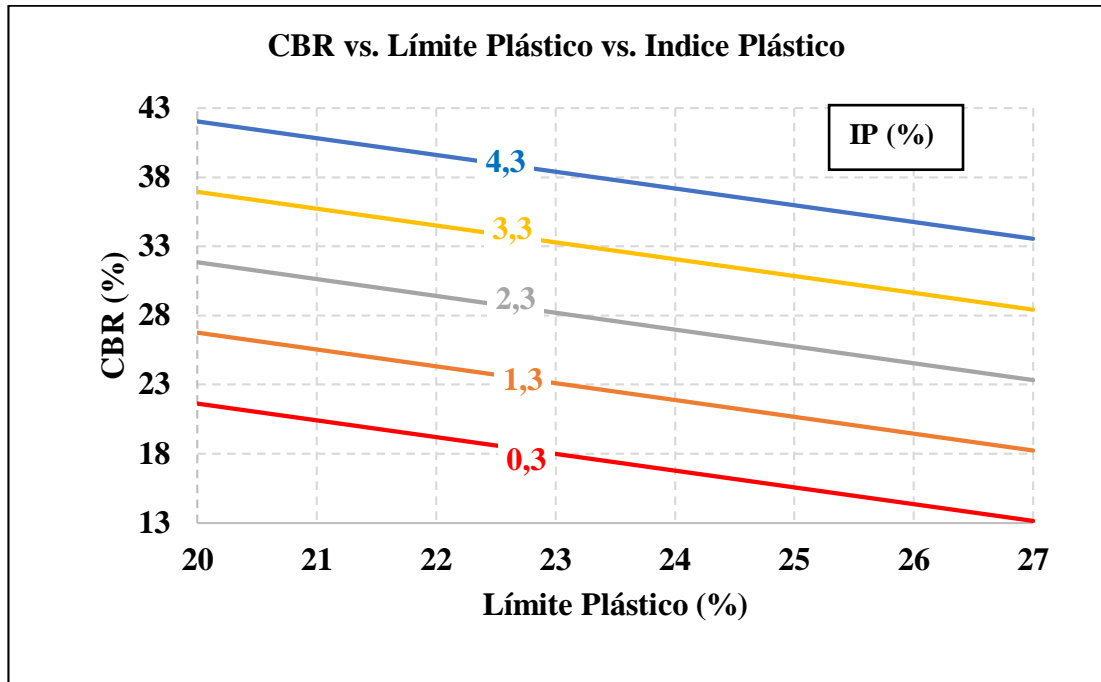


Figura 51 Correlación CBR (%) vs. LP (%) vs. IP (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Análisis e Ecuación: $CBR = 104.9749 - 65.2244 * \text{Log} (LP) + 5.0999 (IP)$

Coefficiente de Correlación: $R = 60\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Límite Plástico vs. Índice Plástico presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=60\%$ en función a su ecuación múltiple logarítmica. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las 2 muestras eliminadas. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LP% e IP% se conoce el valor de CBR.

El uso de esta gráfica se limita a rangos de los valores mínimos y máximos del muestreo de datos. Se observa en la gráfica que si se mantiene un valor constante de límite plástico (LP%), los suelos que tengan mayor índice de plasticidad tendrán un mayor valor de CBR y cuando se mantenga un valor constante de índice plástico (IP%), los suelos con menor límites plásticos tendrán un valor de CBR mayor.

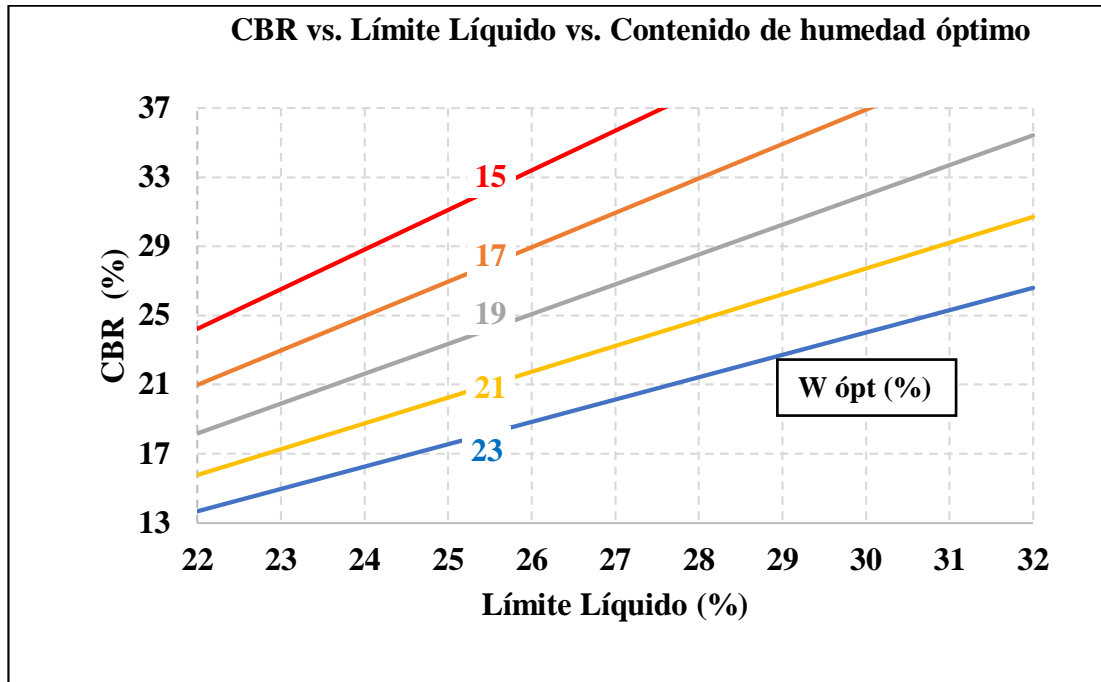


Figura 52 Correlación CBR (%) vs. LL (%) vs. W ópt (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 16.3305 * e^{(0.0667*LL)} * e^{(-0.07159*W_{\text{ópt}})}$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 64\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Límite Líquido vs. Contenido de Humedad óptimo presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=64\%$ en función a su ecuación múltiple exponencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de LL% y $W_{\text{ópt}}\%$ se conoce el valor de CBR.

Cuando el contenido de humedad óptimo del suelo es más alto, se puede ver en la gráfica que se tiene un suelo con un valor de CBR menor. Esto significa que cuando el suelo tiene mayor cantidad de humedad pierde resistencia, debido a que no se compacta bien existiendo vacíos entre sus partículas. Se concluye también que cuando se aumenta el límite líquido aumenta también el CBR.

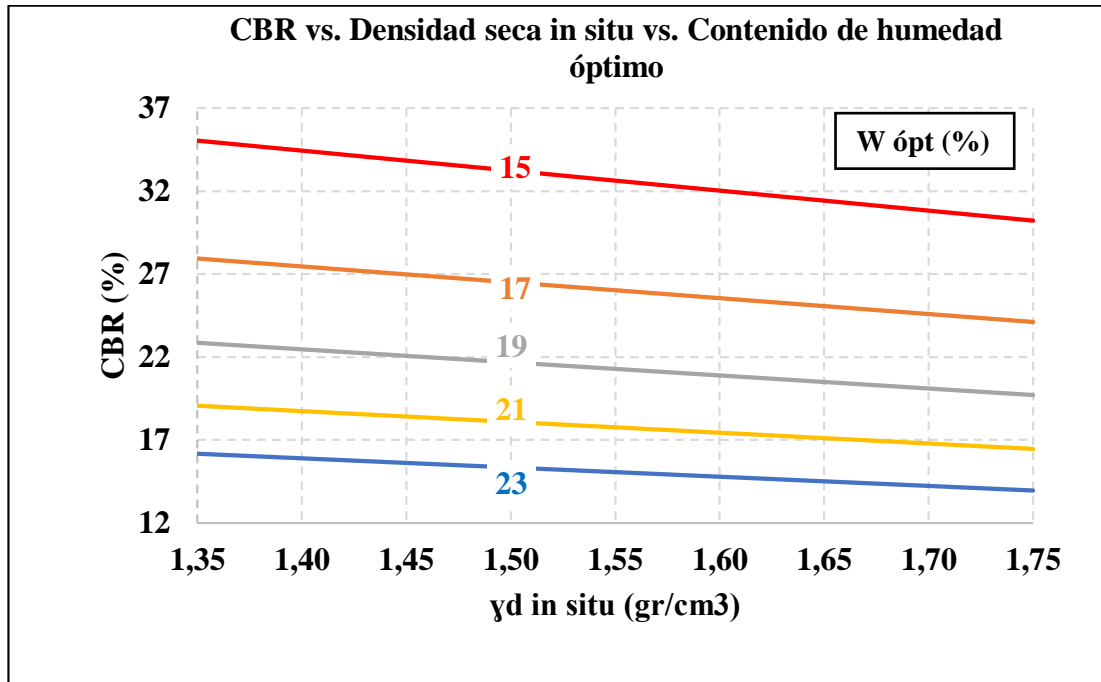


Figura 53 Correlación CBR (%) vs. γ_d in situ vs. $W_{\text{ópt}}$ (%)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 5577.6442 * (\gamma_d \text{ in situ}^{-0.5694}) * (W_{\text{ópt}}^{-1.8090})$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 65\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Densidad seca in situ vs. Contenido de Humedad óptimo presenta un coeficiente de determinación bueno, ya que tiene un valor de $R^2=65\%$ en función a su ecuación múltiple potencial. El muestreo de datos para la correlación fue de 11 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para la muestra eliminada. Se puede analizar que mientras se tenga los valores de γ_d in situ % y $W_{\text{ópt}}\%$ se conoce el valor de CBR.

En esta gráfica se aprecia valores mínimos y máximos del muestreo de datos de suelos, donde se indica que con una densidad seca de campo constante, el suelo será más resistente y compacto por sus humedades óptimas bajas. Se concluye que un suelo con su respectiva densidad seca en campo depende de su humedad óptima para obtener el valor de CBR, por lo tanto si la humedad óptima del suelo es menor, el valor de CBR será menor que el de un suelo con contenido de humedad óptimo más alto.

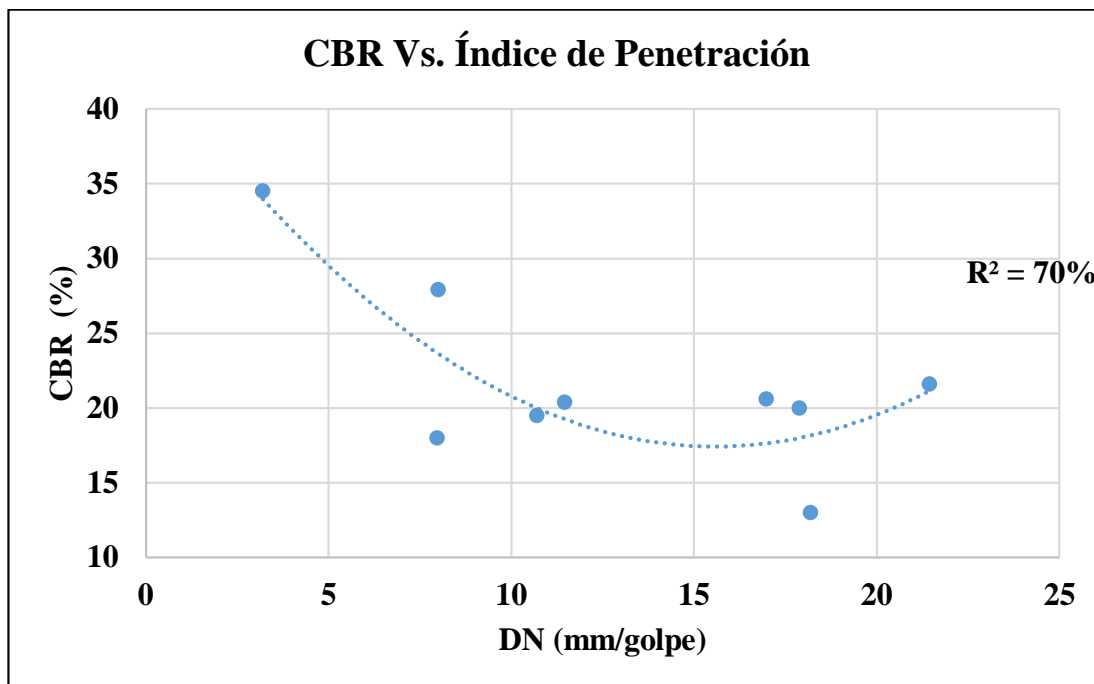


Figura 54 Correlación CBR (%) vs. DN

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Ecuación: $CBR = 0.1082 (DN)^2 - 3.3718 (DN) + 43.688$

Coefficiente de Correlación: $R^2 = 70\%$

Análisis e Interpretación:

La gráfica de correlación entre CBR para el 95% de la Densidad seca Máxima vs. Índice de penetración presenta un coeficiente de correlación buena, ya que tiene un valor de $R^2=70\%$ en función a su ecuación polinómica de segundo orden. El muestreo de datos para la correlación fue de 10 muestras, debido a que la recta de mínimos cuadrados no se ajusta para las muestras eliminadas. Se puede demostrar mediante la ecuación de correlación que para conocer un valor de CBR, el valor de DN (%) debe pertenecer al rango de datos de la gráfica, obteniendo así valores predichos por la ecuación.

En esta figura se muestra que la línea de tendencia pasa por los puntos más altos cuando el CBR tiene valores más altos y el de índice de penetración valores bajos, esto se debe a que el suelo es difícil penetrar para el DCP por su resistencia obteniendo valores bajos de DN y a la vez cuando se encuentra el contenido de humedad óptimo las densidades llegan a su punto máximo teniendo valores de CBR altos.

3.1.5. DISEÑO DEL PAVIMENTO

3.1.5.1. Primer Diseño de Pavimento

- Cálculo del TPDA

Tabla 35. Volumen de tráfico Hora Pico

Hora	Vehículos	Buses	Camiones			Total 15 minutos
			2 ejes	3 ejes	4 ejes	
7:00 - 7:15	9	1	2	0	0	12
7:15 - 7:30	8	1	3	1	0	13
7:35 - 7:40	8	1	4	1	0	14
7:45 - 8:00	10	1	5	2	0	18
Total	35	4	14	4	0	57
%	61,4	7,0	24,6	7,0	0	100

Fuente: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Cálculo de TPDA de cada tipo de vehículo en función de la trigésima hora y de factor de hora pico

$$TPDA = * \frac{\text{total de veh.} * FHP}{15\%}$$

$$TPDA (\text{livianos}) = \frac{35 * 1}{15\%}$$

$$TPDA (\text{livianos}) = 233. \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

Se realiza el mismo cálculo para el TPDA de buses y camiones.

$$TPDA=353\text{veh/día}$$

- Tránsito Futuro

Se analiza el diseño para una proyección de 20 años. Ver tabla

$$Tf = Ta * (1 + i)^n$$

Donde:

Tf: Tráfico futuro

Ta: Tránsito actual

i: Índice de crecimiento vehicular

n: Número de años de proyección (para 20 años)

$$Tf = 630veh/día$$

La categoría de la vía es colectora vecinal III

Tabla 36. Clasificación de Carreteras de acuerdo al tráfico proyectado

Función	Categoría de la Vía		TPDA
Corredor Arterial	R-I o R-II	Tipo	>8000
	I	Todos	3000-8000
	II	Todos	1000-3000
Colectora Vecinal	III	Todos	300-1000
	IV	5,5E 6 y 7	100-300
	V	4 y 4E	<100

Fuente: “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras” MTOP-001-F-2003

- **Ejes equivalentes acumulados según el período de diseño (W18)**

Para el diseño del pavimento es necesario determinar un período de análisis, para este caso se escogerá un período de 15 a 25 años para una carretera pavimentada de bajo volumen como se indica en la tabla N°12.

Tabla 12. Período de Análisis

Tipo de Carretera	Período de Análisis (años)
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo Volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO, Ing.

Gustavo Corredor.

La siguiente tabla muestra factores de daño que ocasionan cada tipo de vehículo, para este diseño se toma en cuenta factores de daño de vehículos livianos, buses y camiones de 2 ejes.

Tabla 37. Factor de Daño

ipo	Simple		Simple Doble		Tándem		Trídem		Factor de Daño
	tons	(P/6,6) ⁴	tons	(P/8,2) ⁴	tons	(P/15) ⁴	tons	(P/23) ⁴	
Liviano	3	0,04							0,04
Bus	4	0,13	8	0,91					1,04
C-2P	3	0,04							0,18
	4	0,13							
C-2G	7	1,27	11	3,24					4,50
C-3	7	1,27			20	3,16			4,43
C-4	7	1,27					24	1,19	2,45
C-5	7	1,27			20	6,32			7,59
C-6	7	1,27			20	3,16	24	1,19	5,61

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Factor de distribución por carril**

El diseño del pavimento se realizará para una vía que tiene un carril por dirección como se muestra en la tabla N° 14.

Tabla 14. Factor de distribución por Carril

Número de Carriles de cada Dirección	Porcentaje de Ejes Equivalentes de 8,2 ton (W18) en el carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Se calcula el número total de ejes equivalentes para el período de diseño seleccionado aplicando la siguiente ecuación:

$$W18total = 365 * TPDAfinal * FD$$

Donde:

W18: Número de ejes equivalentes acumulados (hasta el período de diseño)

TPDA final: Tránsito promedio diario anual (proyectado a 20 años)

Por lo tanto:

$$W18total = 365 * TPDAfinal(liviano) * FD + 365 * TPDAfinal(bus) * FD \\ + 365 * TPDAfinal(camiones)$$

$$W18total = (365 * 462 * 0.04) + (365 * 38 * 1.04) + (365 * 131 * 0.18)$$

$$W18total = 29937$$

A continuación se presenta una tabla de cálculo de los ejes equivalentes acumulados.

En la tabla de ejes equivalentes se muestra el valor para W18 carril de diseño de 259362 hasta el año 2040.

Tabla 38. Ejes Equivalentes Acumulados

AÑO	n	Índice de crecimiento (i%)			Transito promedio diario				Pesados						W18	W18	W18	W18
		Livianos	buses	camiones	Livianos	buses	camiones	TPDA Total	C2P	C2G	C3	C4	C5	C6	Parcial	Acumulado	Por sentido	Carril Diseño
2020	0	3,97	1,97	1,94	233,3333	27	93	353	93	33	0	0	0	0	19817	19817	9909	9909
2021	1	3,97	1,97	1,94	243	27	95	365	95	34	0	0	0	0	20278	40096	20048	20048
2022	2	3,97	1,97	1,94	252	28	97	377	97	35	0	0	0	0	20752	60847	30424	30424
2023	3	3,97	1,97	1,94	262	28	99	389	99	35	0	0	0	0	21237	82084	41042	41042
2024	4	3,57	1,78	1,74	273	29	101	402	101	36	0	0	0	0	21735	103820	51910	51910
2025	5	3,57	1,78	1,74	282	29	103	414	103	37	0	0	0	0	22196	126015	63008	63008
2026	6	3,57	1,78	1,74	292	30	104	427	104	37	0	0	0	0	22667	148682	74341	74341
2027	7	3,57	1,78	1,74	303	30	106	439	106	38	0	0	0	0	23149	171831	85916	85916
2028	8	3,57	1,78	1,74	314	31	108	453	108	39	0	0	0	0	23643	195474	97737	97737
2029	9	3,25	1,62	1,58	325	31	110	466	110	39	0	0	0	0	24149	219623	109811	109811
2030	10	3,25	1,62	1,58	335	32	112	479	112	40	0	0	0	0	24619	244242	122121	122121
2031	11	3,25	1,62	1,58	346	33	113	492	113	40	0	0	0	0	25101	269343	134671	134671
2032	12	3,25	1,62	1,58	358	33	115	506	115	41	0	0	0	0	25592	294935	147467	147467
2033	13	3,25	1,62	1,58	369	34	117	520	117	42	0	0	0	0	26095	321030	160515	160515
2034	14	3,25	1,62	1,58	381	34	119	534	119	42	0	0	0	0	26608	347638	173819	173819
2035	15	3,25	1,62	1,58	394	35	121	549	121	43	0	0	0	0	27133	374771	187385	187385
2036	16	3,25	1,62	1,58	406	35	123	564	123	44	0	0	0	0	27669	402440	201220	201220
2037	17	3,25	1,62	1,58	420	36	125	580	125	44	0	0	0	0	28218	430658	215329	215329
2038	18	3,25	1,62	1,58	433	36	127	596	127	45	0	0	0	0	28778	459436	229718	229718
2039	19	3,25	1,62	1,58	447	37	129	613	129	46	0	0	0	0	29351	488787	244393	244393
2040	20	3,25	1,62	1,58	462	38	131	630	131	47	0	0	0	0	29937	518724	259362	259362

Fuente: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Para el espesor de capas de este diseño se elige para la carpeta asfáltica un valor mínimo de 2.5in (6cm) y para la base granular un valor mínimo de 4in (10cm). Estos valores se escogieron de la tabla 18 del Capítulo I.

Tabla 18. Espesores mínimos según los ejes equivalentes (pulg.)

Tránsito W18	Concreto Asfáltico	Base
		Granular
Menos de 5000	1,0 o Tándem Superficial	4
50001 a 150000	2	4
150001 a 500000	2,5	4
500001 a 2000000	3	6
2000001 a 7000000	3,5	6
mayor a 7000000	4	6

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Confiabilidad “R”**

En el capítulo I se indica la tabla 15 donde muestra el nivel de confiabilidad para el diseño, donde se ve la probabilidad de que el diseño tenga un mejor desempeño o igual al calculado, esto depende del tipo de carretera.

Este diseño es para caminos vecinales de parroquias rurales, por ende se tomará un valor de R de 50% a 80%, se usará un 70% de Confiabilidad.

Tabla 15. Niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad, R (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85-99,9	80-99,9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Caminos vecinales o Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar normal Z_R**

La tabla 16 que se explica en el capítulo I, indica el valor de Z_R para cada valor de R (%), para este diseño se tomará un valor para de -0.524 por su confiabilidad de 70%

Tabla 16. Desviador normal estándar

Confiabilidad, R (%)	Desviador Normal Estándar, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar global S_o**

El diseño de este proyecto es para pavimentos flexibles, por lo que se toma valores de S_o desde 0.40 a 0.50. Se tomará un valor de $S_o = 0.45$.

- **Índice de Serviciabilidad “PSI”**

En el capítulo I en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica los valores de PSI. Por lo tanto para este diseño se tomará para PSI inicial un valor de 4.2 y para PSI final 2.0, ya que es una vía secundaria.

$$\Delta PSI = PSI \text{ Inicial} - PSI \text{ Final}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

La tabla 17 indicada en el capítulo I, indica que un índice de serviciabilidad de valor 2.2 tiene una calificación regular.

- **Módulo de Resiliencia “Mr” (Características de la subrasante)**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica las diversas correlaciones para obtener el módulo de resiliencia, para este diseño de pavimento se tomará la correlación para la ecuación de correlación $M_R = 3000 * CBR^{0.65}$, ya que el CBR calculado en el suelo de la vía Sta. Fe-Sta. Teresita es de 20%. La ecuación escrita considera usar CBR mayores 7.2%, pero menor o igual a 20% [23].

$$Mr (PSI) = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$Mr (PSI) = 3000 * 20^{0.65}$$

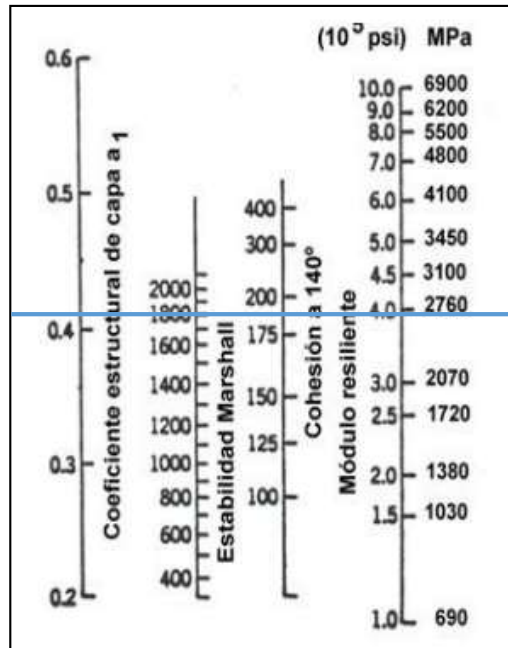
$$Mr (PSI) = 21028 \text{ psi}$$

- **Coefficientes de las capas del pavimento**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indican monogramas para determinar los coeficientes estructurales a1, a2 y a3. Se usará las figuras 13,14 y 17.

Coefficiente a1

Para el coeficiente a1 de carpeta asfáltica se trazó una línea en el monograma bajo el parámetro de una estabilidad Marshall mínima de 1800lb para tráfico pesado.



Estimación del a₁ para asfalto

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

La siguiente tabla de valores de a1 se relaciona con valores de módulos elásticos, debido a que la línea que se trazó a las 1800 lb está entre 0.4 y 0.425 se procederá a interpolar.

Tabla 39. Valores de a1

Módulos Elásticos		Valores a1
PSI	Mpa	
125000	875	0,22
150000	1050	0,25
175000	1225	0,28
200000	1400	0,295
225000	1575	0,32
250000	1750	0,33
275000	1925	0,35
300000	2100	0,36

325000	2275	0,375
350000	2450	0,85
375000	2625	0,405
400000	2800	0,42
425000	2975	0,435
450000	3150	0,44

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Según el monograma de carpeta asfáltica y la tabla anterior, los valores están comprendidos entre 375000 y 400000; por tal razón se tiene la siguiente operación para el valor de a_1 .

$$\text{Módulo Elástico: } 400000 - 375000 = 25000$$

$$\text{Valores de } a_1: 0,405 - 0,420 = 0,015$$

Entonces:

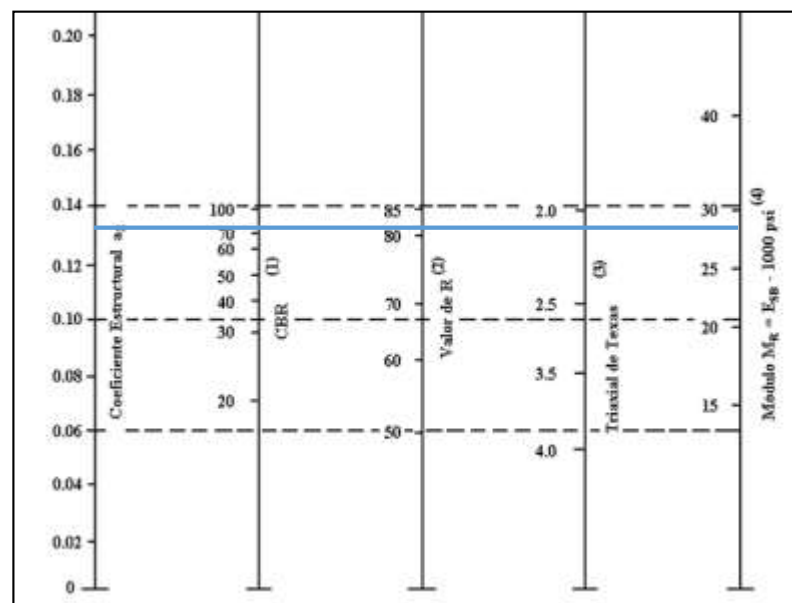
$$x = (5000 * 0,015) / 25000$$

$$x = 0,003$$

$$a_1 = 0,42 - 0,003 \quad a_1 = 0,417$$

Coefficiente a_2

Se asume un valor de CBR para base granular de 80% [20, 18].



Estimación de a_2 para bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a_2 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a_2 será 0.133 para el valor de CBR de 80%.

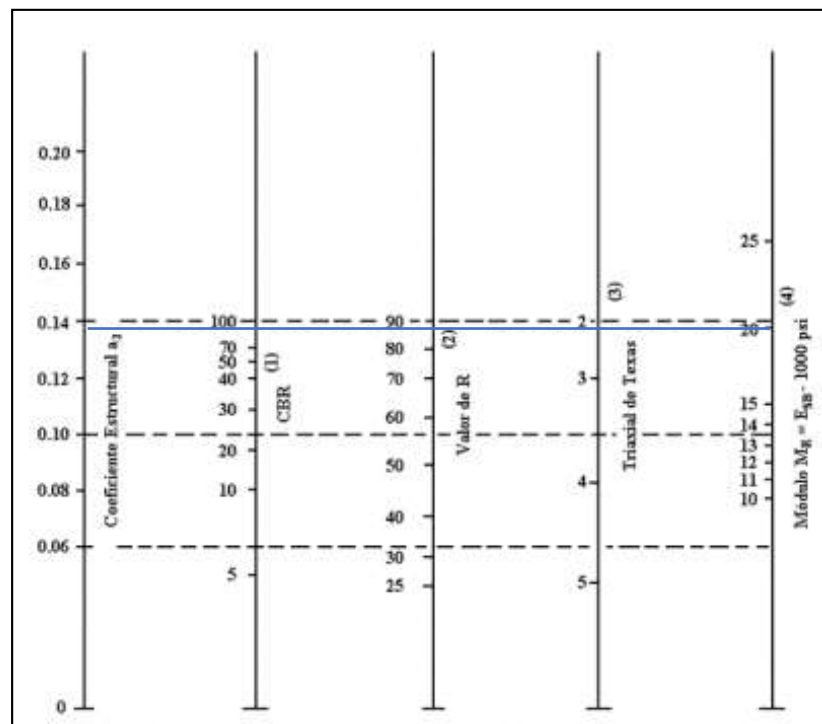
Tabla 40. Valores de a_2

Base de Agregados	
CBR	a_2
50	0,115
55	0,12
60	0,125
70	0,13
80	0,133
90	0,137
100	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Coefficiente a_3

Para el valor del coeficiente a_3 , se observa el monograma de sub-bases granulares, para identificar el valor de a_3 se toma un $CBR \geq 40\%$ [20].



Estimación de a_3 para Sub-bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a_3 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a_3 será 0.12 para el valor de CBR de 40%. Según el ábaco para un coeficiente de 0.12.

Tabla 41. Valores de a_3

Sub-Base Granular	
CBR	a_3
10	0,08
15	0,09
20	0,093
25	0,102
30	0,108
35	0,115
40	0,12
45	0,125
50	0,128
55	0,13
60	0,135
65	0,138
70	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficientes de drenaje m_2 , m_3**

En la tabla N° 19 y N°20 se indican la calidad de drenaje en función del tiempo que se quiera eliminar el agua del pavimento. En la tabla 19 se escogerá una calidad de drenaje regular ya que al ser carreteras de poco tránsito el agua será evacuada en 1 semana.

Tabla 19. Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
EXCELENTE	2 horas
BUENO	1 día
REGULAR	1 semana

POBRE	1 mes
MUY MALO	el agua no evacua

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Al tener una calidad regular de drenaje, en la tabla N°20 se indica que del 5 al 25% de tiempo de eliminación de agua el pavimento estará a un nivel cercano a la saturación. Por este motivo m2 y m3 tendrán un valor de 0.8.

Tabla 20. Corrección de coeficientes estructurales con respecto al drenaje y a la humedad a la que está expuesta el pavimento

Calidad de Drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura de pavimento está compuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35-1,30	1,30 - 1,20	1,2
Buena	1,35 - 1,25	1,25-1,15	1,15 - 1,00	1
Regular	1,25 - 1,15	1,15-1,05	1,00 - 0,80	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05-0,80	0,80 - 0,60	0,6
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95-0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Cálculo del Número Estructural “SN”**

Tabla 42. Datos Diseño de pavimento

Datos del diseño de pavimento	
Tipo de pavimento:	Flexible
TPDA para el año 2040:	630
Período de Diseño:	20 años
Ejes Equivalentes:	259362
Serviciabilidad Inicial	4,2
Serviciabilidad Final	2
CBR de la sub-rasante	20%
Confiabilidad	70%
Desviación Estándar	-0.524
Desviación Global	0.45
Módulo de Resiliencia Sub-rasante	21028
Coficiente a1	0,417
Coficiente a2	0,133
Coficiente a3	0,12
Coficiente m2 y m3	0,8

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Para obtener este valor se realizará en el software de AASHTO 93 que calcula SN.

Programa AASHTO-93 con los datos ingresados del diseño de pavimento, dando como resultado SN=1.62

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	70 % Zr=-0.524	So = 0.45
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial = 4.2	PSI final = 2	Mr = 21028 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coeficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coeficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 259362	SN =	1.62
<input type="radio"/> Calcular W18			

Figura 55 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93

Fuente: “Asociación americana de vías estatales y transporte oficial” ASSTHO (1993)

Al conocer el valor de número estructural, se procede a calcular los espesores de las capas del pavimento (capa asfáltica, base y subbase), por lo que con la ayuda de una hoja programada en Excel para diseño de pavimentos flexibles Método AASHTO 1993 se obtiene dichos espesores.

Al obtener los resultados de espesores como se observa en la tabla N°43, se cumple la condición debido a que el número estructural propuesto es mayor al requerido; es decir $SN_{requerido}=1.62 < SN_{propuesto}=1.81$. Como resultado del diseño del pavimento flexible se tiene un espesor total de 30cm, los siguientes espesores por capa son:

- Carpeta asfáltica = 5cm (2in)
- Base granular = 10cm (4in)
- Sub base granular = 15cm (6in)

Tabla 43. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: Primer Diseño Estructural de Pavimento Flexible	TRAMO	: Vía Sante Fé-Sta Teresita
SECCION	: km 0+0,00 a km 2+0,00	FECHA	: 5/12/2019
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			2760,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			207,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			97,00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			259.362
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			70%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,524
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			21,03
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (p)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,417
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			0,800
Subbase (m ₃)			0,800
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1,61	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		0,48	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,31	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0,83	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	2,9 cm	5,0 cm	0,82
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7,3 cm	10,0 cm	0,42
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	22,0 cm	15,0 cm	0,57
ESPESOR TOTAL (cm)		30,0 cm	1,81
DISEÑADO POR : Cristhian Bonilla			<i>fm</i>

Autor: Ing. Fricson Moreira

3.1.5.2. Segundo Diseño de Pavimento

- **TPDA Impuesto**

TPDA=3000veh/día

La categoría de la vía es corredor arterial II

Tabla 37. Clasificación de Carreteras de acuerdo al tráfico proyectado

Función	Categoría de la Vía		TPDA
Corredor Arterial	R-I o R-II	Tipo	>8000
	I	Todos	3000-8000
	II	Todos	1000-3000
Colectora Vecinal	III	Todos	300-1000
	IV	5,5E 6 y 7	100-300
	V	4 y 4E	<100

Fuente: “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras” MTOP-001-F-2003

- **Ejes equivalentes acumulados según el período de diseño (W18)**

Para este caso se escogerá un período de 35 años para una carretera pavimentada de bajo volumen como se indica en la tabla N°12.

Tabla 12. Período de Análisis

Tipo de Carretera	Período de Análisis (años)
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo Volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO, Ing. Gustavo Corredor.

- **Factor de distribución por carril**

El diseño del pavimento se realizará para una vía que tiene un carril por dirección como se muestra en la tabla N° 14.

Tabla 14. Factor de distribución por Carril

Número de Carriles de cada Dirección	Porcentaje de Ejes Equivalentes de 8,2 ton (W18) en el carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Se calcula el número total de ejes equivalentes para el período de diseño seleccionado aplicando la siguiente ecuación:

$$W18total = 365 * TPDAfinal * FD$$

Para este caso de diseño, se asumirá un valor de W18 carril de diseño.

$$W18total = 2000000$$

El valor de ejes equivalentes hasta el año 2055 será de 2000000.

Para el espesor mínimo de las capas de este diseño se elige para la carpeta asfáltica un valor de 3in (7.62cm) y para la base granular un valor de 6in (15.24cm). Estos valores se escogieron de la tabla 18 del Capítulo I.

Tabla 18. Espesores mínimos según los ejes equivalentes (pulg.)

Tránsito W18	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 5000	1,0 o Tándem Superficial	4
50001 a 150000	2	4
150001 a 500000	2,5	4
500001 a 2000000	3	6
2000001 a 7000000	3,5	6
mayor a 7000000	4	6

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Confiabilidad “R”**

En el capítulo I se indica la tabla 15 donde muestra el nivel de confiabilidad para el diseño, donde se ve la probabilidad de que el diseño tenga un mejor desempeño o igual al calculado, esto depende del tipo de carretera.

Este diseño es para caminos vecinales de parroquias rurales, por ende se tomará un valor de R de 50% a 80%, se usará un 70% de Confiabilidad.

Tabla 15. Niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad, R (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85-99,9	80-99,9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Caminos vecinales o Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar normal Z_r**

La tabla 16 que se explica en el capítulo I, indica el valor de Z_r para cada valor de R (%), para este diseño se tomará un valor para de -0.524 por su confiabilidad de 70%

Tabla 16. Desviador normal estándar

Confiabilidad, R (%)	Desviador Normal Estándar, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340

92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar global S_o**

El diseño de este proyecto es para pavimentos flexibles, por lo que se toma valores de S_o desde 0.40 a 0.50. Se tomará un valor de $S_o = 0.45$.

- **Índice de Serviciabilidad “PSI”**

En el capítulo I en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica los valores de PSI. Por lo tanto para este diseño se tomará para PSI inicial un valor de 4.2 y para PSI final 2.0, ya que es una vía secundaria.

$$\Delta PSI = PSI \text{ Inicial} - PSI \text{ Final}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

La tabla 17 indicada en el capítulo I indica que un índice de serviciabilidad de valor 2.2 tiene una calificación regular.

- **Módulo de Resiliencia “ M_r ” (Características de la subrasante)**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica las diversas correlaciones para obtener el módulo de resiliencia, para este diseño de pavimento se tomará la correlación para la ecuación de correlación $M_R = 3000 * CBR^{0.65}$, ya que el CBR calculado en el suelo de la vía Sta. Fe-

Sta. Teresita es de 20%. La ecuación escrita considera usar CBR mayores 7.2%, pero menor o igual a 20% [23].

$$Mr (PSI) = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$Mr (PSI) = 3000 * 20^{0.65}$$

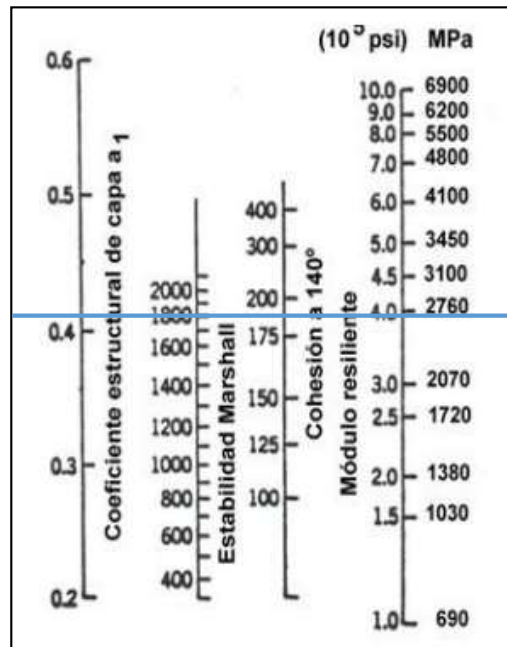
$$Mr (PSI) = 21028 \text{ psi}$$

- **Coefficientes de las capas del pavimento**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indican monogramas para determinar los coeficientes estructurales a_1 , a_2 y a_3 . Se usará las figuras 13,14 y 17.

Coefficiente a_1

Para el coeficiente a_1 de carpeta asfáltica se trazó una línea en el monograma bajo el parámetro de una estabilidad Marshall mínima de 1800lb para tráfico pesado.



Estimación del a_1 para asfalto

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

La siguiente tabla de valores de a_1 se relaciona con valores de módulos elásticos, debido a que la línea que se trazó a las 1800 lb está entre 0.4 y 0.425 se procederá a interpolar.

Tabla 40. Valores de a1

Módulos Elásticos		Valores
PSI	Mpa	a1
125000	875	0,22
150000	1050	0,25
175000	1225	0,28
200000	1400	0,295
225000	1575	0,32
250000	1750	0,33
275000	1925	0,35
300000	2100	0,36
325000	2275	0,375
350000	2450	0,85
375000	2625	0,405
400000	2800	0,42
425000	2975	0,435
450000	3150	0,44

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Según el monograma de carpeta asfáltica y la tabla anterior, los valores están comprendidos entre 375000 y 400000; por tal razón se tiene la siguiente operación para el valor de a1.

$$\text{Módulo Elástico: } 400000 - 375000 = 25000$$

$$\text{Valores de a1: } 0,405 - 0,420 = 0,015$$

Entonces:

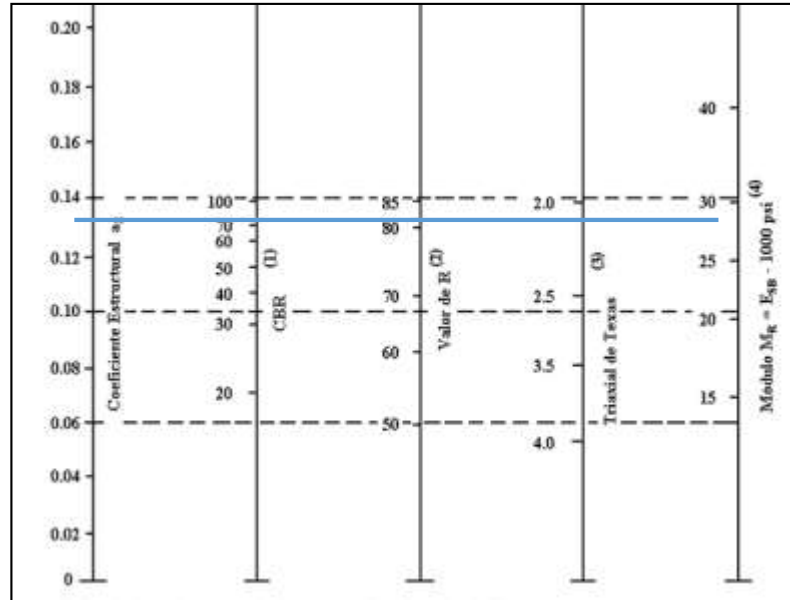
$$x = (5000 * 0,015) / 25000$$

$$x = 0,003$$

$$a1 = 0,42 - 0,003 \quad a1 = 0,417$$

Coefficiente a2

Se asume un valor de CBR para base granular de 80% [20, 18].



Estimación de a_2 para bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a_2 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a_2 será 0.133 para el valor de CBR de 80%.

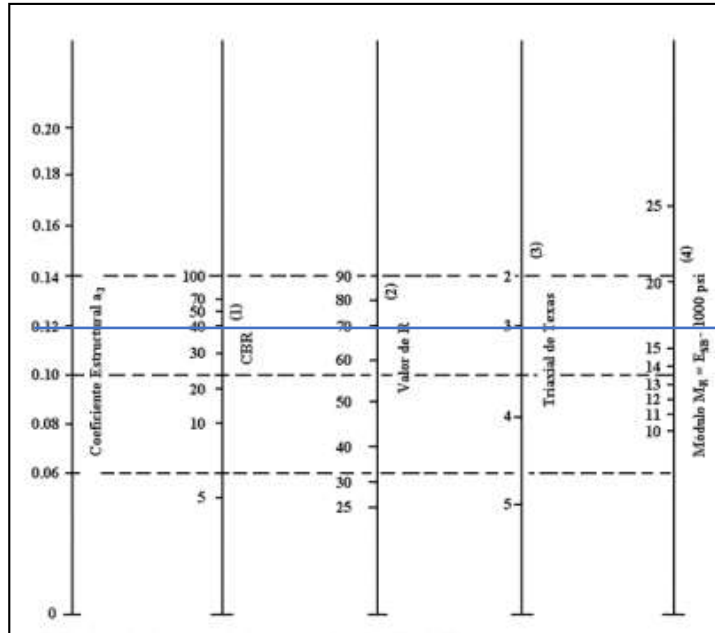
Tabla 41. Valores de a_2

Base de Agregados	
CBR	a_2
50	0,115
55	0,12
60	0,125
70	0,13
80	0,133
90	0,137
100	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Coeficiente a_3

Para el valor del coeficiente a_3 , se observa el monograma de sub-bases granulares, para identificar el valor de a_3 se toma un (CBR \geq 50%) [20].



Estimación de a_3 para Sub-bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a_3 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a_3 será 0.12 para el valor de CBR de 40%. Según el ábaco para un coeficiente de 0.12.

Tabla 42. Valores de a_3

Sub-Base Granular	
CBR	a_3
10	0,08
15	0,09
20	0,093
25	0,102
30	0,108
35	0,115
40	0,12
45	0,125
50	0,128
55	0,13
60	0,135
65	0,138
70	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficientes de drenaje m2, m3**

En la tabla N° 19 y N°20 se indican la calidad de drenaje en función del tiempo que se quiera eliminar el agua del pavimento. En la tabla 19 se escogerá una calidad de drenaje regular ya que al ser carreteras de poco tránsito el agua será evacuada en 1 semana.

Tabla 19. Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
EXCELENTE	2 horas
BUENO	1 día
REGULAR	1 semana
POBRE	1 mes
MUY MALO	el agua no evacua

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Al tener una calidad regular de drenaje, en la tabla N°20 se indica que del 5 al 25% de tiempo de eliminación de agua el pavimento estará a un nivel cercano a la saturación. Por este motivo m2 y m3 tendrán un valor de 1.0.

Tabla 20. Corrección de coeficientes estructurales con respecto al drenaje y a la humedad a la que está expuesta el pavimento

Calidad de Drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura de pavimento está compuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35-1,30	1,30 - 1,20	1,2
Buena	1,35 - 1,25	1,25-1,15	1,15 - 1,00	1
Regular	1,25 - 1,15	1,15-1,05	1,00 - 0,80	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05-0,80	0,80 - 0,60	0,6
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95-0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Cálculo del Número Estructural “SN”**

Tabla 44. Datos Diseño de pavimento

Datos del diseño de pavimento	
Tipo de pavimento:	Flexible
TPDA para el año 2040:	3000
Período de Diseño:	35 años
Ejes Equivalentes:	2000000
Serviciabilidad Inicial	4,2
Serviciabilidad Final	2
CBR de la sub-rasante	20%
Confiabilidad	60%
Desviación Estándar	-0.524
Desviación Global	0.45
Módulo de Resiliencia Sub-rasante	21028
Módulo de Resiliencia Sub-base	17000
Módulo de Resiliencia base	29000
Coefficiente a1	0,417
Coefficiente a2	0,133
Coefficiente a3	0,12
Coefficiente m2 y m3	0,8

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Para obtener este valor se realizará en el software de AASHTO 93 que calcula SN.

Programa AASHTO-93 con los datos ingresados del diseño de pavimento, dando como resultado SN=2.27

Al conocer el valor de número estructural, se procede a calcular los espesores de las capas del pavimento (capa asfáltica, base y subbase), por lo que con la ayuda de una hoja programada en Excel para diseño de pavimentos flexibles Método AASHTO 1993 se obtiene dichos espesores.

Figura 56 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93

Fuente: “Asociación americana de vías estatales y transporte oficial” ASSTHO (1993)

Al obtener los resultados de espesores como se observa en la tabla N°45, se cumple la condición debido a que el número estructural propuesto es mayor al requerido; es decir $SN_{requerido}=2.27 < SN_{propuesto}=2.46$. Como resultado del diseño del pavimento flexible se tiene un espesor total de 32.5cm, los siguientes espesores por capa son:

- Carpeta asfáltica = 5cm (2in).
- Base granular = 10cm (6in).
- Sub base granular = 20cm (8in).

Tabla 45. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: Segundo Diseño Estructural de Pavimento Flexible	TRAMO	: Vía Sante Fé-Sta Teresita
SECCION	: km 0+0,00 a km 2+0,00	FECHA	: 5/12/2019
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			2760,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			207,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			97,00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			2.000.000
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			70%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,524
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			21,03
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			35
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0,417
Base granular (a2)			0,133
Subbase (a3)			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)			1,000
Subbase (m3)			1,000
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	2,27		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	0,84		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0,38		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	1,05		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	5,1 cm	5,0 cm	0,82
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7,3 cm	10,0 cm	0,52
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	22,1 cm	20,0 cm	0,94
ESPESOR TOTAL (cm)		35,0 cm	2,29
DISEÑADO POR : Cristhian Bonilla			<i>fm</i>

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

3.1.5.3. Tercer Diseño de Pavimento

- **Valor de CBR**

El CBR de 20% tiene un contenido de humedad óptimo de 18.5%, una densidad seca de 1.669 gr/cm³ y un límite plástico de 21.9%. A continuación mediante correlaciones obtenidas en este estudio se predice el valor de CBR.

Para la correlación de W_{ópt} vs CBR se tiene un valor de CBR del 21.6%

Para la correlación de LP vs. W_{ópt} vs. CBR se tiene un valor de CBR del 22.54%

Para la correlación de γ_{d máx} vs. W_{ópt} vs. CBR se tiene un valor de CBR del 22.23%

El promedio de CBR en estas 3 correlaciones es del 22.12%, por lo que se tomará un valor de 22%.

- **Cálculo del TPDA**

Tabla 36. Volumen de tráfico Hora Pico

Hora	Vehículos	Buses	Camiones			Total 15 minutos
			2 ejes	3 ejes	4 ejes	
7:00 - 7:15	9	1	2	0	0	12
7:15 - 7:30	8	1	3	1	0	13
7:35 - 7:40	8	1	4	1	0	14
7:45 - 8:00	10	1	5	2	0	18
Total	35	4	14	4	0	57
%	61,4	7,0	24,6	7,0	0	100

Fuente: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Cálculo de TPDA de cada tipo de vehículo en función de la trigésima hora y de factor de hora pico

$$TPDA = * \frac{\text{total de veh.} * FHP}{15\%}$$

$$TPDA (\text{livianos}) = \frac{35 * 1}{15\%}$$

$$TPDA (\text{livianos}) = 233. \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

Se realiza el mismo cálculo para el TPDA de buses y camiones.

$$TPDA=353\text{veh/día}$$

- **Tránsito Futuro**

Se analiza el diseño para una proyección de 20 años. Ver tabla

$$Tf = Ta * (1 + i)^n$$

Donde:

Tf: Tráfico futuro

Ta: Tránsito actual

i: Índice de crecimiento vehicular

n: Número de años de proyección (para 20 años)

$$Tf = 630veh/día$$

La categoría de la vía es colectora vecinal III

Tabla 37. Clasificación de Carreteras de acuerdo al tráfico proyectado

Función	Categoría de la Vía		TPDA
Corredor Arterial	R-I o R-II	Tipo	>8000
	I	Todos	3000-8000
	II	Todos	1000-3000
Colectora Vecinal	III	Todos	300-1000
	IV	5,5E 6 y 7	100-300
	V	4 y 4E	<100

Fuente: “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras” MTOP-001-F-2003

- **Ejes equivalentes acumulados según el período de diseño (W18)**

Para el diseño del pavimento es necesario determinar un período de análisis, para este caso se escogerá un período de 20 años para una carretera pavimentada de bajo volumen como se indica en la tabla N°12.

Tabla 12. Período de Análisis

Tipo de Carretera	Período de Análisis (años)
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo Volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Fuente: Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO, Ing.

Gustavo Corredor.

La siguiente tabla muestra factores de daño que ocasionan cada tipo de vehículo, para este diseño se toma en cuenta factores de daño de vehículos livianos, buses y camiones de 2 ejes.

Tabla 38. Factor de Daño

ipo	Simple		Simple Doble		Tándem		Trídem		Factor de Daño
	tons	$(P/6,6)^4$	tons	$(P/8,2)^4$	tons	$(P/15)^4$	tons	$(P/23)^4$	
Liviano	3	0,04							0,04
Bus	4	0,13	8	0,91					1,04
C-2P	3	0,04							0,18
	4	0,13							
C-2G	7	1,27	11	3,24					4,50
C-3	7	1,27			20	3,16			4,43
C-4	7	1,27					24	1,19	2,45
C-5	7	1,27			20	6,32			7,59
C-6	7	1,27			20	3,16	24	1,19	5,61

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Factor de distribución por carril**

El diseño del pavimento se realizará para una vía que tiene un carril por dirección como se muestra en la tabla N° 14.

Tabla 14. Factor de distribución por Carril

Número de Carriles de cada Dirección	Porcentaje de Ejes Equivalentes de 8,2 ton (W18) en el carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Se calcula el número total de ejes equivalentes para el período de diseño seleccionado aplicando la siguiente ecuación:

$$W18total = 365 * TPDAfinal * FD$$

Donde:

W18: Número de ejes equivalentes acumulados (hasta el período de diseño)

TPDA final: Tránsito promedio diario anual (proyectado a 20 años)

Por lo tanto:

$$W18total = 365 * TPDAfinal(liviano) * FD + 365 * TPDAfinal(bus) * FD \\ + 365 * TPDAfinal(camiones)$$

$$W18total = (365 * 462 * 0.04) + (365 * 38 * 1.04) + (365 * 0.18 * 131)$$

$$W18total = 29937$$

A continuación se presenta una tabla de cálculo de los ejes equivalentes acumulados.

En la tabla de ejes equivalentes se muestra el valor para W18 carril de diseño de 259362 hasta el año 2040.

Tabla 39. Ejes Equivalentes Acumulados

AÑO	n	Índice de crecimiento (i%)			Transito promedio diario				Pesados						W18	W18	W18	W18
		Livianos	buses	camiones	Livianos	buses	camiones	TPDA Total	C2P	C2G	C3	C4	C5	C6	Parcial	Acumulado	Por sentido	Carril Diseño
2020	0	3,97	1,97	1,94	233,3333	27	93	353	93	33	0	0	0	0	19817	19817	9909	9909
2021	1	3,97	1,97	1,94	243	27	95	365	95	34	0	0	0	0	20278	40096	20048	20048
2022	2	3,97	1,97	1,94	252	28	97	377	97	35	0	0	0	0	20752	60847	30424	30424
2023	3	3,97	1,97	1,94	262	28	99	389	99	35	0	0	0	0	21237	82084	41042	41042
2024	4	3,57	1,78	1,74	273	29	101	402	101	36	0	0	0	0	21735	103820	51910	51910
2025	5	3,57	1,78	1,74	282	29	103	414	103	37	0	0	0	0	22196	126015	63008	63008
2026	6	3,57	1,78	1,74	292	30	104	427	104	37	0	0	0	0	22667	148682	74341	74341
2027	7	3,57	1,78	1,74	303	30	106	439	106	38	0	0	0	0	23149	171831	85916	85916
2028	8	3,57	1,78	1,74	314	31	108	453	108	39	0	0	0	0	23643	195474	97737	97737
2029	9	3,25	1,62	1,58	325	31	110	466	110	39	0	0	0	0	24149	219623	109811	109811
2030	10	3,25	1,62	1,58	335	32	112	479	112	40	0	0	0	0	24619	244242	122121	122121
2031	11	3,25	1,62	1,58	346	33	113	492	113	40	0	0	0	0	25101	269343	134671	134671
2032	12	3,25	1,62	1,58	358	33	115	506	115	41	0	0	0	0	25592	294935	147467	147467
2033	13	3,25	1,62	1,58	369	34	117	520	117	42	0	0	0	0	26095	321030	160515	160515
2034	14	3,25	1,62	1,58	381	34	119	534	119	42	0	0	0	0	26608	347638	173819	173819
2035	15	3,25	1,62	1,58	394	35	121	549	121	43	0	0	0	0	27133	374771	187385	187385
2036	16	3,25	1,62	1,58	406	35	123	564	123	44	0	0	0	0	27669	402440	201220	201220
2037	17	3,25	1,62	1,58	420	36	125	580	125	44	0	0	0	0	28218	430658	215329	215329
2038	18	3,25	1,62	1,58	433	36	127	596	127	45	0	0	0	0	28778	459436	229718	229718
2039	19	3,25	1,62	1,58	447	37	129	613	129	46	0	0	0	0	29351	488787	244393	244393
2040	20	3,25	1,62	1,58	462	38	131	630	131	47	0	0	0	0	29937	518724	259362	259362

Fuente: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Para el espesor de capas de este diseño se elige para la carpeta asfáltica un valor mínimo de 2.5in (6.35cm) y para la base granular un valor mínimo de 4in (10cm). Estos valores se escogieron de la tabla 18 del Capítulo I.

Tabla 18. Espesores mínimos según los ejes equivalentes (pulg.)

Tránsito W18	Concreto Asfáltico	Base
		Granular
Menos de 5000	1,0 o Tándem Superficial	4
50001 a 150000	2	4
150001 a 500000	2,5	4
500001 a 2000000	3	6
2000001 a 7000000	3,5	6
mayor a 7000000	4	6

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Confiabilidad “R”**

En el capítulo I se indica la tabla 15 donde muestra el nivel de confiabilidad para el diseño, donde se ve la probabilidad de que el diseño tenga un mejor desempeño o igual al calculado, esto depende del tipo de carretera.

Este diseño es para caminos vecinales de parroquias rurales, por ende se tomará un valor de R de 50% a 80%, se usará un 70% de Confiabilidad.

Tabla 15. Niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad, R (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85-99,9	80-99,9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Caminos vecinales o Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar normal Z_R**

La tabla 16 que se explica en el capítulo I, indica el valor de Z_R para cada valor de R (%), para este diseño se tomará un valor para de -0.524 por su confiabilidad de 70%

Tabla 16. Desviador normal estándar

Confiabilidad, R (%)	Desviador Normal Estándar, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar global S_o**

El diseño de este proyecto es para pavimentos flexibles, por lo que se toma valores de S_o desde 0.40 a 0.50. Se tomará un valor de $S_o = 0.45$.

- **Índice de Serviciabilidad “PSI”**

En el capítulo I en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica los valores de PSI. Por lo tanto para este diseño se tomará para PSI inicial un valor de 4.2 y para PSI final 2.0, ya que es una vía secundaria.

$$\Delta PSI = PSI \text{ Inicial} - PSI \text{ Final}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

La tabla 17 indicada en el capítulo I, indica que un índice de serviciabilidad de valor 2.2 tiene una calificación regular.

- **Módulo de Resiliencia “Mr” (Características de la subrasante)**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica las diversas correlaciones para obtener el módulo de resiliencia, para este diseño de pavimento se tomará la correlación $M_R = 4326 * \ln(CBR) + 241$ la cual considera usar CBR mayores a 20% [23].

$$Mr (PSI) = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr (PSI) = 4326 * \ln(22) + 241$$

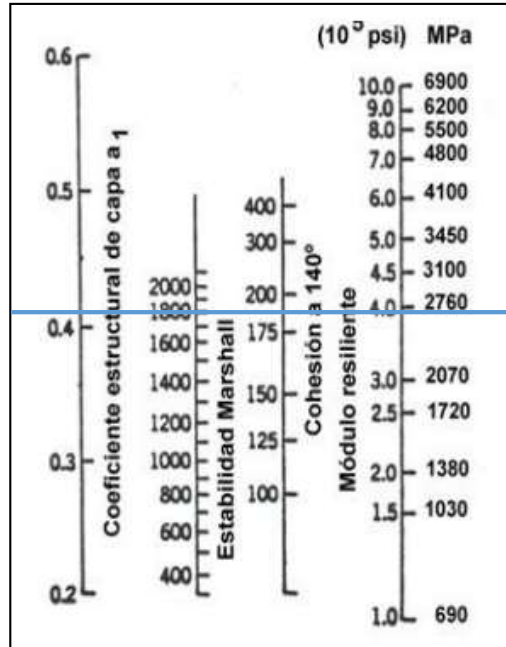
$$Mr (PSI) = 13613 \text{ psi}$$

- **Coefficientes de las capas del pavimento**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indican monogramas para determinar los coeficientes estructurales a1, a2 y a3. Se usará las figuras 13,14 y 17.

Coefficiente a1

Para el coeficiente a1 de carpeta asfáltica se trazó una línea en el monograma bajo el parámetro de una estabilidad Marshall mínima de 1800lb para tráfico pesado.



Estimación del a_1 para asfalto

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

La siguiente tabla de valores de a_1 se relaciona con valores de módulos elásticos, debido a que la línea que se trazó a las 1800 lb está entre 0.4 y 0.425 se procederá a interpolar.

Tabla 40. Valores de a_1

Módulos Elásticos		Valores a_1
PSI	Mpa	
125000	875	0,22
150000	1050	0,25
175000	1225	0,28
200000	1400	0,295
225000	1575	0,32
250000	1750	0,33
275000	1925	0,35
300000	2100	0,36
325000	2275	0,375
350000	2450	0,85
375000	2625	0,405

400000	2800	0,42
425000	2975	0,435
450000	3150	0,44

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Según el monograma de carpeta asfáltica y la tabla anterior, los valores están comprendidos entre 375000 y 400000; por tal razón se tiene la siguiente operación para el valor de a_1 .

$$\text{Módulo Elástico: } 400000 - 375000 = 25000$$

$$\text{Valores de } a_1: 0,405 - 0,420 = 0,015$$

Entonces:

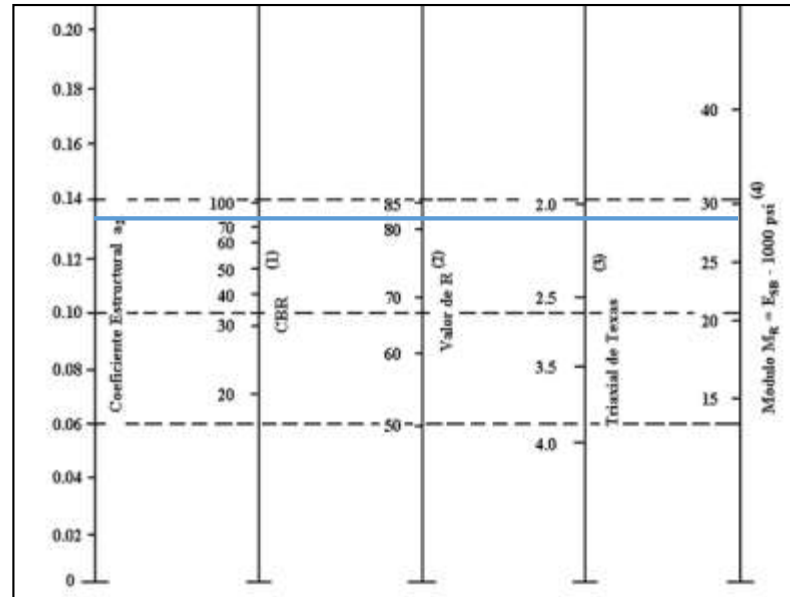
$$x = (5000 * 0,015) / 25000$$

$$x = 0,003$$

$$a_1 = 0,42 - 0,003 \quad a_1 = 0,417$$

Coefficiente a_2

Se asume un valor de CBR para base granular de 80% [20, 18].



Estimación de a_2 para bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a_2 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a_2 será 0.133 para el valor de CBR de 80%.

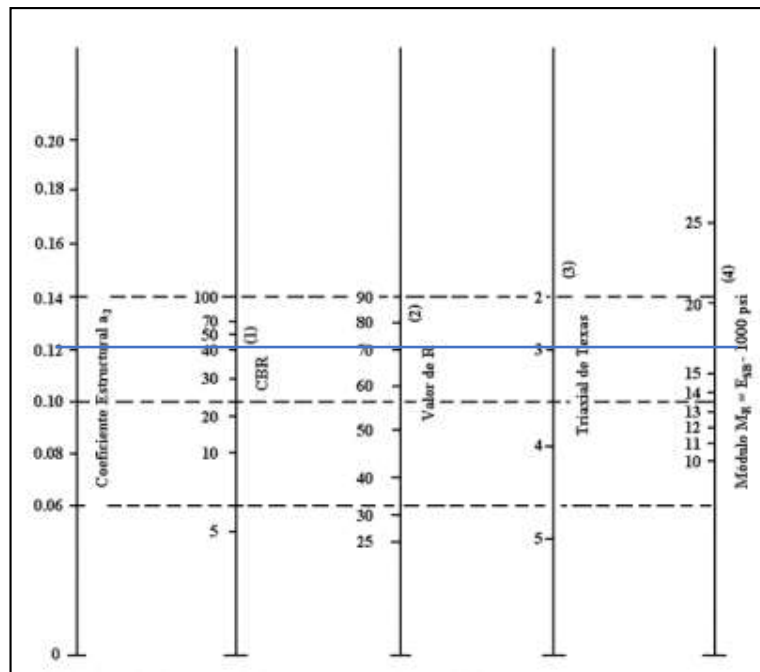
Tabla 41. Valores de a2

Base de Agregados	
CBR	a2
50	0,115
55	0,12
60	0,125
70	0,13
80	0,133
90	0,137
100	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Coefficiente a3

Para el valor del coeficiente a3 se observa en el monograma de sub-bases granulares y para identificar el valor de a3 se toma un (CBR \geq 40%) [20].



Estimación de a3 para Sub-bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a3 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a3 será 0.12 para el valor de CBR de 40%. Según el ábaco para un coeficiente de 0.12.

Tabla 42. Valores de a3

Sub-Base Granular	
CBR	a 3
10	0,08
15	0,09
20	0,093
25	0,102
30	0,108
35	0,115
40	0,12
45	0,125
50	0,128
55	0,13
60	0,135
65	0,138
70	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Coefficientes de drenaje m2, m3**

En la tabla N° 19 y N°20 se indican la calidad de drenaje en función del tiempo que se quiera eliminar el agua del pavimento. En la tabla 19 se escogerá una calidad de drenaje regular ya que al ser carreteras de poco tránsito el agua será evacuada en 1 semana.

Tabla 19. Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
EXCELENTE	2 horas
BUENO	1 día
REGULAR	1 semana
POBRE	1 mes
MUY MALO	el agua no evacua

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Al tener una calidad regular de drenaje, en la tabla N°20 se indica que del 5 al 25% de tiempo de eliminación de agua el pavimento estará a un nivel cercano a la saturación. Por este motivo m2 y m3 tendrán un valor de 0.8.

Tabla 20. Corrección de coeficientes estructurales con respecto al drenaje y a la humedad a la que está expuesta el pavimento

Calidad de Drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura de pavimento está compuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35-1,30	1,30 - 1,20	1,2
Buena	1,35 - 1,25	1,25-1,15	1,15 - 1,00	1
Regular	1,25 - 1,15	1,15-1,05	1,00 - 0,80	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05-0,80	0,80 - 0,60	0,6
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95-0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Cálculo del Número Estructural “SN”**

Tabla 46. Datos Diseño de pavimento

Datos del diseño de pavimento	
Tipo de pavimento:	Flexible
TPDA para el año 2040:	630
Período de Diseño:	20 años
Ejes Equivalentes:	259362
Serviciabilidad Inicial	4,2
Serviciabilidad Final	2
CBR de la sub-rasante	22%
Confiabilidad	70%
Desviación Estándar	-0.524
Desviación Global	0.45
Módulo de Resiliencia Sub-rasante	13613
Coficiente a1	0,417
Coficiente a2	0,133
Coficiente a3	0,12
Coficiente m2 y m3	0,8

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Para obtener este valor se realizará en el software de AASHTO 93 que calcula SN.

Programa AASHTO-93 con los datos ingresados del diseño de pavimento, dando como resultado $SN=1.92$

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input fields and sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '70 % Zr=-0.524' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '13613 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box shows 'W18 = 259362'.
- Número Estructural:** A text box shows 'SN = 1.92'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Figura 57 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93

Fuente: “Asociación americana de vías estatales y transporte oficial” ASSTHO (1993)

Al conocer el valor de número estructural, se procede a calcular los espesores de las capas del pavimento (capa asfáltica, base y subbase), por lo que con la ayuda de una hoja programada en Excel para diseño de pavimentos flexibles Método AASHTO 1993 se obtiene dichos espesores.

Al obtener los resultados de espesores como se observa en la tabla N°47, se cumple la condición debido a que el número estructural propuesto es mayor al requerido; es decir $SN_{requerido}=1.92 < SN_{propuesto}=2.00$. Como resultado del diseño del pavimento flexible se tiene un espesor total de 32.5cm, los siguientes espesores por capa son:

- Carpeta asfáltica = 5cm (2in)
- Base granular = 10cm (4in)
- Sub base granular = 20cm (8in)

Tabla 47. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: Cuarto Diseño Estructural de Pavimento Flexible	TRAMO	: Vía Sante Fé-Sta Teresita
SECCION	: km 0+0,00 a km 2+0,00	FECHA	: 5/12/2019
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			2760,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			207,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			97,00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			259.362
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			70%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,524
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			13,61
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,417
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			0,800
Subbase (m ₃)			0,800
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1,92	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		0,48	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,31	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		1,14	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	2,9 cm	5,0 cm	0,82
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7,3 cm	10,0 cm	0,42
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	30,0 cm	20,0 cm	0,76
ESPESOR TOTAL (cm)		35,0 cm	2,00
DISEÑADO POR : Cristhian Bonilla			<i>fm</i>

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

3.1.5.4. Cuarto Diseño de Pavimento

- **Valor de CBR**

El CBR de 20% tiene un contenido de humedad óptimo de 18.5%, una densidad seca de 1.669 gr/cm³ y un límite plástico de 21.9%. A continuación mediante correlaciones obtenidas en este estudio se predice el valor de CBR.

Para la correlación de W_{ópt} vs CBR se tiene un valor de CBR del 21.6%

Para la correlación de LP vs. W_{ópt} vs. CBR se tiene un valor de CBR del 22.54%

Para la correlación de γ_d máx vs. W_{ópt} vs. CBR se tiene un valor de CBR del 22.23%

El promedio de CBR en estas 3 correlaciones es del 22.12%, por lo que se tomará un valor de 22%.

- **TPDA Impuesto**

TPDA=3000 Veh/día

La categoría de la vía es corredor arterial II

Tabla 37. Clasificación de Carreteras de acuerdo al tráfico proyectado

Función	Categoría de la Vía		TPDA
Corredor Arterial	R-I o R-II	Tipo	>8000
	I	Todos	3000-8000
	II	Todos	1000-3000
Colectora Vecinal	III	Todos	300-1000
	IV	5,5E 6 y 7	100-300
	V	4 y 4E	<100

Fuente: “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras” MTOP-001-F-2003

- **Ejes equivalentes acumulados según el período de diseño (W18)**

Para el diseño del pavimento es necesario determinar un período de análisis, para este caso se escogerá un período de 35 años para una carretera pavimentada de bajo volumen como se indica en la tabla N°12.

Tabla 12. Período de Análisis

Tipo de Carretera	Período de Análisis (años)
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo Volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Fuente: Experimento Vial de la AASTHO y las Guías de Diseño AASHTO, Ing. Gustavo Corredor.

- **Factor de distribución por carril**

El diseño del pavimento se realizará para una vía que tiene un carril por dirección como se muestra en la tabla N° 14.

Tabla 14. Factor de distribución por Carril

Número de Carriles de cada Dirección	Porcentaje de Ejes Equivalentes de 8,2 ton (W18) en el carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Se calcula el número total de ejes equivalentes para el período de diseño seleccionado aplicando la siguiente ecuación:

$$W18_{total} = 365 * TPDA_{final} * FD$$

Para este caso de diseño, se asumirá un valor de W18 carril de diseño.

$$W18_{total} = 2000000$$

El valor de ejes equivalentes hasta el año 2055 será de 2000000.

Para el espesor mínimo de capas de este diseño se elige para la carpeta asfáltica un valor de 3.0in (7.62cm) y para la base granular un valor de 6in (15.24cm). Estos valores se escogieron de la tabla 18 del Capítulo I.

Tabla 18. Espesores mínimos según los ejes equivalentes (pulg.)

Tránsito W18	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 5000	1,0 o Tándem Superficial	4
50001 a 150000	2	4
150001 a 500000	2,5	4
500001 a 2000000	3	6
2000001 a 7000000	3,5	6
mayor a 7000000	4	6

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Confiabilidad “R”**

En el capítulo I se indica la tabla 15 donde muestra el nivel de confiabilidad para el diseño, donde se ve la propabilidad de que el diseño tenga un mejor desempeño o igual al calculado, esto depende del tipo de carretera.

Este diseño es para caminos vecinales de parroquias rurales, por ende se tomará un valor de R de 50% a 80%, se usará un 70% de Confiabilidad.

Tabla 15. Niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad, R (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85-99,9	80-99,9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Caminos vecinales o Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar normal Z_R**

La tabla 16 que se explica en el capítulo I, indica el valor de Z_R para cada valor de R (%), para este diseño se tomará un valor para de -0.524 por su confiabilidad de 70%

Tabla 16. Desviador normal estándar

Confiabilidad, R (%)	Desviador Normal Estándar, Z_R
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Desviación estándar global S_o**

El diseño de este proyecto es para pavimentos flexibles, por lo que se toma valores de S_o desde 0.40 a 0.50. Se tomará un valor de $S_o = 0.45$.

- **Índice de Serviciabilidad “PSI”**

En el capítulo I en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica los valores de PSI. Por lo tanto para este diseño se tomará para PSI inicial un valor de 4.2 y para PSI final 2.0, ya que es una vía secundaria.

$$\Delta PSI = PSI \text{ Inicial} - PSI \text{ Final}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

La tabla 17 indicada en el capítulo I, indica que un índice de serviciabilidad de valor 2.2 tiene una calificación regular.

- **Módulo de Resiliencia “Mr” (Características de la subrasante)**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indica las diversas correlaciones para obtener el módulo de resiliencia, para este diseño de pavimento se tomará la correlación para la ecuación de correlación $M_R = 4326 \cdot \ln(CBR) + 241$ la cual considera usar CBR mayores a 20% [23].

$$Mr (PSI) = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr (PSI) = 4326 * \ln(22) + 241$$

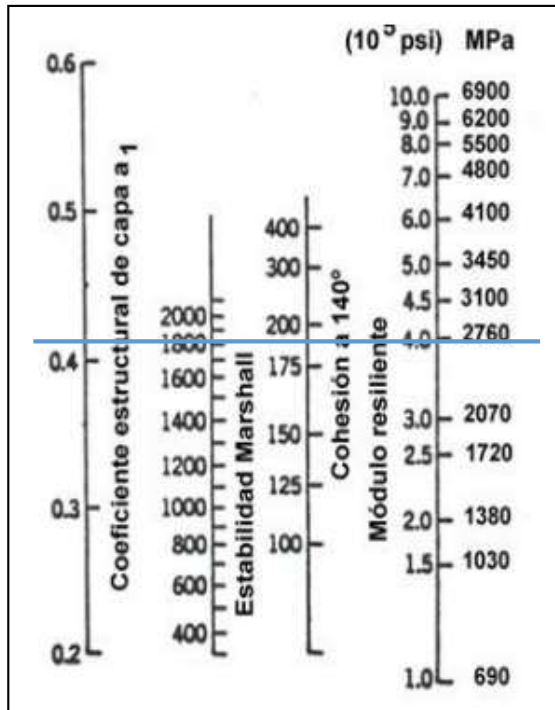
$$Mr (PSI) = 13613 \text{ psi}$$

- **Coefficientes de las capas del pavimento**

En el capítulo en la sección 1.1.3.5.3 Diseño de pavimentos flexibles (Método AASHTO-93) se indican monogramas para determinar los coeficientes estructurales a1, a2 y a3. Se usará las figuras 13,14 y 17.

Coefficiente a1

Para el coeficiente a1 de carpeta asfáltica se trazó una línea en el monograma bajo el parámetro de una estabilidad Marshall mínima de 1800lb para tráfico pesado.



Estimación del a_1 para asfalto

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

La siguiente tabla de valores de a_1 se relaciona con valores de módulos elásticos, debido a que la línea que se trazó a las 1800 lb está entre 0.4 y 0.425 se procederá a interpolar.

Tabla 40. Valores de a_1

Módulos Elásticos		Valores a_1
PSI	Mpa	
125000	875	0,22
150000	1050	0,25
175000	1225	0,28
200000	1400	0,295
225000	1575	0,32
250000	1750	0,33
275000	1925	0,35
300000	2100	0,36
325000	2275	0,375
350000	2450	0,85

375000	2625	0,405
400000	2800	0,42
425000	2975	0,435
450000	3150	0,44

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Según el monograma de carpeta asfáltica y la tabla anterior, los valores están comprendidos entre 375000 y 400000; por tal razón se tiene la siguiente operación para el valor de a_1 .

$$\text{Módulo Elástico: } 400000 - 375000 = 25000$$

$$\text{Valores de } a_1: 0,405 - 0,420 = 0,015$$

Entonces:

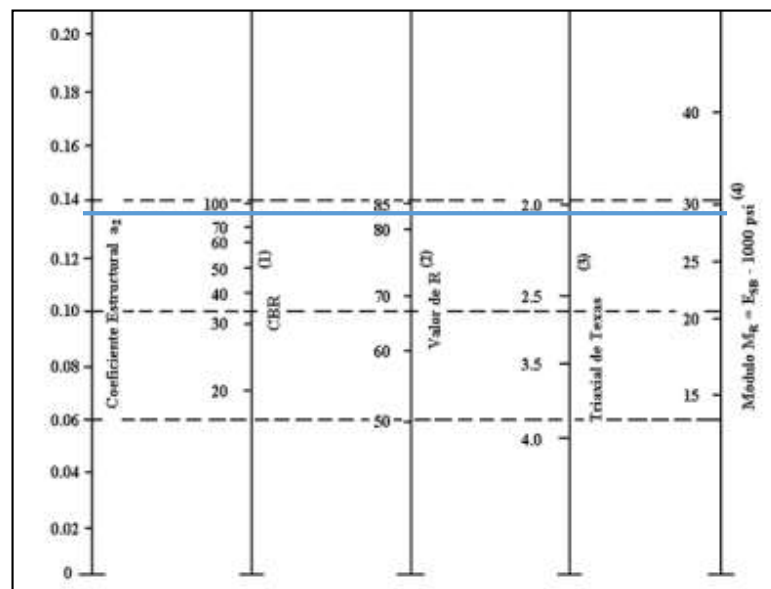
$$x = (5000 * 0,015) / 25000$$

$$x = 0,003$$

$$a_1 = 0,42 - 0,003 \quad a_1 = 0,417$$

Coefficiente a_2

Se asume un valor de CBR para base granular de 80% [20, 18].



Estimación de a_2 para bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a_2 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a_2 será 0.133 para el valor de CBR de 80%.

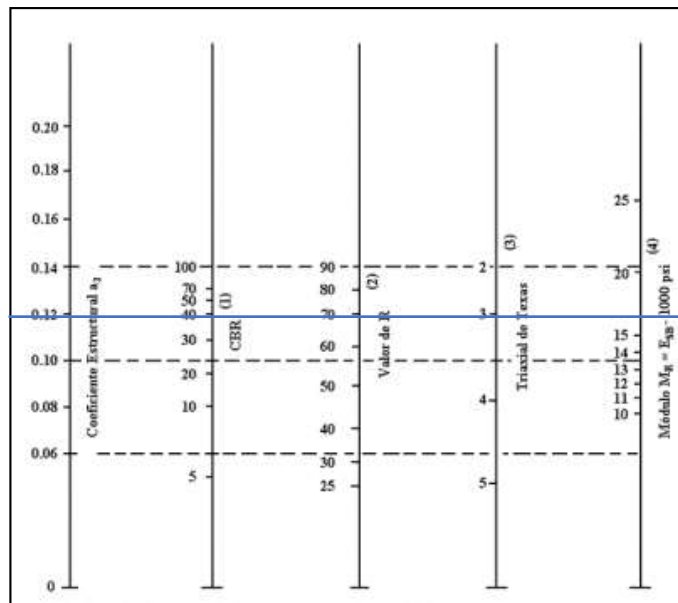
Tabla 41. Valores de a2

Base de Agregados	
CBR	a2
50	0,115
55	0,12
60	0,125
70	0,13
80	0,133
90	0,137
100	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Coefficiente a3

Para el valor del coeficiente a3 se observa en el monograma de sub-bases granulares y para identificar el valor de a3 se toma un (CBR \geq 40%) [20].



Estimación de a3 para Sub-bases Granulares

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

El valor de a3 se aprecia mejor en la siguiente tabla de base de agregados, por ende el valor de a3 será 0.12 para el valor de CBR de 40%. Según el ábaco para un coeficiente de 0.12.

Tabla 42. Valores de a3

Sub-Base Granular	
CBR	a 3
10	0,08
15	0,09
20	0,093
25	0,102
30	0,108
35	0,115
40	0,12
45	0,125
50	0,128
55	0,13
60	0,135
65	0,138
70	0,14

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Coefficientes de drenaje m2, m3

En la tabla N° 19 y N°20 se indican la calidad de drenaje en función del tiempo que se quiera eliminar el agua del pavimento. En la tabla 19 se escogerá una calidad de drenaje regular ya que al ser carreteras de poco tránsito el agua será evacuada en 1 semana.

Tabla 19. Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
EXCELENTE	2 horas
BUENO	1 día
REGULAR	1 semana
POBRE	1 mes
MUY MALO	el agua no evacua

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

Al tener una calidad regular de drenaje, en la tabla N°20 se indica que del 5 al 25% de tiempo de eliminación de agua el pavimento estará a un nivel cercano a la saturación. Por este motivo m2 y m3 tendrán un valor de 1.0.

Tabla 20. Corrección de coeficientes estructurales con respecto al drenaje y a la humedad a la que está expuesta el pavimento

Calidad de Drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura de pavimento está compuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35-1,30	1,30 - 1,20	1,2
Buena	1,35 - 1,25	1,25-1,15	1,15 - 1,00	1
Regular	1,25 - 1,15	1,15-1,05	1,00 - 0,80	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05-0,80	0,80 - 0,60	0,6
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95-0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures, 1993.

- **Cálculo del Número Estructural “SN”**

Tabla 48. Datos Diseño de pavimento

Datos del diseño de pavimento	
Tipo de pavimento:	Flexible
TPDA para el año 2040:	3000
Período de Diseño:	35 años
Ejes Equivalentes:	2000000
Clasificación de la vía:	II Orden
Serviciabilidad Inicial	4,2
Serviciabilidad Final	2
CBR de la sub-rasante	22%
Confiabilidad	70%
Desviación Estándar	-0.524
Desviación Global	0.45
Módulo de Resiliencia Sub-rasante	13613
Coficiente a1	0,417
Coficiente a2	0,133
Coficiente a3	0,12
Coficiente m2 y m3	0,8

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Para obtener este valor se realizará en el software de AASHTO 93 que calcula SN.

Programa AASHTO-93 con los datos ingresados del diseño de pavimento, dando como resultado $SN=2.66$

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. It is divided into several sections: 'Tipo de Pavimento' (Flexible selected), 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' (70% Zr=-0.524, So=0.45), 'Serviciabilidad inicial y final' (PSI inicial=4.2, PSI final=2), 'Módulo resiliente de la subrasante' (Mr=13613 psi), 'Información adicional para pavimentos rígidos' (empty fields for Ec, Sc, J, Cd), 'Tipo de Análisis' (Calcular SN selected, W18=2000000, SN=2.66), and 'Número Estructural' (SN=2.66). Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are at the bottom.

Figura 58 Cálculo del número Estructural en programa AASHTO-93

Fuente: “Asociación americana de vías estatales y transporte oficial” ASSTHO (1993)

Al conocer el valor de número estructural, se procede a calcular los espesores de las capas del pavimento (capa asfáltica, base y subbase), por lo que con la ayuda de una hoja programada en Excel para diseño de pavimentos flexibles Método AASHTO 1993 se obtiene dichos espesores.

Al obtener los resultados de espesores como se observa en la tabla N°50, se cumple la condición debido a que el número estructural propuesto es mayor al requerido; es decir $SN_{requerido}=2.66 < SN_{propuesto}=2.87$. Como resultado del diseño del pavimento flexible se tiene un espesor total de 40cm, los siguientes espesores por capa son:

- Carpeta asfáltica = 5cm (2in)
- Base granular = 10cm (4in)
- Sub base granular = 28cm

Tabla 49. Cálculo de Espesores de capas estructurales del pavimento

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: Cuarto Diseño Estructural de Pavimento Flexible	TRAMO	: Vía Sante Fé-Sta Teresita
SECCION	: km 0+0,00 a km 2+0,00	FECHA	: 5/12/2019
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			2760,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			207,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			97,00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			2.000.000
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			70%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,524
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			13,61
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			35
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,417
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1,000
Subbase (m ₃)			1,000
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		2,65	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		0,84	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,38	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		1,43	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	5,1 cm	5,0 cm	0,82
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7,3 cm	10,0 cm	0,52
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	30,3 cm	28,0 cm	1,32
ESPESOR TOTAL (cm)		43,0 cm	2,67
DISEÑADO POR : Cristhian Bonilla			<i>fm</i>

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados de los espesores de los 4 diseños estructurales de pavimentos.

Tabla 50. Resumen de diseño de Pavimentos

Diseños de Pavimentos	1er Diseño		2do Diseño		3er Diseño		4to Diseño	
CBR %	20		20		22		22	
TPDA (Veh/día)	630		3000		630		3000	
	Bajo		Alto		Bajo		Alto	
Ejes Equivalentes W18	259362		2000000		259362		2000000	
Espesores	Teórico	Asumido	Teórico	Asumido	Teórico	Asumido	Teórico	Asumido
Carpeta Asfáltica	2.9cm	5cm	5.1cm	5cm	2.9cm	5cm	5.1cm	5cm
Base	7.3cm	10cm	7.3cm	10cm	7.3cm	10cm	7.3cm	10cm
Sub-base	22cm	15cm	22.1cm	20cm	30cm	20cm	30.3cm	28cm
SN	1.62	1.81	2.27	2.29	1.92	2.00	2.65	2.67

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

3.2. Verificación de Hipótesis

- Hipótesis Alternativa

Si existen correlaciones entre el CBR de laboratorio y las propiedades índices y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

- Hipótesis Nula

No existen correlaciones entre el CBR de laboratorio y las propiedades índices y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se concluye que los suelos de las parroquias Atahualpa y Augusto Martínez según la clasificación de AASHTO pertenecen al grupo A 2-4(0), es decir son gravas, arenas limosas o arcillosas. Para la clasificación de SUCS en la parroquia Atahualpa se obtuvieron 5 suelos de arena limosa (SM) y 1 suelo de arena limosa pobremente graduada (SM-SP) y en la parroquia de Augusto Martínez se obtuvo 5 suelos de arena limosa (SM) y 1 suelo de arena limosa arcillosa (SM-SC).

Se realizó el ensayo CBR para cada muestra de suelo obteniendo valores desde 13% hasta 36.8%, debido a que son suelos de su misma clasificación (SM). De las 12 muestras 7 tienen valores similares de CBR entre 18% y 23.3% teniendo resistencias y densidades máximas similares.

Se realizaron correlaciones entre las propiedades índice, DCP y CBR, donde las mejores correlaciones obtenidas fueron con el CBR. En cambio las correlaciones más bajas se dieron con el DCP. Esto se debe a que las arenas limosas presentan pequeñas variaciones en su resistencia y contenido de humedad.

Se determinó la correlación polinómica con las muestras entre DCP y CBR dando como resultado un coeficiente de correlación bueno de (70%). Esto se debe a que los suelos cuando alcanzan su contenido óptimo de humedad llegan a tener densidades altas y por ende a ser más resistentes al corte en el ensayo CBR. Por otra parte en campo con el ensayo DCP los suelos se encuentran en diferentes condiciones de humedad y densidad lo que hace que el suelo sea menos resistente.

Se concluye que los suelos granulares arenosos limosos de esta zona son suelos resistentes cuando son más plásticos y en su humedad óptima, siempre y cuando el límite líquido se controle, ya que al aumentar o disminuir esta propiedad en los rangos estudiados las resistencias de los suelos tienden a bajar.

El índice de liquidez de los suelos estudiados dan valores negativos desde -0.69 hasta -32.93, este caso se da cuando la humedad en su estado plástico es mayor a su contenido de humedad natural

Se concluye que al tener 12 muestras para correlacionar entre dos o tres propiedades, existe siempre una o dos muestras que se encuentran. Es por esta razón que las correlaciones se presentaron con 11 y 10 muestras para obtener correlaciones más aceptables.

El CBR real de laboratorio usado para el diseño estructural de pavimentos es del 20% y el CBR calculado en base al promedio de 3 correlaciones realizadas en la presente investigación de 22%. Esto indica que existe una excelente correlación, mostrando datos confiables en función de las gráficas y ecuaciones establecidas para determinar valores de CBR.

Se concluye que para el diseño de pavimentos con un valor real de CBR de 20% y tráfico bajo, se obtiene como resultado espesores de capa asfáltica, base y subbase de 5cm, 10cm y 15cm respectivamente. Para el diseño con un CBR calculado de 22% y tráfico bajo se obtienen espesores de capa asfáltica, base y subbase de 5cm, 10cm y 20cm respectivamente.

Se concluye que para el diseño de pavimentos con un valor real de CBR de 20% y tráfico alto, se obtiene como resultado espesores de capa asfáltica, base y subbase de 5cm, 10cm y 20cm respectivamente. Para el diseño con un CBR calculado de 22% y tráfico alto se obtienen espesores de capa asfáltica, base y subbase de 5cm, 10cm y 28cm respectivamente.

4.2. Recomendaciones

Al analizar y utilizar cada gráfica de correlación se debe tomar en cuenta que cada resultado y valor es solo para las muestras de suelos estudiados y ensayados en la presente investigación, con los rangos de datos establecidos en cada una de las correlaciones.

Se recomienda tener conocimiento de los tipos de suelos que hay en la zona de estudio, ya que suelen presentarse rellenos o suelos de otras características, dando como resultado muestras falsas.

Se recomienda ampliar la base de datos en el estudio de suelos granulares, para obtener correlaciones más precisas entre sus propiedades.

Se recomienda realizar de forma correcta el ensayo DCP porque se pueden producir inconvenientes al momento de la penetración como dar golpes en zonas de piedras, afectando el valor de DN.

Cumplir con todas las normas de los ensayos, para de esta manera tener resultados con menos margen de error.

Se recomienda realizar este estudio con suelos cohesivos de las regiones costa y oriente, para analizar las diferencias que existen con los suelos granulares.

Se recomienda antes de realizar cualquier ensayo, revisar y estudiar las normas para tener conocimiento de los ensayos que se van a realizar y los datos que se quieren obtener.

ANEXOS

Referencias Bibliográficas

- [1] K. Roksana, T. Islam y A. Muqtadir, «Relationship between CBR and Soil Index Properties of Bangladesh Soil Samples,» *Journal of Modern Science and Technology*, nº 1, pp. 1-9, June, 2018.
- [2] K. M. K y Y. R., «A Study of Correlation between CBR Value and Physical Properties of Some Soils,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 5, nº 2, 2015.
- [3] A. William, «ECUACIONES DE CORRELACIÓN DEL CBR CON PROPIEDADES ÍNDICE DE SUELOS PARA LA CIUDAD DE PIURA,» Universidad de Piura, Piura, 2014.
- [4] C. Florez, F. T. P, F. T. C y C. Peña, «ESTIMACIÓN DEL VALOR DE CBR USANDO PENETROMETRO DE CONO DINAMICO,» *GIGA*, nº 3, pp. 1-18, 2017.
- [5] A. Pillajo y F. Portilla, *DETERMINACIÓN DEL CBR DE LABORATORIO EN SUELOS GRANULARES Y SU CORRELACIÓN CON EL DCP PARA LA APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CAMINOS VECINALES*, Quito: PUCE, 2001.
- [6] D. Navarro y F. Gómez, «Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos,» Costa Rica, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN, 2004, pp. 1-6.
- [7] M. S. M. K. Valwntine Yato, M. Bertille, A. S. L. Wouatong y L. A. Bezeng, «Correlation of california bearing ration (cbr) value with soil properties of road subgrade soil,» *Geotech Geol Eng*, p. 17, 2018.

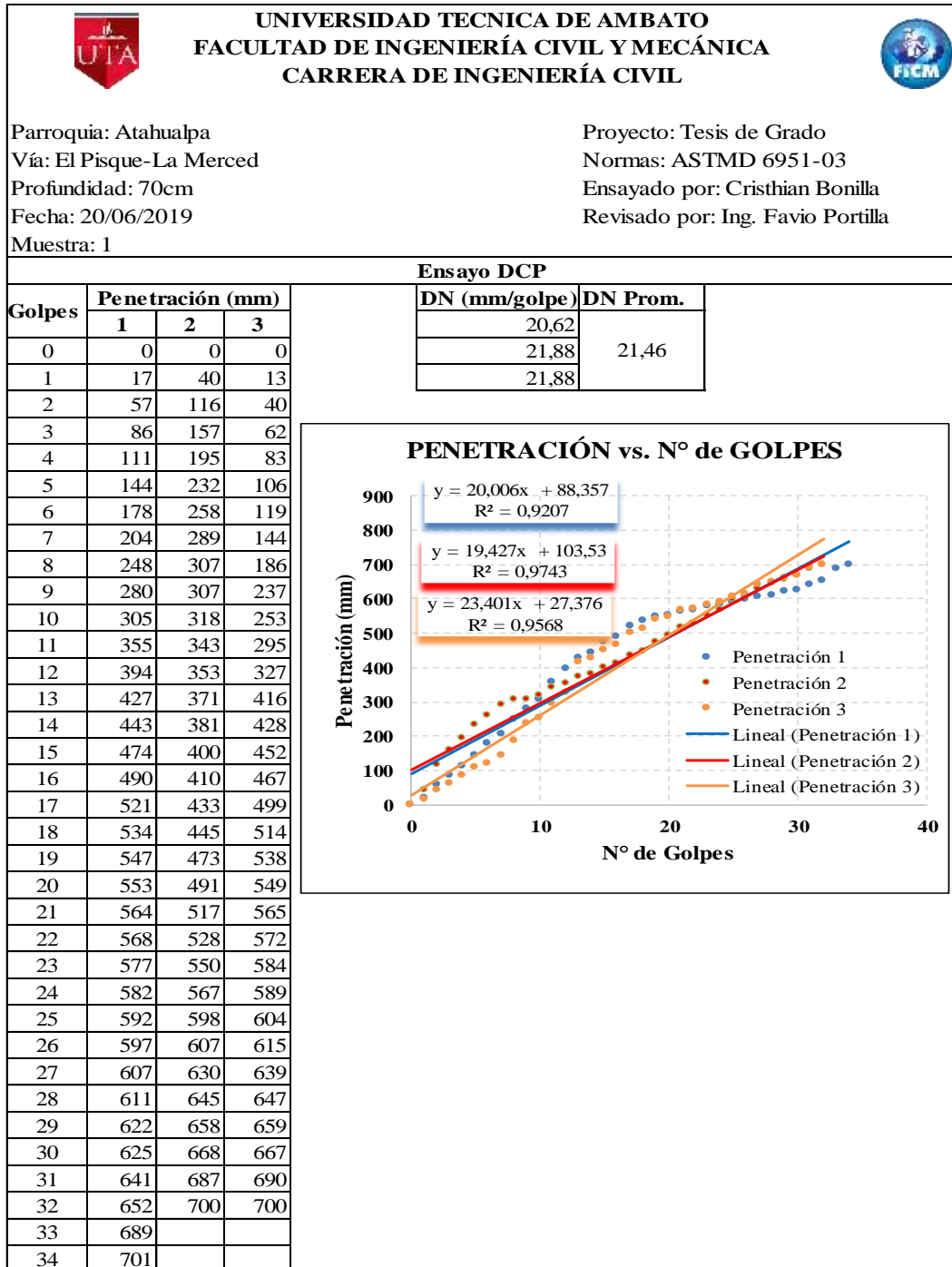
- [8] K. Talukdar, «A Study of Correlation Between California Bearing Ration (CBR) Value With Other Properties of Soil,» *Exploring Research and Innovations*, vol. 4, n° 8, pp. 4-6, 2014.
- [9] J. BADILLO y R. RODRÍGUEZ, MECÁNICA DE SUELOS. TOMO I. FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS, México: Editorial Limusa, 2005.
- [10] L. Cruz, Tipos de Suelos desde el punto de vista de la mecánica de Suelos, Cauca: Universidad del Cauca. Ingeniería Civil.
- [11] B. M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cuarta Edición, México: Cengage Learning Editores, S.A., 2015.
- [12] J. Bowles, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Segunda ed, Naucalpan de Juárez, Mexico, Mexico D.F.: McGraw-Hill Book, 1990.
- [13] E. Sáez, Fundamentos de Geotecnia. ICE-1603, Chile: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE. Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, 2010.
- [14] A. M. Santana, ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS (DCP) PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO Y (CBR) RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS, Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Ingeniería Civil, 2016.
- [15] C. Crespo, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES, Monterrey: Limusa, 2004.
- [16] J. Osorio, CORRELACIÓN P.D.C. CON C.B.R. PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE SUBA, Bogotá: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2011.
- [17] F. Viscarra, EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE SUELOS, Universidad Privada Boliviana, 2006.

- [18] A. M. Fonseca, INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. Fundamentos, estudios básicos y diseño, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2010.
- [19] D. N. d. c. t. y. d. c. o. p. l. g. d. l. i. v. vial, «Suelos y Pavimentos,» de *Manual de Carreteras*, Lima, Macro EIRL, 2013.
- [20] U. M. d. S. Simón, «PAVIMENTOS,» 2004. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/16406141/Libro_de_Pavimentos. [Último acceso: 28 10 2019].
- [21] MTOP, NEVI-12 - MTOP, Quito, 2013.
- [22] W. Zambrano, Diseño Estructural de Pavimentos, Machala: Universidad Técnica de Machala, 2016.
- [23] G. Corredor, Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO, Universidad Nacional de Ingeniería.
- [24] C. Palacios, DISEÑO ESTRUCTURAL DEL TRAMO 2 DE LA VÍA MULAUTE - LA FLORIDA APLICANDO EL MÉTODO EMPÍRICO - MECANISISTA AASHTO 2008 Y AASHTO 93, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito , 2017.
- [25] M. Triola, ESTADÍSTICA, Décima edición, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2009.
- [26] PDOT, PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA "AUGUSTO MARTÍNEZ", Ambato: GAD "AUGUSTO MARTÍNEZ", 2015-2019.

Tablas de Ensayos

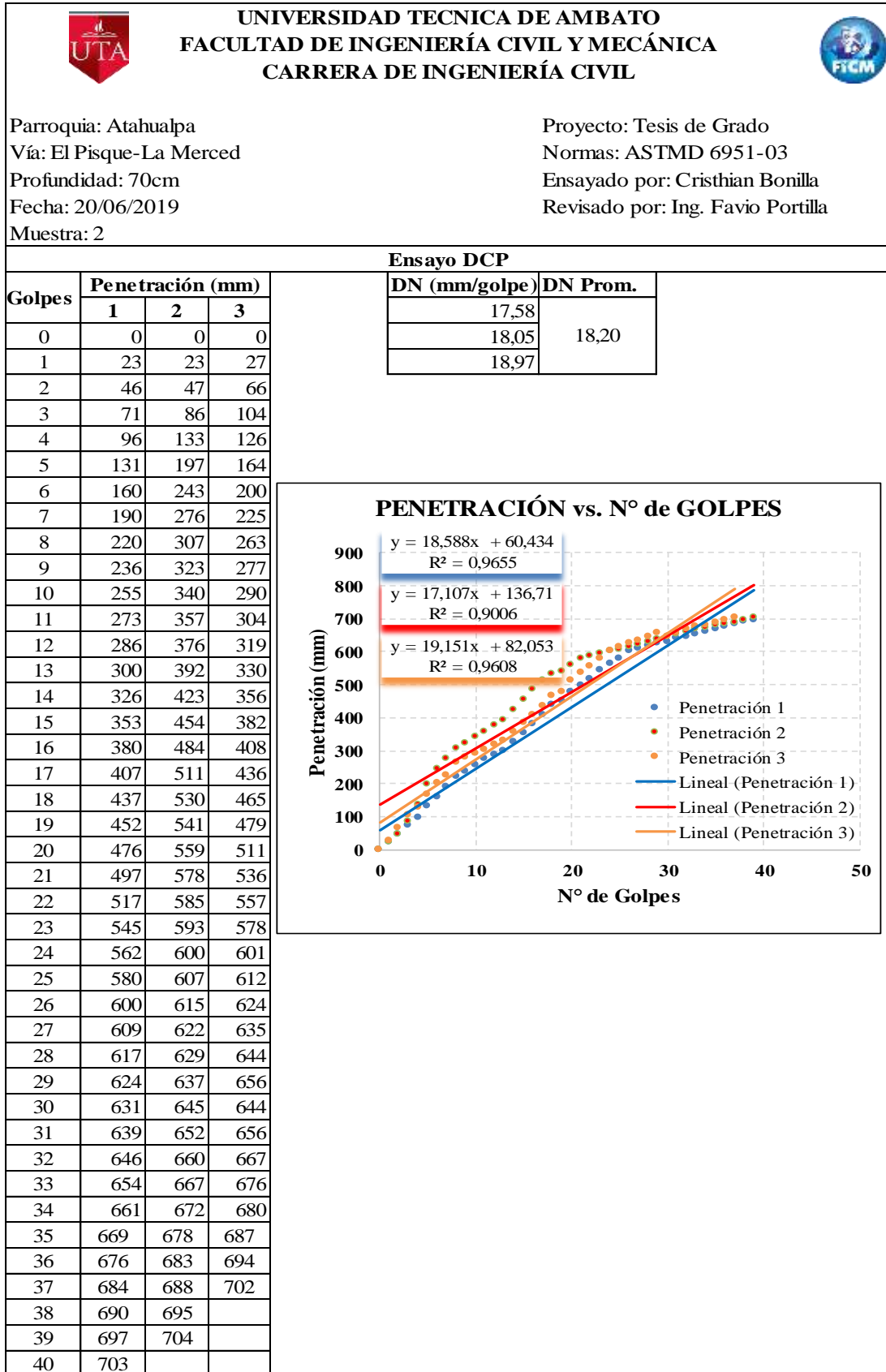
TABLAS DE ENSAYOS DCP

Tabla 51. DCP Muestra N°1



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 52. DCP Muestra N°2



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 53. DCP Muestra N°3

Golpes		Penetración (mm)			DN (mm/golpe)	DN Prom.
		1	2	3		
0	0	0	0	16,90	17,89	
1	10	23	10	20,00		
2	20	40	30	16,76		
3	30	50	40			
4	40	61	52			
5	52	70	64			
6	62	80	75			
7	72	90	80			
8	82	95	96			
9	92	105	110			
10	102	115	120			
11	116	125	131			
12	130	136	139			
13	140	150	145			
14	154	165	155			
15	166	183	164			
16	182	205	172			
17	196	235	184			
18	217	280	235			
19	242	320	285			
20	290	377	355			
21	300	437	398			
22	325	470	430			
23	352	490	474			
24	380	500	476			
25	410	515	500			
26	443	530	520			
27	462	545	530			
28	480	565	540			
29	493	586	545			
30	510	610	557			
31	522	632	561			
32	535	650	575			
33	550	665	585			
34	564	684	599			
35	575	700	608			
36	593	720	617			
37	610		624			
38	624		635			
39	642		647			
40	662		669			
41	690		685			
42	710		704			

Ensayo DCP

DN (mm/golpe)	DN Prom.
16,90	17,89
20,00	
16,76	

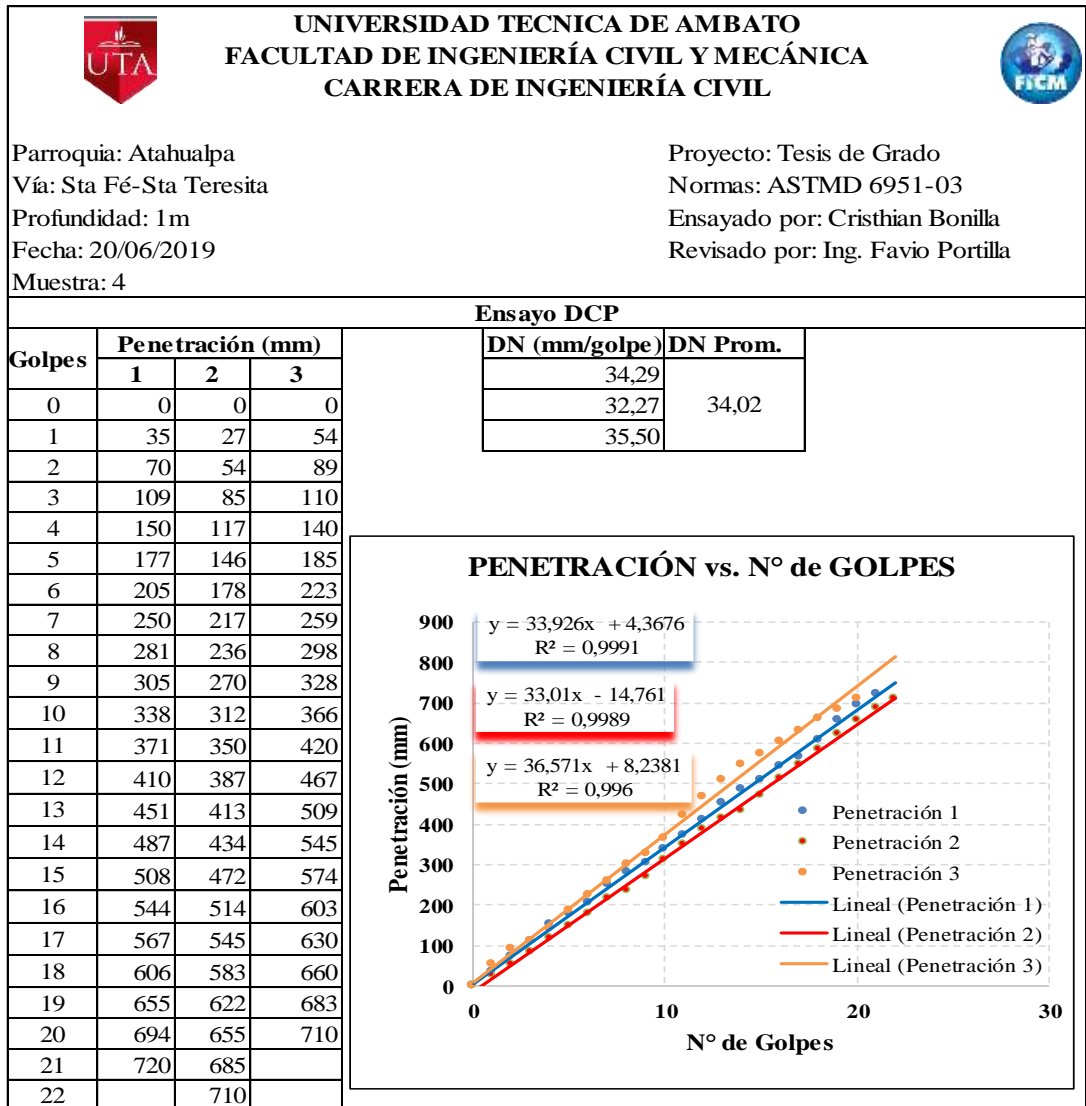
PENETRACIÓN vs. N° de GOLPES

$y = 18,028x - 57,022$
 $R^2 = 0,9847$
 $y = 21,899x - 64,349$
 $R^2 = 0,9663$
 $y = 18,623x - 39,43$
 $R^2 = 0,9612$

● Penetración 1
 ● Penetración 2
 ● Penetración 3
 — Lineal (Penetración 1)
 — Lineal (Penetración 2)
 — Lineal (Penetración 3)



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 54. DCP Muestra N°4



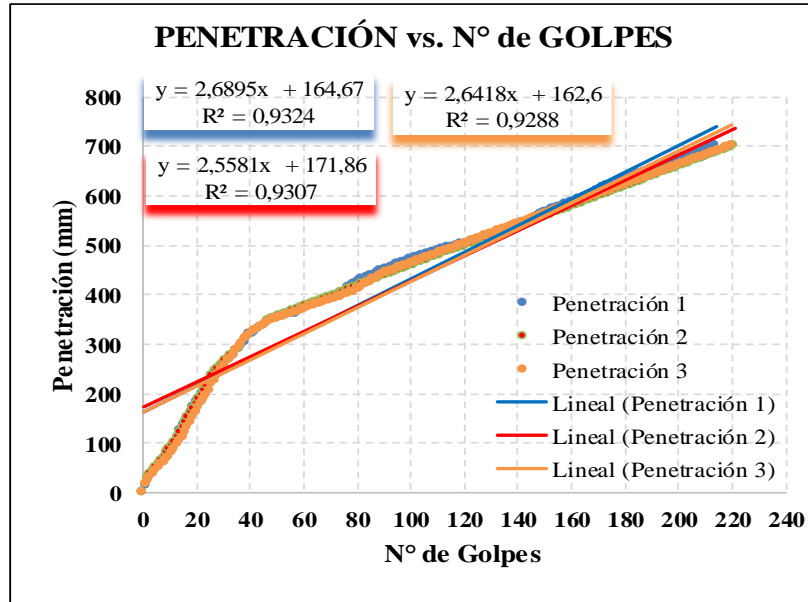
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 55. DCP Muestra N°5

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
Parroquia: Augusto Martínez						Proyecto: Tesis de Grado					
Vía: San Pedro-Chaupi						Normas: ASTM D 6951-03					
Profundidad: 60cm						Ensayado por: Cristhian Bonilla					
Fecha: 20/06/2019						Revisado por: Ing. Favio Portilla					
Muestra: 5											
Ensayo DCP											
Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0	0	0	0	35	285	285	285	70	392	395	389
1	12	15	15	36	290	290	293	71	393	397	390
2	25	30	25	37	296	300	300	72	396	399	392
3	35	37	30	38	302	310	310	73	398	402	394
4	41	44	37	39	315	314	315	74	400	404	396
5	47	51	43	40	319	318	317	75	402	406	398
6	54	58	50	41	321	322	322	76	407	408	400
7	59	65	56	42	325	326	326	77	414	410	402
8	63	72	61	43	329	330	330	78	418	412	404
9	71	79	66	44	335	334	335	79	421	414	406
10	78	86	72	45	338	338	337	80	425	416	410
11	85	93	80	46	341	342	340	81	429	418	413
12	97	100	87	47	345	346	343	82	430	420	416
13	110	110	97	48	350	350	348	83	433	422	420
14	125	120	103	49	351	352	350	84	435	424	423
15	133	130	112	50	353	354	352	85	438	426	426
16	140	140	120	51	355	356	354	86	440	428	430
17	148	150	130	52	356	358	354	87	443	430	432
18	157	160	140	53	358	360	356	88	445	433	436
19	172	170	150	54	360	362	358	89	447	435	440
20	181	180	160	55	362	364	360	90	449	437	442
21	190	190	171	56	360	366	362	91	451	439	444
22	198	195	181	57	362	368	364	92	453	441	446
23	207	205	190	58	365	370	365	93	455	443	448
24	215	215	195	59	370	373	366	94	458	445	450
25	225	225	205	60	372	375	370	95	461	447	452
26	235	235	218	61	375	377	372	96	463	449	454
27	237	245	225	62	377	379	375	97	465	451	456
28	241	250	235	63	379	381	376	98	467	453	458
29	245	255	246	64	381	383	378	99	469	455	460
30	250	260	250	65	382	385	380	100	471	457	462
31	257	265	255	66	384	387	381	101	473	459	464
32	265	270	265	67	386	389	383	102	475	461	466
33	269	275	270	68	388	391	385	103	476	464	468
34	275	280	275	69	390	393	387	104	478	466	470

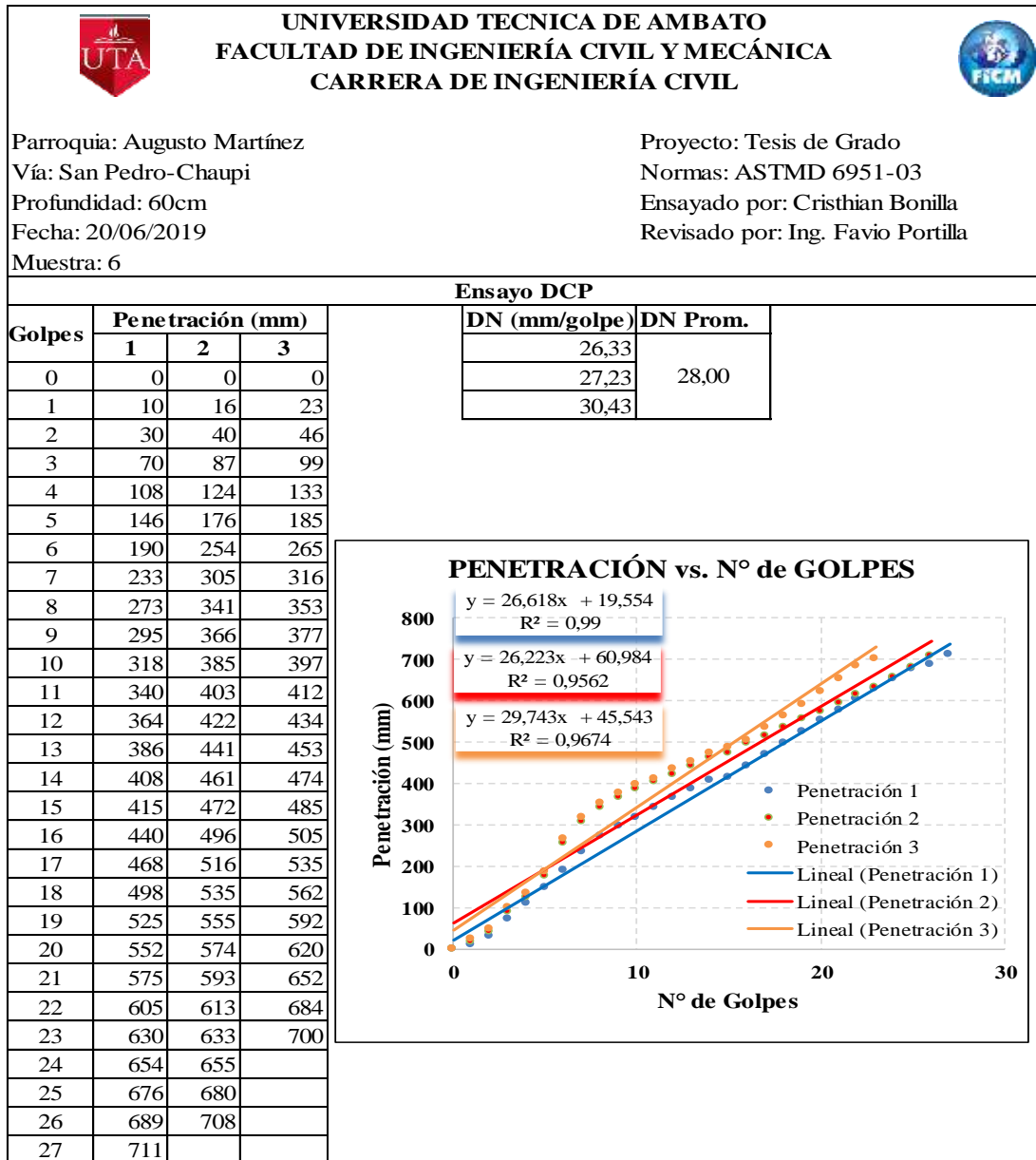
Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
105	480	468	472	150	566	557	562	195	663	648	651
106	482	470	474	151	568	559	564	196	665	650	653
107	483	472	476	152	570	561	566	197	667	652	655
108	485	474	478	153	572	563	568	198	669	654	657
109	486	476	480	154	574	565	570	199	671	656	659
110	488	478	482	155	576	567	572	200	673	658	661
111	490	480	484	156	578	569	574	201	675	660	663
112	491	482	486	157	580	571	576	202	677	662	665
113	493	484	488	158	582	573	578	203	679	664	667
114	495	486	490	159	584	575	580	204	681	666	669
115	496	488	492	160	586	577	582	205	683	668	671
116	497	490	494	161	588	579	584	206	685	670	673
117	498	491	496	162	590	581	586	207	687	672	675
118	500	493	498	163	592	583	588	208	689	674	677
119	501	495	500	164	594	585	590	209	691	676	679
120	502	497	502	165	596	587	592	210	693	678	681
121	503	499	504	166	599	589	594	211	695	680	683
122	505	501	506	167	602	591	596	212	697	682	685
123	506	503	508	168	605	593	598	213	699	684	687
124	508	505	510	169	608	595	600	214	701	686	689
125	510	507	512	170	611	597	602	215		688	691
126	511	509	514	171	614	599	604	216		690	693
127	512	511	516	172	617	601	606	217		692	695
128	515	513	518	173	619	603	608	218		694	697
129	517	515	520	174	621	605	610	219		696	699
130	519	517	522	175	623	607	612	220		698	701
131	521	519	524	176	625	609	614	221		700	
132	523	521	526	177	627	611	616				
133	525	523	528	178	629	613	618				
134	527	525	530	179	631	615	620				
135	529	527	532	180	633	617	622				
136	531	529	534	181	635	619	624				
137	533	531	536	182	637	621	626				
138	535	533	538	183	639	623	628				
139	537	535	540	184	641	625	630				
140	539	537	542	185	643	627	631				
141	541	539	544	186	645	629	633				
142	543	541	546	187	647	631	635				
143	545	543	548	188	649	634	637				
144	548	545	550	189	651	636	639				
145	551	547	552	190	653	638	641				
146	554	549	554	191	655	640	643				
147	557	551	556	192	657	642	645				
148	560	553	558	193	659	644	647				
149	563	555	560	194	661	646	649				

DN (mm/golpe)	DN Prom.
3,28	3,21
3,17	
3,19	





Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 56. DCP Muestra N°6



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Tabla 57. DCP Muestra N°7

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  </div>											
Parroquia: Augusto Martínez				Proyecto: Tesis de Grado							
Vía: Esperanza-San Pedro				Normas: ASTM D 6951-03							
Profundidad: 75cm				Ensayado por: Cristhian Bonilla							
Fecha: 21/06/2019				Revisado por: Ing. Favio Portilla							
Muestra: 7											
Ensayo DCP											
Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0	0	0	0	35	535	400	468	50	648	630	639
1	20	20	20	36	551	420	486	51	652	640	646
2	38	36	37	37	565	440	503	52	655	645	650
3	50	50	50	38	578	460	519	53	658	650	654
4	62	62	62	39	585	475	530	54	663	655	659
5	75	75	75	40	595	490	543	55	668	660	664
6	86	86	86	41	604	505	555	56	673	665	669
7	96	95	96	42	610	520	565	57	676	669	673
8	106	105	106	43	615	535	575	58	680	680	680
9	120	119	120	44	621	548	585	59	684	688	686
10	133	128	131	45	626	560	593	60	690	695	693
11	146	140	143	46	630	576	603	61	695	709	702
12	162	151	157	47	639	594	617	62	700		
13	176	160	168	48	640	610	625	DN (mm/golpe)		DN Prom.	
14	190	173	82	49	644	620	632	11,29		11,47	
15	200	184	192					11,623			
16	213	192	203					11,508			
17	235	201	218								
18	240	212	226								
19	248	219	234								
20	262	228	245								
21	275	237	256								
22	286	250	268								
23	315	260	288								
24	335	270	303								
25	352	280	316								
26	370	292	331								
27	370	303	337								
28	390	314	352								
29	415	325	370								
30	443	325	384								
31	465	340	403								
32	482	351	417								
33	496	366	431								
34	515	382	449								

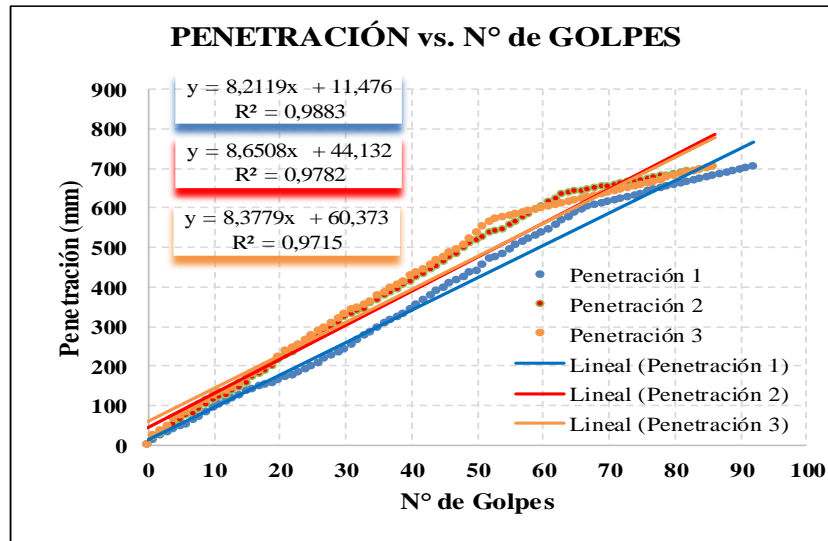
PENETRACIÓN vs. N° de GOLPES

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 58. DCP Muestra N°8



 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
Parroquia: Augusto Martínez Vía: San Pedro-Chaupi Profundidad: 90cm Fecha: 20/06/2019 Muestra: 8						Proyecto: Tesis de Grado Normas: ASTM D 6951-03 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla					
Ensayo DCP											
Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0	0	0	0	35	295	366	377	70	615	654	638
1	10	16	23	36	305	376	385	71	619	657	642
2	20	26	32	37	314	385	397	72	623	660	646
3	30	40	46	38	322	393	405	73	627	663	650
4	39	50	64	39	331	403	412	74	631	666	654
5	46	60	71	40	340	412	425	75	635	669	658
6	50	72	80	41	352	422	434	76	639	672	662
7	60	78	90	42	364	432	443	77	643	675	666
8	70	87	99	43	375	441	453	78	647	678	670
9	80	100	112	44	386	452	465	79	651	681	674
10	90	111	122	45	395	461	474	80	655	684	678
11	101	118	129	46	408	472	485	81	659	687	682
12	108	124	133	47	415	483	493	82	663	690	686
13	116	133	142	48	422	496	505	83	667	693	690
14	124	143	155	49	433	507	520	84	671	696	694
15	133	156	168	50	440	516	535	85	675	699	698
16	140	169	178	51	453	526	550	86	679	704	703
17	146	176	185	52	468	535	562	87	683		
18	151	186	197	53	475	540	570	88	687		
19	156	198	204	54	482	545	574	89	691		
20	162	211	220	55	493	555	578	90	695		
21	169	223	234	56	503	564	582	91	699		
22	175	232	245	57	512	574	586	92	703		
23	183	245	253	58	520	583	590				
24	190	254	265	59	527	593	594				
25	198	262	275	60	535	603	598				
26	206	272	285	61	544	613	602				
27	215	285	295	62	554	622	606				
28	223	295	305	63	565	633	610				
29	233	305	316	64	576	636	614				
30	240	320	328	65	586	639	618				
31	252	329	340	66	595	642	622				
32	262	337	345	67	603	645	626				
33	273	341	353	68	607	648	630				
34	284	356	360	69	611	651	634				

DN (mm/golpe)	DN Prom.
7,64	8,00
8,19	
8,17	



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 59. DCP Muestra N°9

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  </div>											
Parroquia: Augusto Martínez				Proyecto: Tesis de Grado				DN (mm/golpe)		DN Prom.	
Vía: Martínez-Esperanza				Normas: ASTM D 6951-03				10,25		10,70	
Profundidad: 90cm				Ensayado por: Cristhian Bonilla				10,20			
Fecha: 21/06/2019				Revisado por: Ing. Favio Portilla				11,66			
Muestra: 9											
Ensayo DCP											
Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0	0	0	0	35	282	315	372	53	507	524	635
1	15	25	21	36	292	325	387	54	522	535	647
2	25	33	35	37	300	334	404	55	539	549	653
3	30	45	45	38	309	345	420	56	552	560	669
4	40	50	53	39	320	353	437	57	566	571	676
5	50	60	60	40	330	362	452	58	578	583	683
6	55	65	70	41	340	372	469	59	592	594	692
7	62	70	77	42	351	382	483	60	602	605	703
8	72	75	85	43	362	395	500	61	615	615	711
9	77	83	91	44	373	407	514	62	627	629	
10	82	90	96	45	388	420	528	63	639	639	
11	88	99	110	46	400	433	542	64	651	648	
12	93	104	116	47	414	446	557	65	663	660	
13	102	110	123	48	430	460	570	66	674	670	
14	107	116	129	49	445	474	584	67	685	680	
15	111	123	136	50	462	484	596	68	697	691	
16	117	130	142	51	476	498	608	69	707	704	
17	123	140	149	52	492	510	622				
18	132	147	157								
19	138	155	164								
20	144	170	176								
21	151	175	186								
22	158	185	196								
23	164	195	204								
24	174	207	217								
25	185	216	224								
26	195	225	233								
27	206	235	244								
28	213	244	252								
29	223	252	270								
30	237	263	285								
31	246	272	303								
32	255	286	320								
33	263	296	336								
34	273	306	355								

PENETRACIÓN vs. N° de GOLPES

$y = 10,287x - 43,656$
 $R^2 = 0,9796$

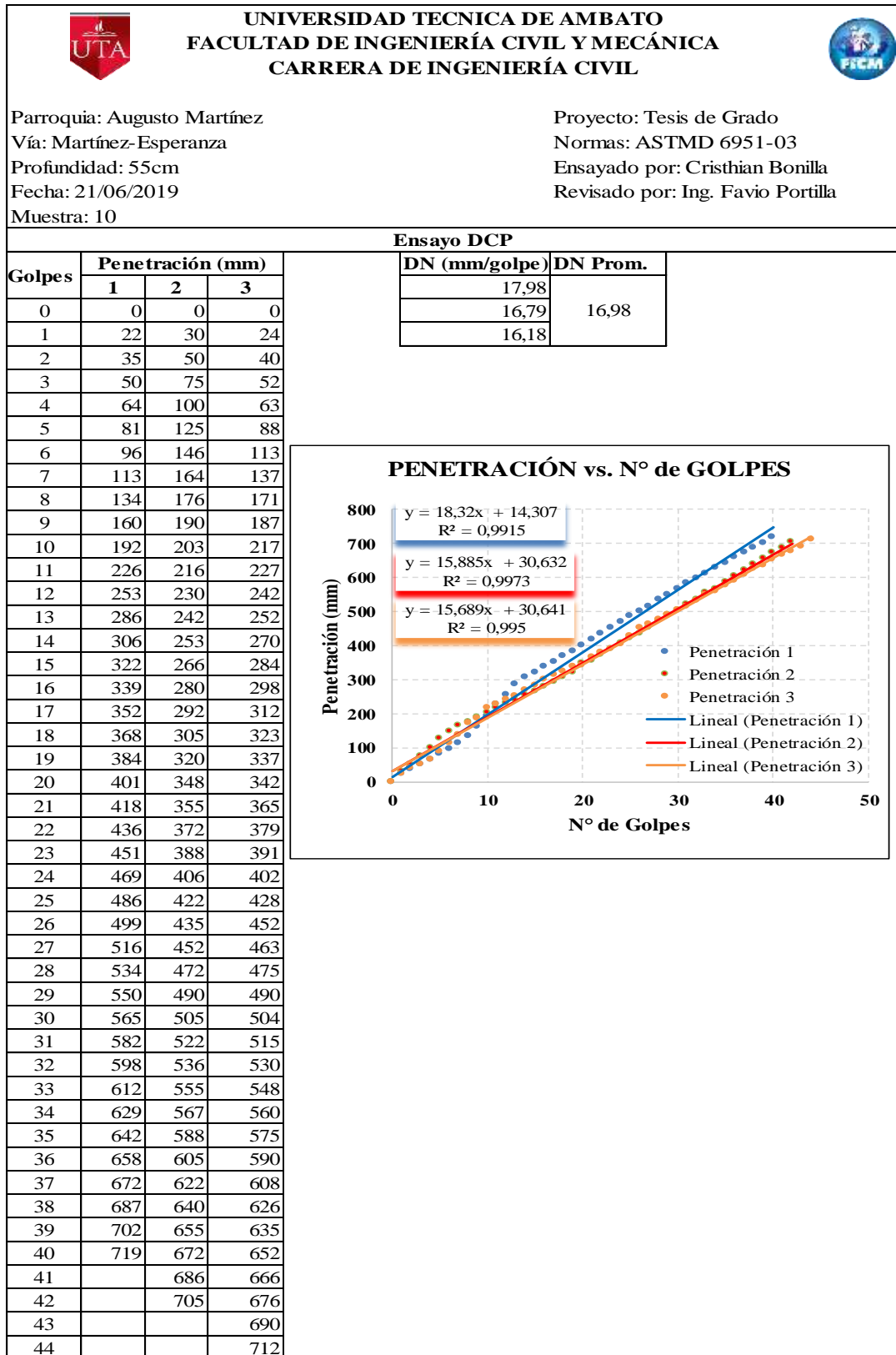
$y = 10,19x - 22,714$
 $R^2 = 0,9921$

$y = 12,216x - 37,538$
 $R^2 = 0,9841$

Legend:
 ● Penetración 1
 ● Penetración 2
 ● Penetración 3
 — Lineal (Penetración 1)
 — Lineal (Penetración 2)
 — Lineal (Penetración 3)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 60. DCP Muestra N°10



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 61. DCP Muestra N°11

Golpes		Penetración (mm)			Ensayo DCP	
		1	2	3	DN (mm/golpe)	DN Prom.
0	0	0	0	21,36	20,66	
1	25	22	23,5	20,00		
2	46	35	40,5	20,62		
3	70	50	60			
4	92	65	78,5			
5	115	84	99,5			
6	142	105	123,5			
7	160	125	142,5			
8	178	141	159,5			
9	196	165	180,5			
10	214	188	201			
11	233	207	220			
12	250	232	241			
13	270	253	261,5			
14	290	276	283			
15	310	303	306,5			
16	330	328	329			
17	350	355	352,5			
18	373	383	378			
19	398	410	404			
20	423	438	430,5			
21	450	468	459			
22	478	500	489			
23	510	532	521			
24	545	554	549,5			
25	575	574	574,5			
26	610	592	601			
27	646	608	627			
28	655	625	640			
29	668	645	656,5			
30	675	653	664			
31	688	664	676			
32	699	674	686,5			
33	705	683	694			
34		695	701			
35		700				

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Parroquia: Atahualpa
 Vía: Atahualpa-El Pisque
 Profundidad: 80cm
 Fecha: 21/06/2019
 Muestra: 11

Proyecto: Tesis de Grado
 Normas: ASTM D 6951-03
 Ensayado por: Cristhian Bonilla
 Revisado por: Ing. Favio Portilla

ENSAJO DCP

DN (mm/golpe)	DN Prom.
21,36	20,66
20,00	
20,62	



PENETRACIÓN vs. N° de GOLPES

$y = 22,492x - 7,3311$
 $R^2 = 0,9932$
 $y = 22,196x - 18,09$
 $R^2 = 0,9904$
 $y = 22,372x - 13,069$
 $R^2 = 0,9936$

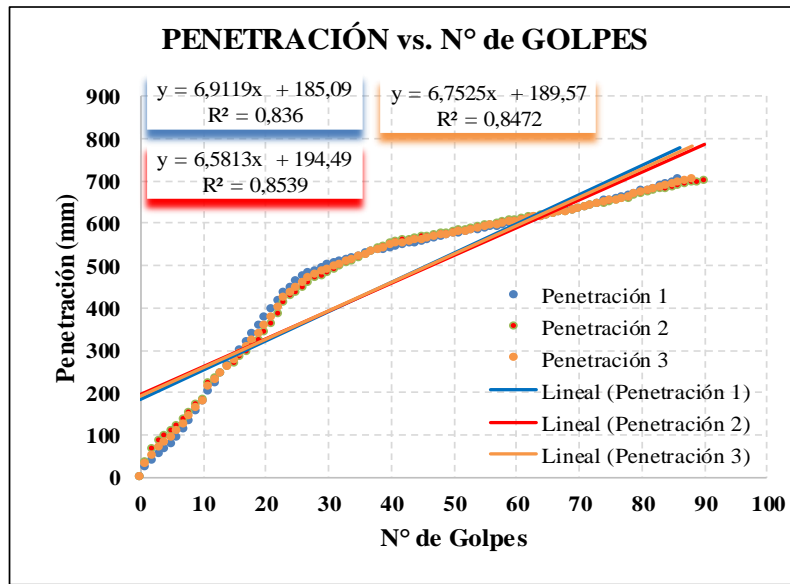
• Penetración 1
 • Penetración 2
 • Penetración 3
 — Lineal (Penetración 1)
 — Lineal (Penetración 2)
 — Lineal (Penetración 3)

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 62. DCP Muestra N°12

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  </div>											
Parroquia: Atahualpa Vía: Atahualpa-El Pisque Profundidad: 60cm Fecha: 21/06/2019 Muestra: 12						Proyecto: Tesis de Grado Normas: ASTM D 6951-03 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla					
Ensayo DCP											
Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)			Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
0	0	0	0	35	522	515	519	70	634	633	634
1	23	35	29	36	527	523	525	71	637	636	637
2	38	63	51	37	531	530	531	72	641	640	641
3	52	83	68	38	534	538	536	73	645	643	644
4	64	95	80	39	537	545	541	74	651	645	648
5	75	109	92	40	541	552	547	75	654	648	651
6	92	120	106	41	543	556	550	76	657	651	654
7	112	134	123	42	547	558	553	77	661	655	658
8	132	150	141	43	550	560	555	78	665	658	662
9	153	169	161	44	553	563	558	79	670	665	668
10	177	180	179	45	556	565	561	80	674	668	671
11	200	222	211	46	559	568	564	81	677	673	675
12	222	233	228	47	562	570	566	82	681	677	679
13	243	244	244	48	565	573	569	83	686	679	683
14	263	258	261	49	570	575	573	84	692	681	687
15	280	269	275	50	573	578	576	85	697	685	691
16	298	283	291	51	575	581	578	86	702	688	695
17	318	295	307	52	578	583	581	87		691	699
18	337	309	323	53	581	586	584	88		695	703
19	356	320	338	54	583	589	586	89		697	
20	375	342	359	55	586	593	590	90		700	
21	395	361	378	56	589	596	593				
22	415	384	400	57	592	598	595				
23	433	412	423	58	595	601	598				
24	446	425	436	59	597	604	601				
25	460	436	448	60	600	607	604				
26	472	447	460	61	603	611	607				
27	480	458	469	62	606	613	610				
28	487	468	478	63	609	615	612				
29	494	475	485	64	614	617	616				
30	499	482	491	65	618	619	619				
31	504	488	496	66	622	622	622				
32	509	495	502	67	625	624	625				
33	513	503	508	68	628	626	627				
34	517	510	514	69	631	630	631				



DN (mm/golpe)	DN Prom.
8,16	7,98
7,78	
7,99	



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



TABLAS DE ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO

Tabla 63. Densidad de Campo Muestra N°1

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Parroquia: Atahualpa	Proyecto: Tesis de Grado
Vía: El Pisque-La Merced	Normas: AASHTO T 191 2014
Profundidad: 70cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla
Fecha: 20/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla
Muestra: 1	
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)	
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa	
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	930
Peso de la funda (gr)	7.5
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	922.5
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa	
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6345
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5225
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356
Peso arena en la perforación	764
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582
Volumen de la Perforación del suelo V_m	482.93
3. Determinación del Contenido de Humedad	
Recipiente número	80 70 71
Peso húmedo + recipiente	148.3 170.3 156.4
Peso seco + recipiente	124.4 147.1 130.8
Peso recipiente W_r	30.9 57.6 30.6
Peso del agua W_w	23.90 23.20 25.60
Peso de los sólidos W_s	93.50 89.50 100.20
Contenido de humedad w% (W_w/W_s)*100	25.56% 25.92% 25.55%
Contenido de humedad promedio Pw%	25.68
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)	
1.910	
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)	
1.520	
6. Determinación de relación de vacíos (e)	
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	35.28
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	26.18
Relación de vacíos (e)	0.74
7. Determinación de la porosidad (n%)	
42.59%	
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)	
91.30%	
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)	
8.70%	



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 64. Densidad de Campo Muestra N°2

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Parroquia: Atahualpa	Proyecto: Tesis de Grado
Vía: El Pisque-La Merced	Normas: AASHTO T 191 2014
Profundidad: 70cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla
Fecha: 20/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla
Muestra: 2	
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)	
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa	
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	910
Peso de la funda (gr)	7.5
Peso de la masa del suelo (gr) Wm	902.5
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa	
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6330
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5020
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356
Peso arena en la perforación	954
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582
Volumen de la Perforación del suelo Vm	603.03
3. Determinación del Contenido de Humedad	
Recipiente número	12 29 69
Peso húmedo + recipiente	129.7 145.9 132.8
Peso seco + recipiente	122.4 137.7 125.7
Peso recipiente Wr	25.3 26.6 30.7
Peso del agua Ww	7.30 8.20 7.10
Peso de los sólidos Ws	97.10 111.10 95.00
Contenido de humedad w% (Ww/Ws)*100	7.52% 7.38% 7.47%
Contenido de humedad promedio Pw%	7.457481647
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)	
	1.497
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)	
	1.393
6. Determinación de relación de vacíos (e)	
Volumen del Sólido Vs (cm ³)	36.64
Volumen de vacíos Vv (cm ³)	33.12
Relación de vacíos (e)	0.90
7. Determinación de la porosidad (n%)	
	47.47%
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)	
	22.04%
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)	
	77.96%



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 65. Densidad de Campo Muestra N°3

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Atahualpa	Proyecto: Tesis de Grado		
Vía: Sta Fé-Sta Teresita	Normas: AASHTO T 191 2014		
Profundidad: 80cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla		
Fecha: 20/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
Muestra: 3			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	670		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	662.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5445		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	509		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo V_m	321.74		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	66	67	46
Peso húmedo + recipiente	87.8	81.9	84.5
Peso seco + recipiente	78	73.1	74.2
Peso recipiente W_r	30.7	30.2	24
Peso del agua W_w	9.80	8.80	10.30
Peso de los sólidos W_s	47.30	42.90	50.20
Contenido de humedad w% (W_w/W_s)*100	20.72%	20.51%	20.52%
Contenido de humedad promedio P_w %	20.58		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
2.059			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.708			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	17.85		
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	9.88		
Relación de vacíos (e)	0.55		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
35.63%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
99.17%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
0.83%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 66. Densidad de Campo Muestra N°4

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Atahualpa	Proyecto: Tesis de Grado		
Vía: Sta Fé-Sta Teresita	Normas: AASHTO T 191 2014		
Profundidad: 1m	Ensayado por: Cristhian Bonilla		
Fecha: 24/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
Muestra: 4			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	950		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) Wm	942.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5220		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	734		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo Vm	463.97		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	80	78	65
Peso húmedo + recipiente	86.8	84.6	88
Peso seco + recipiente	78.1	76	79.1
Peso recipiente Wr	30.8	30.7	31.1
Peso del agua Ww	8.70	8.60	8.90
Peso de los sólidos Ws	47.30	45.30	48.00
Contenido de humedad w% (Ww/Ws)*100	18.39%	18.98%	18.54%
Contenido de humedad promedio Pw%	18.64		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo ym (gr/cm3)			
2.031			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo yd (gr/cm3)			
1.712			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido Vs (cm3)	17.85		
Volumen de vacíos Vv (cm3)	9.72		
Relación de vacíos (e)	0.54		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
35.25%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
89.52%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
10.48%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 67. Densidad de Campo Muestra N°5

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Parroquia: Augusto Martínez	Proyecto: Tesis de Grado
Vía: San Pedro-Chaupi	Normas: AASHTO T 191 2014
Profundidad: 60cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla
Fecha: 24/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla
Muestra: 5	
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)	
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa	
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	645
Peso de la funda (gr)	7.5
Peso de la masa del suelo (gr) Wm	637.5
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa	
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5445
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356
Peso arena en la perforación	509
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582
Volumen de la Perforación del suelo Vm	321.74
3. Determinación del Contenido de Humedad	
Recipiente número	12 71 21
Peso húmedo + recipiente	83.7 83.2 78.5
Peso seco + recipiente	74.7 74 70.7
Peso recipiente Wr	25.1 30.4 27.6
Peso del agua Ww	9.00 9.20 7.80
Peso de los sólidos Ws	49.60 43.60 43.10
Contenido de humedad w% (Ww/Ws)*100	18.15% 21.10% 18.10%
Contenido de humedad promedio Pw%	19.11
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)	
1.981	
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)	
1.663	
6. Determinación de relación de vacíos (e)	
Volumen del Sólido Vs (cm ³)	18.72
Volumen de vacíos Vv (cm ³)	10.86
Relación de vacíos (e)	0.58
7. Determinación de la porosidad (n%)	
36.71%	
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)	
82.89%	
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)	
17.11%	



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 68. Densidad de Campo Muestra N°6

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Augusto Martínez	Proyecto: Tesis de Grado		
Vía: San Pedro-Chaupi	Normas: AASHTO T 191 2014		
Profundidad: 60cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla		
Fecha: 24/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
Muestra: 6			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	705		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	697.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5320		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	634		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo V_m	400.76		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	59	16	2
Peso húmedo + recipiente	85.5	75.6	74.7
Peso seco + recipiente	80.2	70.6	69.8
Peso recipiente W_r	30.7	24.2	23.9
Peso del agua W_w	5.30	5.00	4.90
Peso de los sólidos W_s	49.50	46.40	45.90
Contenido de humedad $w\%$ (W_w/W_s)*100	10.71%	10.78%	10.68%
Contenido de humedad promedio $P_w\%$	10.72		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
1.740			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.572			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	18.68		
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	12.81		
Relación de vacíos (e)	0.69		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
40.67%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (G_w %)			
41.38%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (G_a %)			
58.62%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 69. Densidad de Campo Muestra N°7

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Augusto Martínez	Proyecto: Tesis de Grado		
Vía: Esperanza-San Pedro	Normas: AASHTO T 191 2014		
Profundidad: 75cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla		
Fecha: 24/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
Muestra: 7			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	710		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	702.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5325		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	629		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo V_m	397.60		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	31	41	3
Peso húmedo + recipiente	71.2	82.8	79.5
Peso seco + recipiente	66.4	77.7	74.1
Peso recipiente W_r	24.5	30.9	26.8
Peso del agua W_w	4.80	5.10	5.40
Peso de los sólidos W_s	41.90	46.80	47.30
Contenido de humedad w% $(W_w/W_s)*100$	11.46%	10.90%	11.42%
Contenido de humedad promedio $P_w\%$	11.26		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
1.767			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.588			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	15.81		
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	10.62		
Relación de vacíos (e)	0.67		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
40.18%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
45.20%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
54.80%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 70. Densidad de Campo Muestra N°8

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Augusto Martínez		Proyecto: Tesis de Grado	
Vía: San Pedro-Chaupi		Normas: AASHTO T 191 2014	
Profundidad: 90cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla	
Fecha: 25/06/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla	
Muestra: 8			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	840		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	832.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5155		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	799		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo V_m	505.06		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	21	2	12
Peso húmedo + recipiente	87.9	81.5	88.8
Peso seco + recipiente	81	74.9	81.8
Peso recipiente W_r	27.6	23.9	25.1
Peso del agua W_w	6.90	6.60	7.00
Peso de los sólidos W_s	53.40	51.00	56.70
Contenido de humedad w% (W_w/W_s)*100	12.92%	12.94%	12.35%
Contenido de humedad promedio P_w %	12.74		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
1.648			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.462			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	20.15		
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	16.43		
Relación de vacíos (e)	0.82		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
44.92%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
41.99%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
58.01%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 71. Densidad de Campo Muestra N°9

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Augusto Martínez	Proyecto: Tesis de Grado		
Vía: Martínez-Esperanza	Normas: AASHTO T 191 2014		
Profundidad: 90cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla		
Fecha: 25/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
Muestra: 9			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	830		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	822.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5210		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	744		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo V_m	470.29		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	3	31	16
Peso húmedo + recipiente	95.1	94.4	96.6
Peso seco + recipiente	85.8	84.9	86.8
Peso recipiente W_r	26.8	24.5	24.2
Peso del agua W_w	9.30	9.50	9.80
Peso de los sólidos W_s	59.00	60.40	62.60
Contenido de humedad w% (W_w/W_s)*100	15.76%	15.73%	15.65%
Contenido de humedad promedio P_w %	15.72		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
1.749			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.511			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	22.26		
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	16.79		
Relación de vacíos (e)	0.75		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
42.99%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
55.39%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
44.61%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 72. Densidad de Campo Muestra N°10

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Parroquia: Augusto Martínez		Proyecto: Tesis de Grado	
Vía: Martínez-Esperanza		Normas: ASTM D 6951-03	
Profundidad: 55cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla	
Fecha: 21/06/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla	
Muestra: 10			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	740		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	732.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5245		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	709		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo V_m	448.17		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	59	78	71
Peso húmedo + recipiente	91.3	88.8	97.2
Peso seco + recipiente	84.3	82.1	89.5
Peso recipiente W_r	30.7	30.7	30.4
Peso del agua W_w	7.00	6.70	7.70
Peso de los sólidos W_s	53.60	51.40	59.10
Contenido de humedad w% (W_w/W_s)*100	13.06%	13.04%	13.03%
Contenido de humedad promedio P_w %	13.04		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
1.634			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.446			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	20.23		
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	16.85		
Relación de vacíos (e)	0.83		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
45.45%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
41.54%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
58.46%			



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 73. Densidad de Campo Muestra N°11

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Parroquia: Atahualpa	Proyecto: Tesis de Grado
Vía: Atahualpa-El Pisque	Normas: AASHTO T 191 2014
Profundidad: 80cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla
Fecha: 25/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla
Muestra: 11	
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)	
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa	
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	800
Peso de la funda (gr)	7.5
Peso de la masa del suelo (gr) W_m	792.5
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa	
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5235
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356
Peso arena en la perforación	719
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582
Volumen de la Perforación del suelo V_m	454.49
3. Determinación del Contenido de Humedad	
Recipiente número	67 46 66
Peso húmedo + recipiente	89.7 86.9 88
Peso seco + recipiente	84.1 81 82.5
Peso recipiente W_r	30.2 24 30.7
Peso del agua W_w	5.60 5.90 5.50
Peso de los sólidos W_s	53.90 57.00 51.80
Contenido de humedad w% $(W_w/W_s)*100$	10.39% 10.35% 10.62%
Contenido de humedad promedio $P_w\%$	10.45
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)	
1.744	
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)	
1.579	
6. Determinación de relación de vacíos (e)	
Volumen del Sólido V_s (cm ³)	20.34
Volumen de vacíos V_v (cm ³)	13.78
Relación de vacíos (e)	0.68
7. Determinación de la porosidad (n%)	
40.39%	
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)	
40.63%	
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)	
59.37%	

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Tabla 74. Densidad de Campo Muestra N°12

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Parroquia: Atahualpa	Proyecto: Tesis de Grado		
Vía: Atahualpa-El Pisque	Normas: AASHTO T 191 2014		
Profundidad: 60cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla		
Fecha: 25/06/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
Muestra: 12			
DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
1. Determinación del peso del suelo extraído o Peso de la masa			
Peso de la masa del suelo + funda (gr)	745		
Peso de la funda (gr)	7.5		
Peso de la masa del suelo (gr) Wm	737.5		
2. Determinación del volumen de la perforación en el suelo o volumen de la masa			
Peso inicial frasco + cono + arena (gr)	6310		
Peso final frasco + cono + arena (gr)	5320		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	356		
Peso arena en la perforación	634		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración Arena)	1.582		
Volumen de la Perforación del suelo Vm	400.76		
3. Determinación del Contenido de Humedad			
Recipiente número	41	65	80
Peso húmedo + recipiente	87.5	91.9	85.4
Peso seco + recipiente	77.2	80.8	75.3
Peso recipiente Wr	30.9	31.1	30.8
Peso del agua Ww	10.30	11.10	10.10
Peso de los sólidos Ws	46.30	49.70	44.50
Contenido de humedad w% (Ww/Ws)*100	22.25%	22.33%	22.70%
Contenido de humedad promedio Pw%	22.43		
4. Determinación del peso volumétrico de la masa del suelo γ_m (gr/cm³)			
1.840			
5. Determinación del peso volumétrico de la masa seca del suelo γ_d (gr/cm³)			
1.503			
6. Determinación de relación de vacíos (e)			
Volumen del Sólido Vs (cm ³)	17.47		
Volumen de vacíos Vv (cm ³)	13.28		
Relación de vacíos (e)	0.76		
7. Determinación de la porosidad (n%)			
43.19%			
8. Determinación del grado de saturación del Agua (Gw %)			
77.53%			
9. Determinación del grado de saturación del Aire (Ga %)			
22.47%			

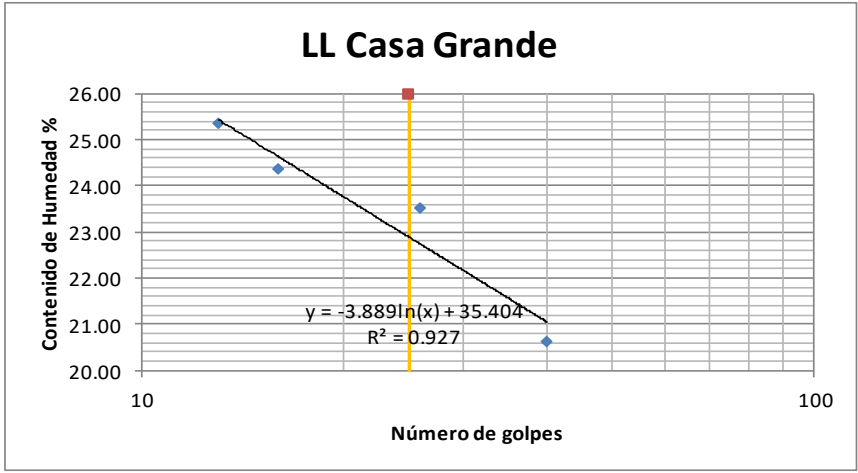
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

TABLAS DE ENSAYOS DE LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 75. Límite Líquido N°1

	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Parroquia: Atahualpa Vía: El Pisque-La Merced Profundidad: 70cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 1	Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 89 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla							
ENSAYO LIMITE LIQUIDO COPA CASAGRANDE								
Número de recipiente	6	8	15	36	62	67	18	28
Peso de la muestra húmeda + recipiente	19.8	20.5	21.2	20.3	19.1	18.4	19.9	17.4
Peso de la muestra seca + recipiente	18	18.6	19.3	18.5	17.7	17.2	18.3	16.2
Peso recipiente	10.9	11.1	11.4	11.2	11	11.3	11.5	11.1
Peso del agua	1.8	1.9	1.9	1.8	1.4	1.2	1.6	1.2
Peso de los sólidos	7.1	7.5	7.9	7.3	6.7	5.9	6.8	5.1
Contenido de humedad w%	25.35	25.33	24.05	24.66	20.90	20.34	23.53	23.53
Promedio del contenido de humedad	25.34		24.35		20.62		23.53	
Número de golpes	13		16		40		26	
Límite Líquido (LL)	23							

Numero de golpes		25
Limite Liquido Ll%		23



LL Casa Grande

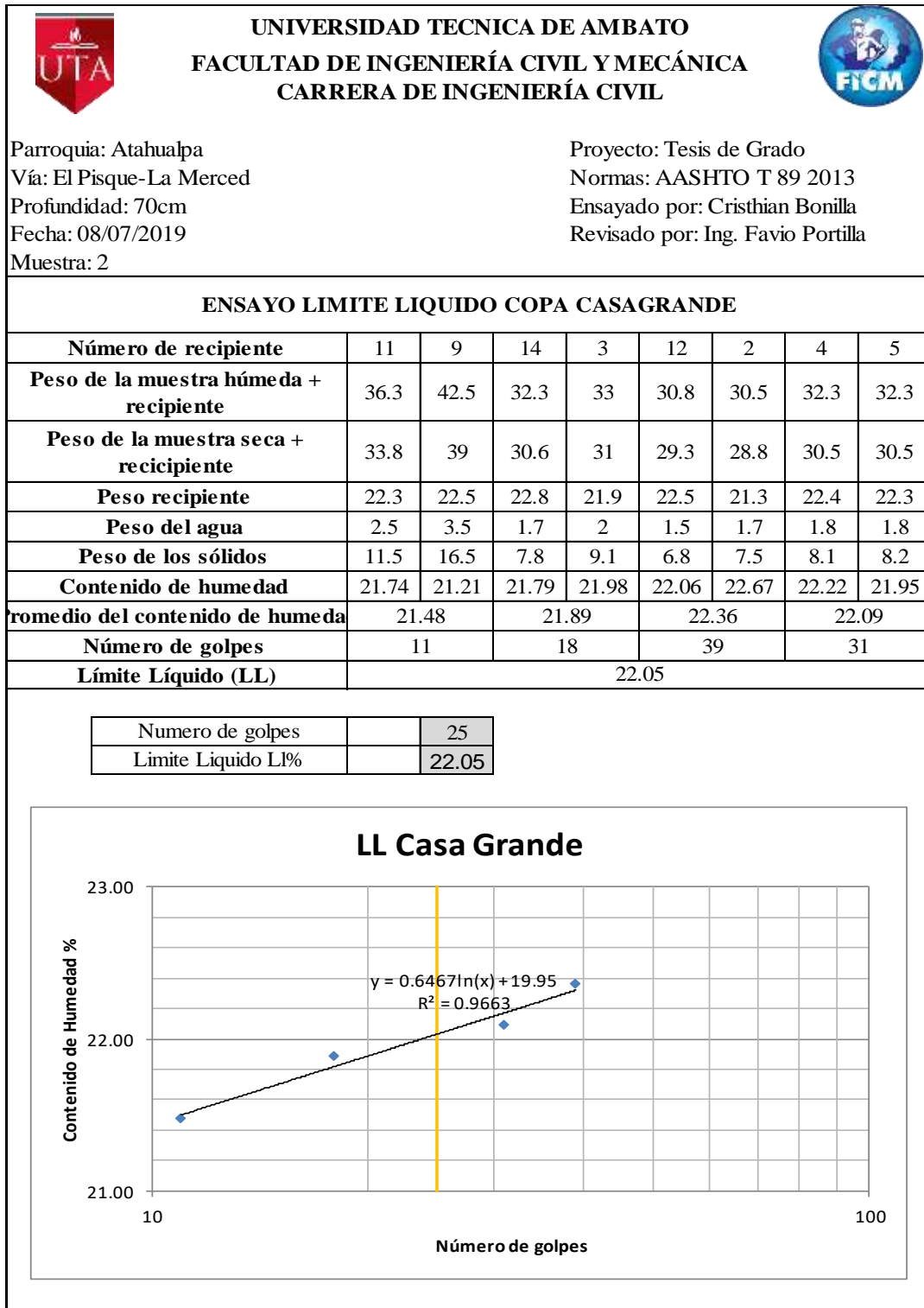
Contenido de Humedad %

Número de golpes

$y = -3.889 \ln(x) + 35.404$
 $R^2 = 0.927$

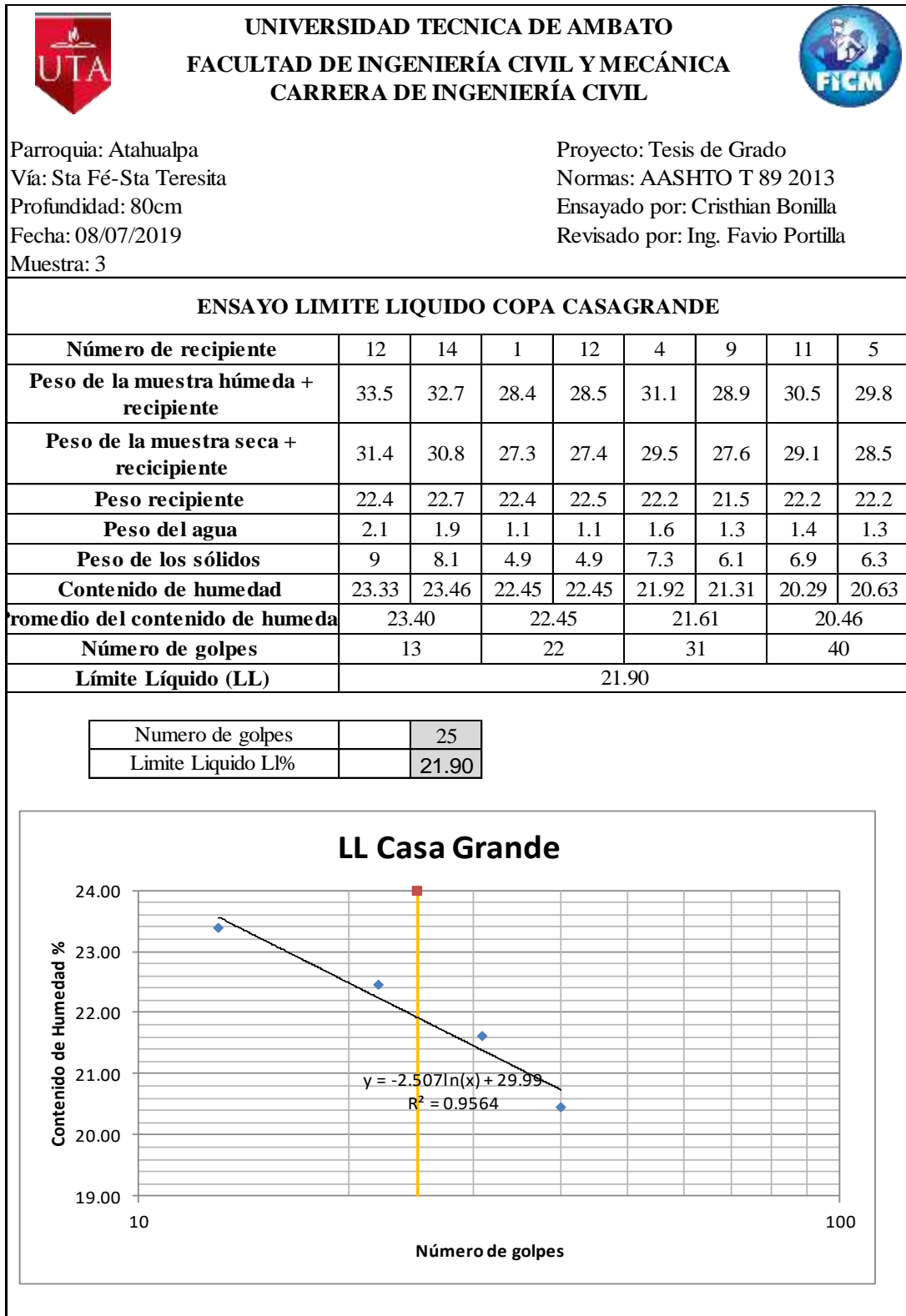
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 76. Límite Líquido N°2



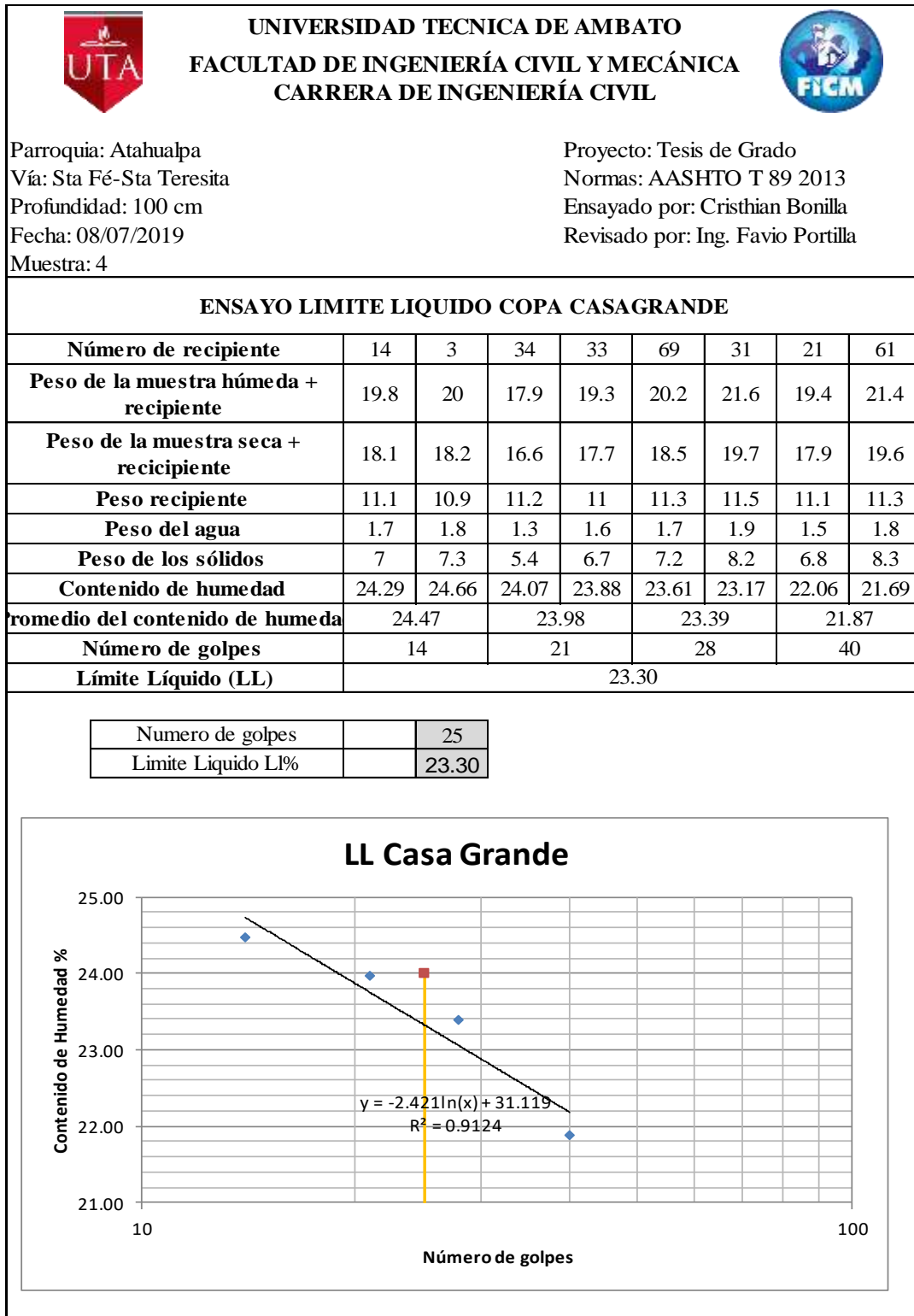
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 77. Límite Líquido N°3



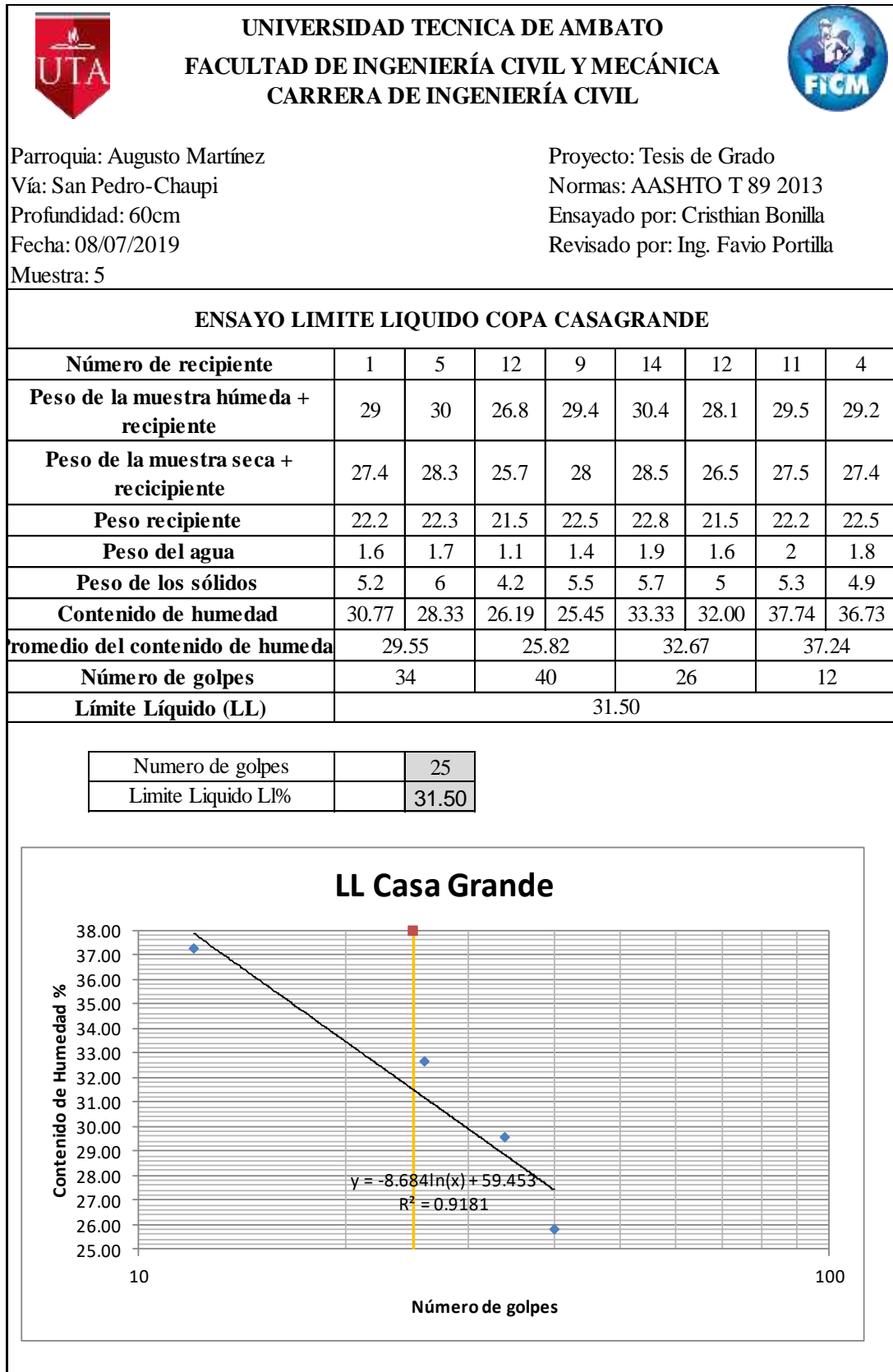
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 78. Límite Líquido N°4



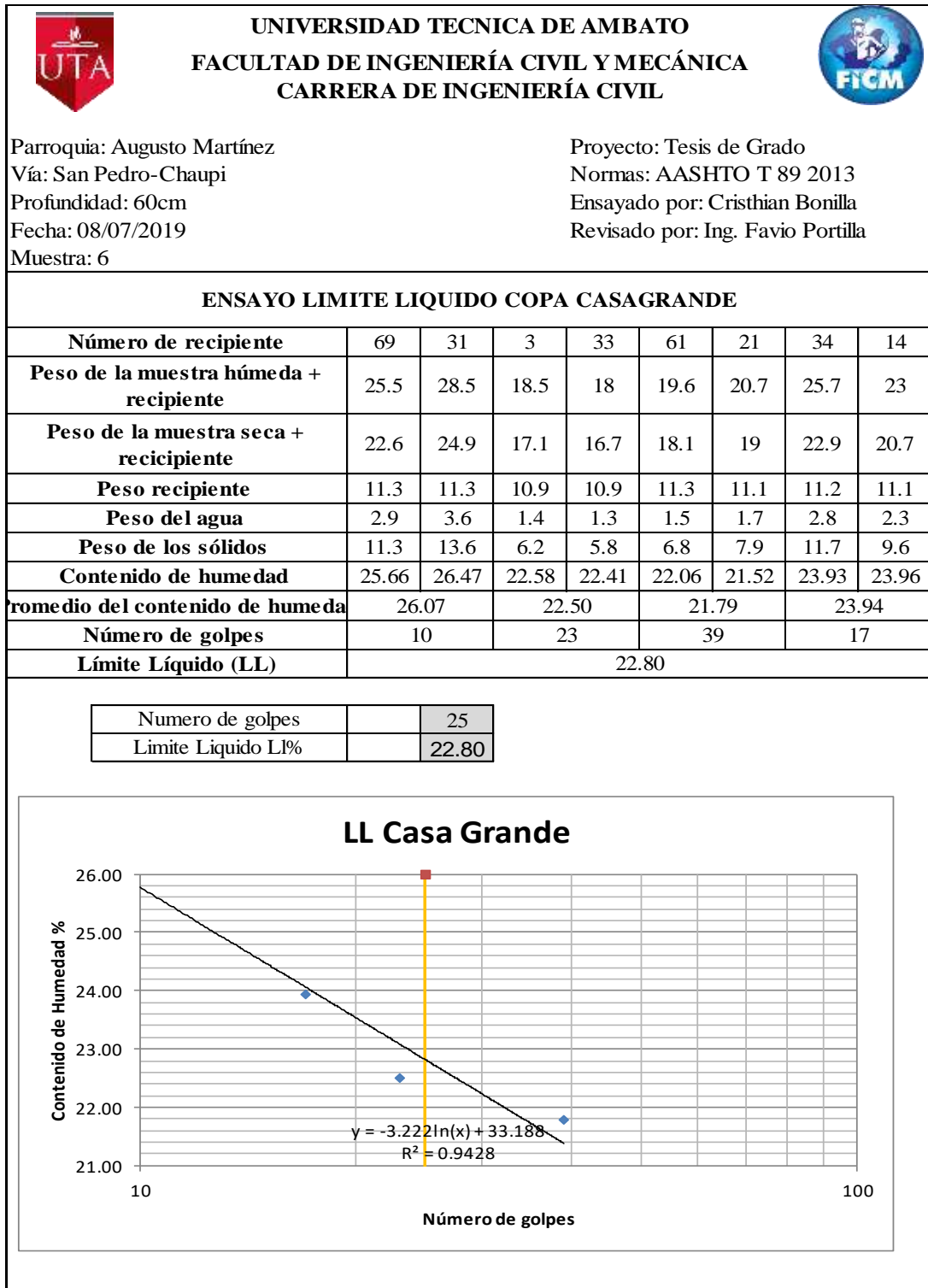
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 79. Límite Líquido N°5



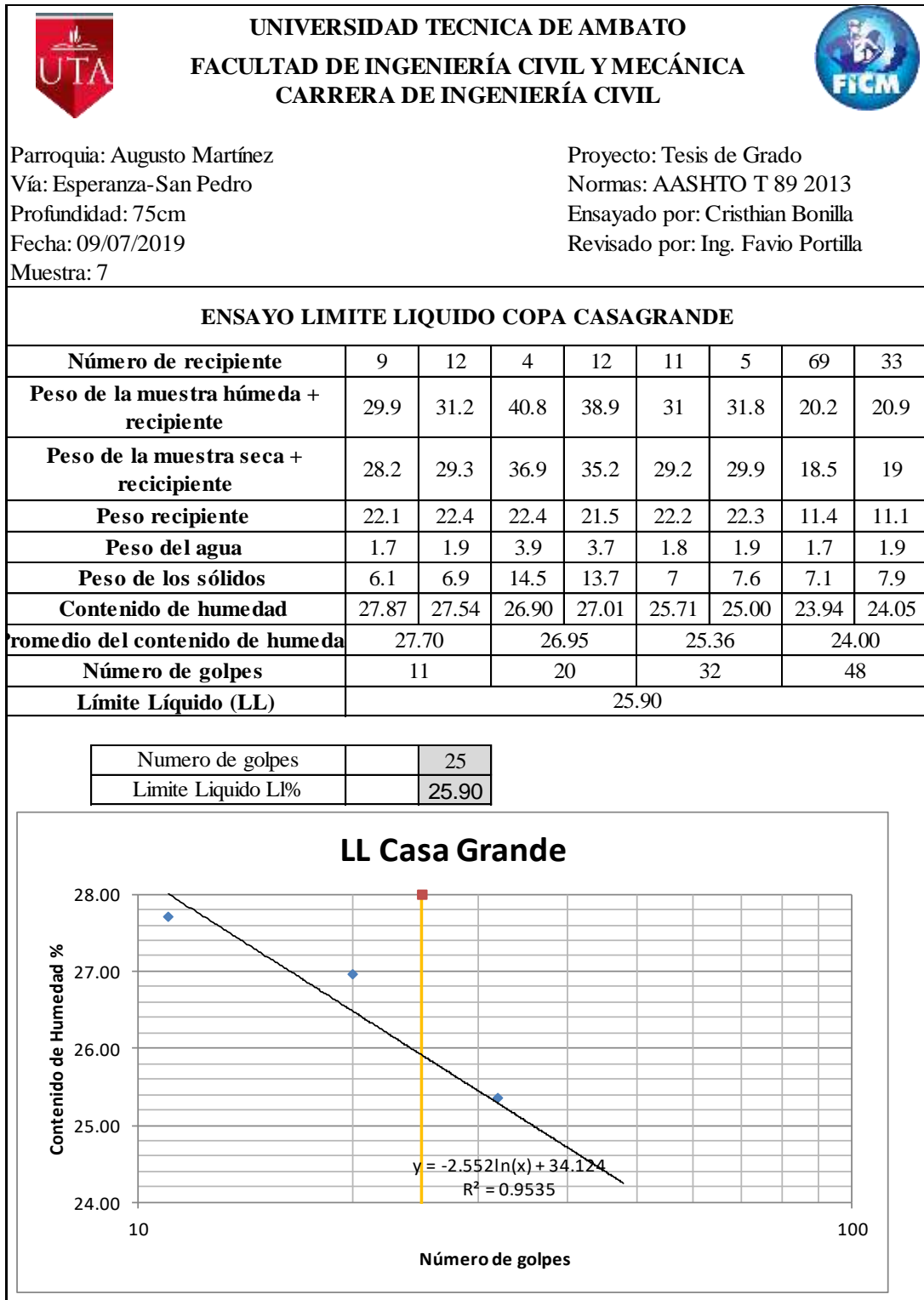
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 80. Límite Líquido N°6



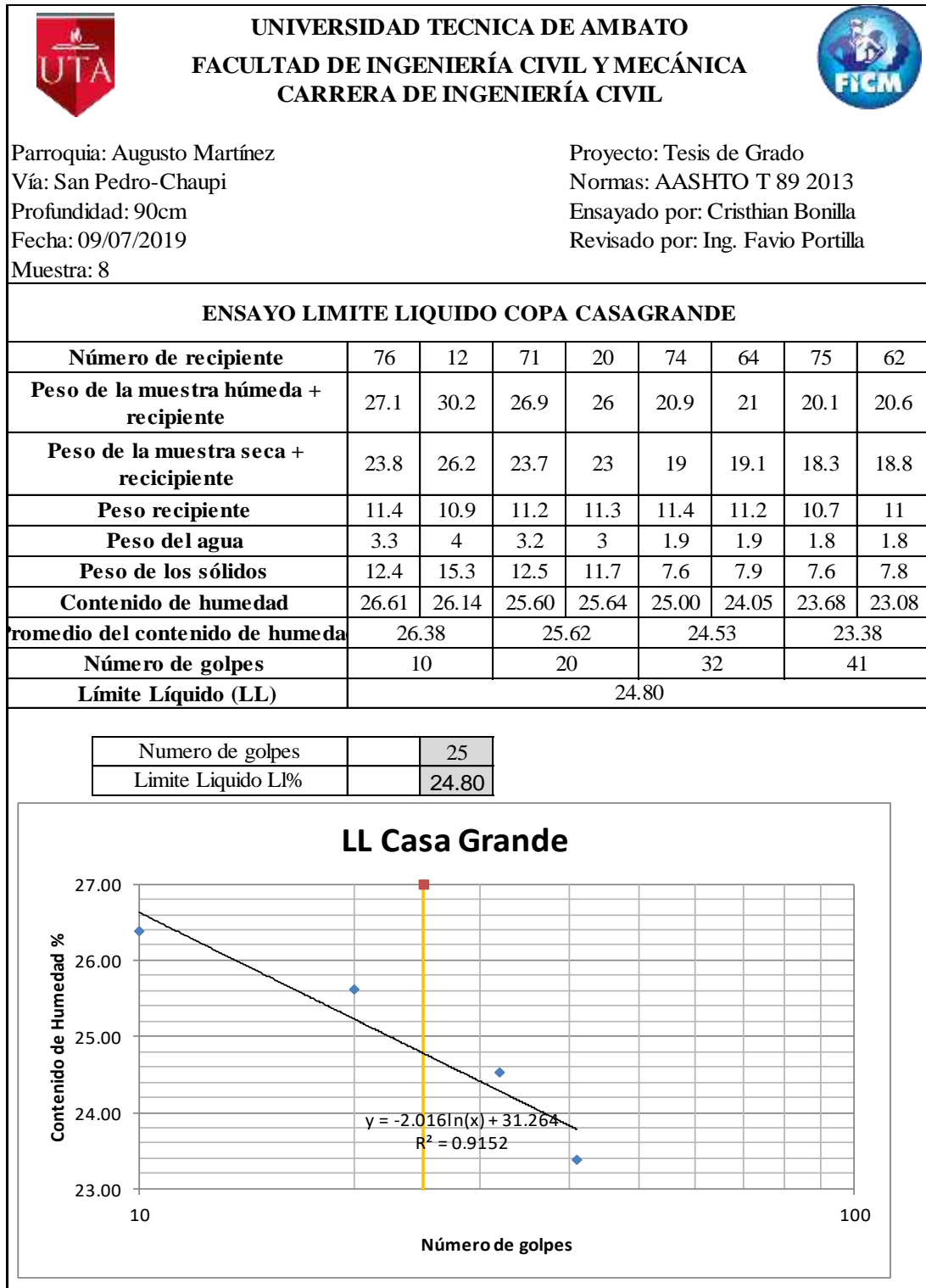
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 81. Límite Líquido N°7



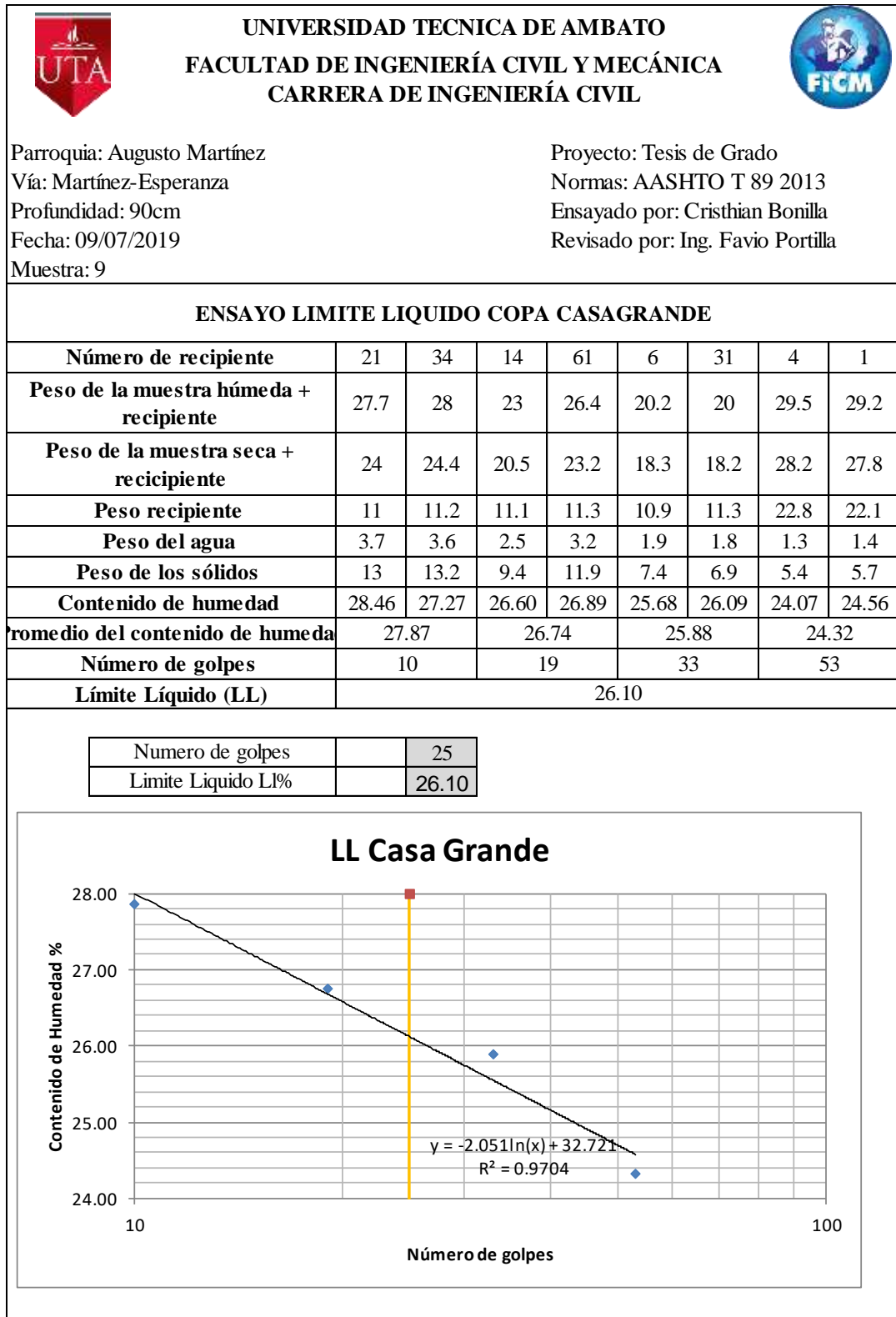
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 82. Límite Líquido N°8



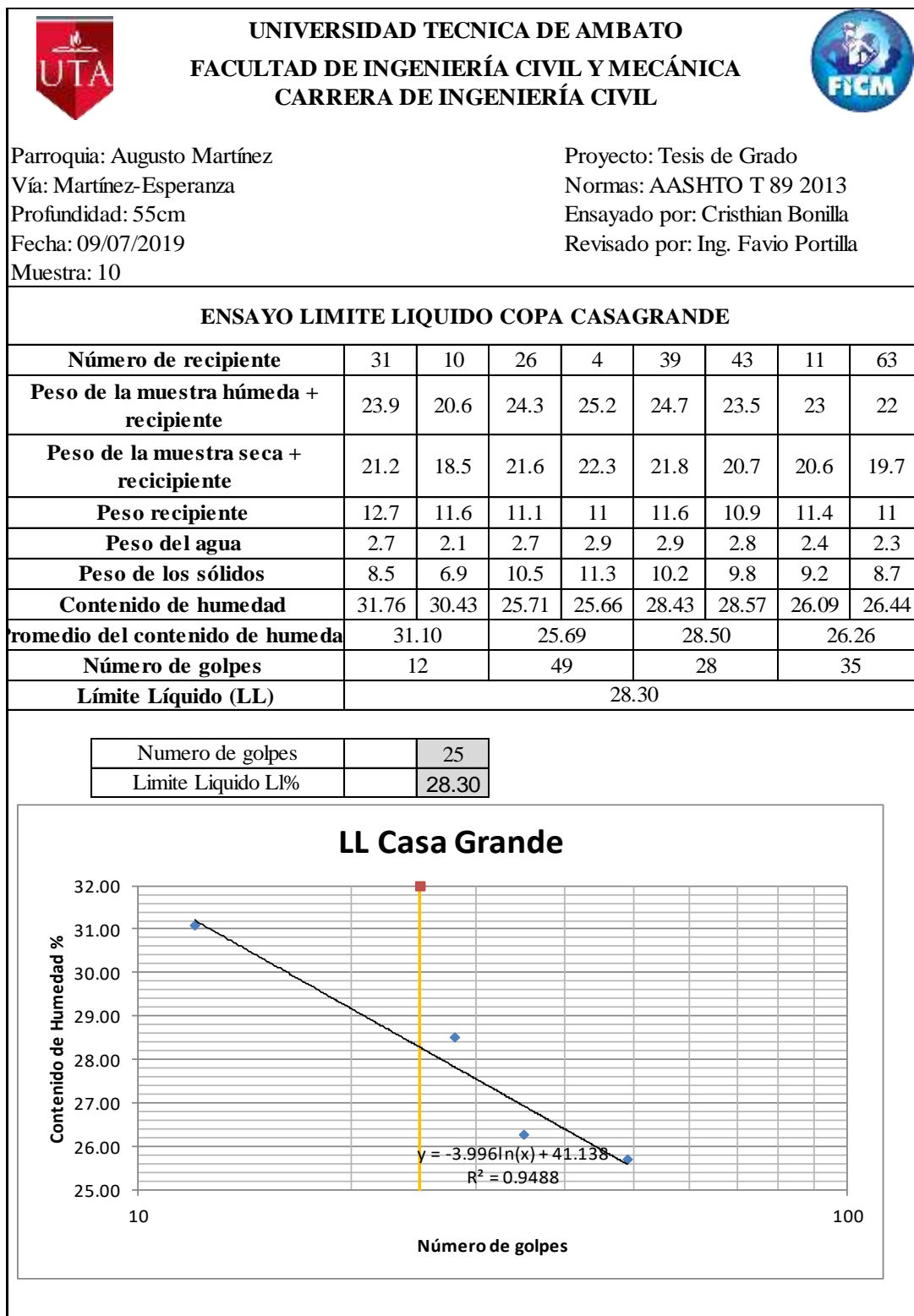
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 83. Límite Líquido N°9



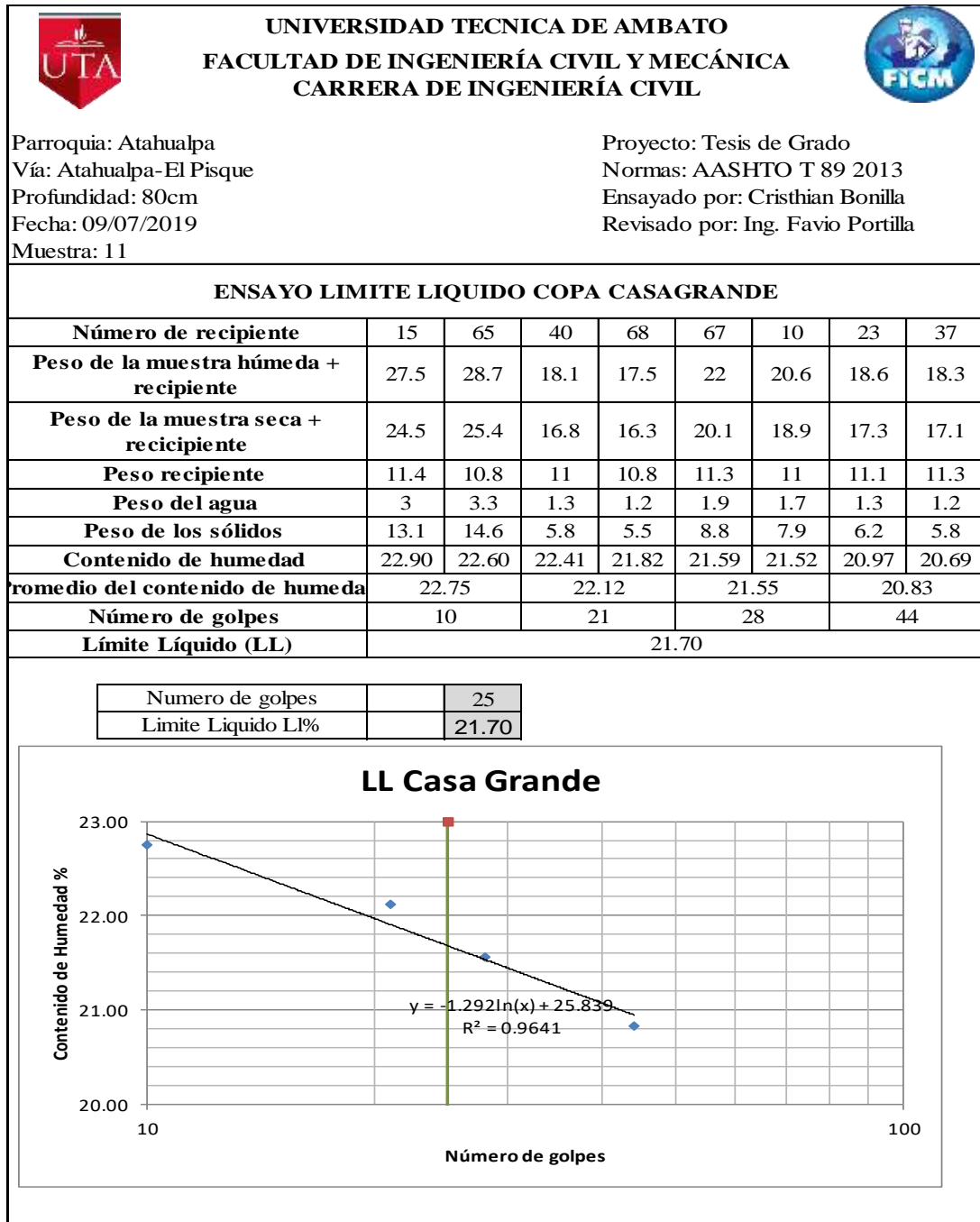
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 84. Límite Líquido N°10



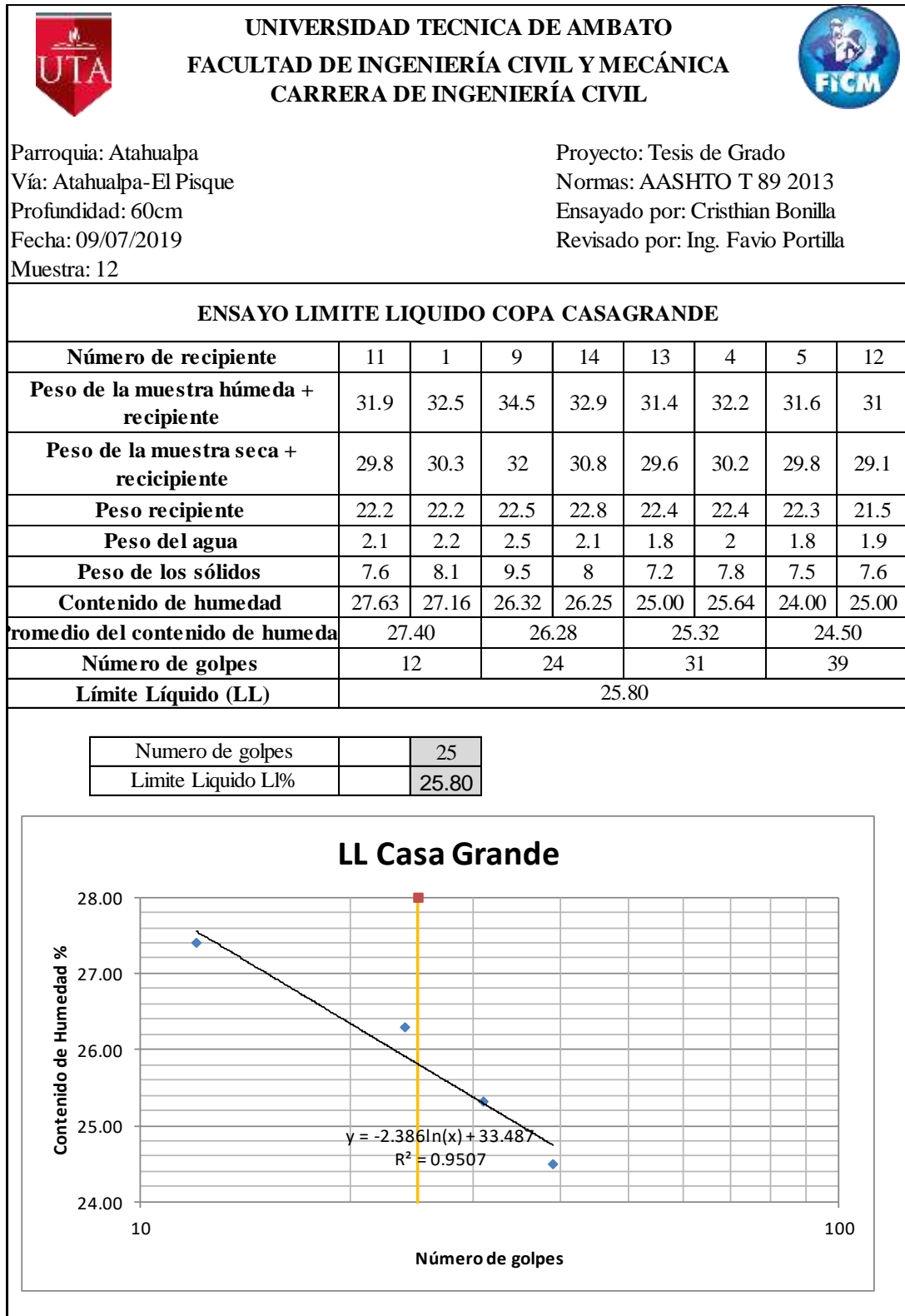
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 85. Límite Líquido N°11



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Tabla 86. Límite Líquido N°12



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



TABLAS DE ENSAYOS LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 87. Límite Plástico N°1

	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Parroquia: Atahualpa Vía: El Pisque-La Merced Profundidad: 70cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 1		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla											
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	10	1	63	73	6								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	9.30	7.50	7.80	12.70	8.90								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	8.90	7.20	7.50	12.40	8.60								
Peso del agua (Ww)	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30								
Peso del recipiente (Wrecip)	7.40	5.90	6.10	10.60	7.40								
Peso de muestra seca (Ws)	1.50	1.30	1.40	1.80	1.20								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	26.67	23.08	21.43	16.67	25.00								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	22.57												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: center;">22.90</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: center;">22.57</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">0.33</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: center;">9.36</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	22.90	LIMITE PLASTICO Lp%	22.57	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.33	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	9.36
LIMITE LIQUIDO LI%	22.90												
LIMITE PLASTICO Lp%	22.57												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.33												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	9.36												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 88. Límite Plástico N°2

	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Parroquia: Atahualpa Vía: El Pisque-La Merced Profundidad: 70cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 2		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla											
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	53	19	3	47	5								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	8.50	8.20	6.60	7.70	12.30								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	8.10	7.80	6.20	7.40	12.00								
Peso del agua (Ww)	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30								
Peso del recipiente (Wrecip)	6.20	5.90	4.40	6.00	10.60								
Peso de muestra seca (Ws)	1.90	1.90	1.80	1.40	1.40								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	21.05	21.05	22.22	21.43	21.43								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	21.44												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: center;">22.05</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: center;">21.44</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">0.61</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: center;">-22.80</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	22.05	LIMITE PLASTICO Lp%	21.44	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.61	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-22.80
LIMITE LIQUIDO LI%	22.05												
LIMITE PLASTICO Lp%	21.44												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.61												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-22.80												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 89. Límite Plástico N°3

		UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Parroquia: Atahualpa Vía: Sta Fé-Sta Teresita Profundidad: 80cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 3		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla												
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5									
Recipiente #	1	9	15	5	4									
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.80	11.60	11.50	11.30	11.60									
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.60	11.40	11.30	11.20	11.50									
Peso del agua (Ww)	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10									
Peso del recipiente (Wrecip)	10.70	10.70	10.60	10.50	10.80									
Peso de muestra seca (Ws)	0.90	0.70	0.70	0.70	0.70									
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	22.22	28.57	28.57	14.29	14.29									
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	21.59													
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: right;">21.90</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: right;">21.59</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: right;">0.31</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: right;">-3.21</td> </tr> </table>							LIMITE LIQUIDO LI%	21.90	LIMITE PLASTICO Lp%	21.59	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.31	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-3.21
LIMITE LIQUIDO LI%	21.90													
LIMITE PLASTICO Lp%	21.59													
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.31													
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-3.21													



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 90. Límite Plástico N°4

		UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Parroquia: Atahualpa Vía: Sta Fé-Sta Teresita Profundidad: 100 cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 4		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla												
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5									
Recipiente #	3	9	5	1	4									
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.40	12.30	11.60	11.90	12.00									
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.30	12.00	11.40	11.70	11.80									
Peso del agua (Ww)	0.10	0.30	0.20	0.20	0.20									
Peso del recipiente (Wrecip)	10.60	10.70	10.60	10.90	10.90									
Peso de muestra seca (Ws)	0.70	1.30	0.80	0.80	0.90									
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	14.29	23.08	25.00	25.00	22.22									
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	21.92													
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: right;">23.30</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: right;">21.92</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: right;">1.38</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: right;">-2.37</td> </tr> </table>							LIMITE LIQUIDO LI%	23.30	LIMITE PLASTICO Lp%	21.92	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.38	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-2.37
LIMITE LIQUIDO LI%	23.30													
LIMITE PLASTICO Lp%	21.92													
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.38													
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-2.37													



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 91. Límite Plástico N°5

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
Parroquia: Augusto Martínez Vía: San Pedro-Chaupi Profundidad: 60cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 5		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla											
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	15	9	64	27	47								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	12.10	7.10	6.90	8.60	7.50								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.80	6.80	6.80	8.30	7.20								
Peso del agua (Ww)	0.30	0.30	0.10	0.30	0.30								
Peso del recipiente (Wrecip)	10.60	6.00	6.00	7.40	6.10								
Peso de muestra seca (Ws)	1.20	0.80	0.80	0.90	1.10								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	25.00	37.50	12.50	33.33	27.27								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	27.12												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: center;">31.50</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: center;">27.12</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">4.38</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: center;">-1.83</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	31.50	LIMITE PLASTICO Lp%	27.12	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	4.38	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-1.83
LIMITE LIQUIDO LI%	31.50												
LIMITE PLASTICO Lp%	27.12												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	4.38												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-1.83												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 92. Límite Plástico N°6

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
Parroquia: Augusto Martínez Vía: San Pedro-Chaupi Profundidad: 60cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 6		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla											
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	73	16	13	7	14								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.60	11.80	11.60	11.60	11.90								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.40	11.60	11.40	11.50	11.60								
Peso del agua (Ww)	0.20	0.20	0.20	0.10	0.30								
Peso del recipiente (Wrecip)	10.50	10.70	10.50	10.50	10.60								
Peso de muestra seca (Ws)	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	22.22	22.22	22.22	10.00	30.00								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	21.33												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: center;">22.80</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: center;">21.33</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">1.47</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">-7.24</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	22.80	LIMITE PLASTICO Lp%	21.33	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.47	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	-7.24
LIMITE LIQUIDO LI%	22.80												
LIMITE PLASTICO Lp%	21.33												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.47												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	-7.24												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 93. Límite Plástico N°7

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
Parroquia: Augusto Martínez Vía: Esperanza-San Pedro Profundidad: 75cm Fecha: 09/07/2019 Muestra: 7		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla											
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	10	1	12	18	5								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.30	11.70	11.50	11.50	11.70								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.10	11.50	11.30	11.30	11.50								
Peso del agua (Ww)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20								
Peso del recipiente (Wrecip)	10.40	10.70	10.50	10.50	10.60								
Peso de muestra seca (Ws)	0.70	0.80	0.80	0.80	0.90								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	28.57	25.00	25.00	25.00	22.22								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	25.16												
<table border="1"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td>25.90</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td>25.16</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td>-18.75</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	25.90	LIMITE PLASTICO Lp%	25.16	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.74	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-18.75
LIMITE LIQUIDO LI%	25.90												
LIMITE PLASTICO Lp%	25.16												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.74												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-18.75												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 94. Límite Plástico N°8

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
Parroquia: Augusto Martínez Vía: San Pedro-Chaupi Profundidad: 90cm Fecha: 09/07/2019 Muestra: 8		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla											
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	82	74	76	4	31								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.80	11.90	11.90	11.40	12.20								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.60	11.60	11.70	11.20	11.90								
Peso del agua (Ww)	0.20	0.30	0.20	0.20	0.30								
Peso del recipiente (Wrecip)	10.70	10.70	10.50	10.40	10.70								
Peso de muestra seca (Ws)	0.90	0.90	1.20	0.80	1.20								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	22.22	33.33	16.67	25.00	25.00								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	24.44												
<table border="1"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td>24.80</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td>24.44</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td>0.36</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td>-32.93</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	24.80	LIMITE PLASTICO Lp%	24.44	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.36	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-32.93
LIMITE LIQUIDO LI%	24.80												
LIMITE PLASTICO Lp%	24.44												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.36												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-32.93												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 95. Límite Plástico N°9

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
Parroquia: Augusto Martínez	Proyecto: Tesis de Grado												
Vía: Martínez-Esperanza	Normas: AASHTO T 90 2016												
Profundidad: 90cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla												
Fecha: 09/07/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla												
Muestra: 9													
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	70	2	3	1	8								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.50	11.40	11.80	12.20	11.90								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.30	11.20	11.60	11.90	11.70								
Peso del agua (Ww)	0.20	0.20	0.20	0.30	0.20								
Peso del recipiente (Wrecip)	10.60	10.60	10.60	10.70	10.70								
Peso de muestra seca (Ws)	0.70	0.60	1.00	1.20	1.00								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	28.57	33.33	20.00	25.00	20.00								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	25.38												
<table border="1"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td>26.10</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td>25.38</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td>0.72</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td>-13.44</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	26.10	LIMITE PLASTICO Lp%	25.38	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.72	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-13.44
LIMITE LIQUIDO LI%	26.10												
LIMITE PLASTICO Lp%	25.38												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	0.72												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-13.44												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 96. Límite Plástico N°10

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
Parroquia: Augusto Martínez	Proyecto: Tesis de Grado												
Vía: Martínez-Esperanza	Normas: AASHTO T 90 2016												
Profundidad: 55cm	Ensayado por: Cristhian Bonilla												
Fecha: 09/07/2019	Revisado por: Ing. Favio Portilla												
Muestra: 10													
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5								
Recipiente #	1	11	4	7	3								
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.30	11.10	11.30	11.20	11.20								
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.20	11.00	11.20	11.00	11.10								
Peso del agua (Ww)	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10								
Peso del recipiente (Wrecip)	10.70	10.60	10.70	10.50	10.60								
Peso de muestra seca (Ws)	0.50	0.40	0.50	0.50	0.50								
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	20.00	25.00	20.00	40.00	20.00								
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	25.00												
<table border="1"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td>28.30</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td>25.00</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td>3.30</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td>-3.62</td> </tr> </table>						LIMITE LIQUIDO LI%	28.30	LIMITE PLASTICO Lp%	25.00	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	3.30	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-3.62
LIMITE LIQUIDO LI%	28.30												
LIMITE PLASTICO Lp%	25.00												
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	3.30												
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-3.62												



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 97. Límite Plástico N°11

		UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Parroquia: Atahualpa Vía: Atahualpa-El Pisque Profundidad: 80cm Fecha: 09/07/2019 Muestra: 11		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla												
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5									
Recipiente #	9	5	76	15	4									
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	11.30	11.30	12.00	11.40	11.20									
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.20	11.20	11.80	11.20	11.10									
Peso del agua (Ww)	0.10	0.10	0.20	0.20	0.10									
Peso del recipiente (Wrecip)	10.70	10.50	10.60	10.60	10.40									
Peso de muestra seca (Ws)	0.50	0.70	1.20	0.60	0.70									
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	20.00	14.29	16.67	33.33	14.29									
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	19.71													
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: center;">21.70</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: center;">19.71</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">1.99</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: center;">-4.66</td> </tr> </table>							LIMITE LIQUIDO LI%	21.70	LIMITE PLASTICO Lp%	19.71	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.99	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-4.66
LIMITE LIQUIDO LI%	21.70													
LIMITE PLASTICO Lp%	19.71													
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.99													
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-4.66													

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

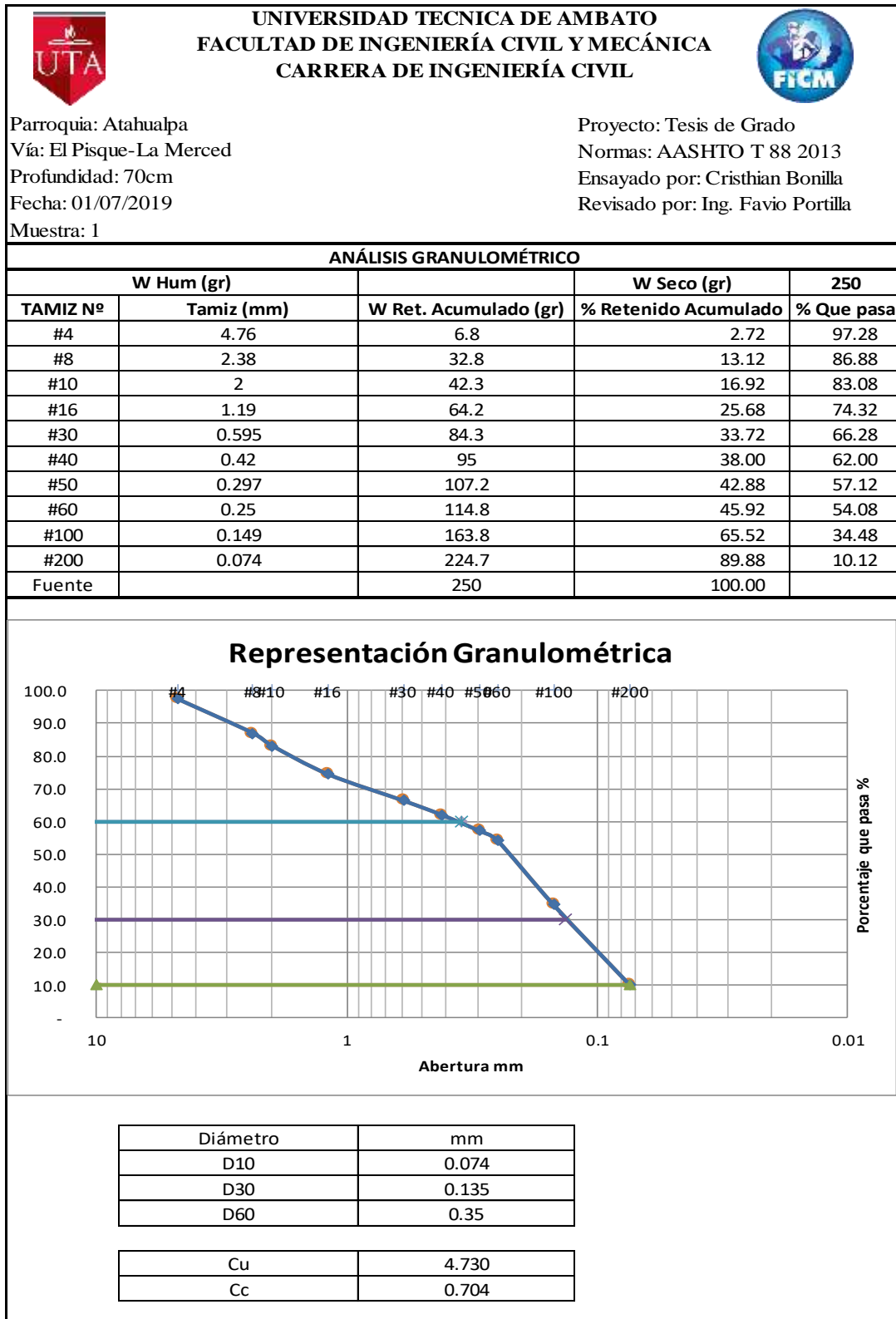
Tabla 98. Límite Plástico N°12

		UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Parroquia: Atahualpa Vía: Atahualpa-El Pisque Profundidad: 60cm Fecha: 08/07/2019 Muestra: 12		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 90 2016 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla												
ENSAYO LIMITE PLASTICO LP														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5									
Recipiente #	5	15	1	11	4									
Peso de la muestra húmeda + recip (Wm + recip)	12.00	11.60	11.90	12.10	11.80									
Peso muestra seca + recipiente (Ws + recip)	11.70	11.40	11.70	11.80	11.60									
Peso del agua (Ww)	0.30	0.20	0.20	0.30	0.20									
Peso del recipiente (Wrecip)	10.60	10.70	10.70	10.60	10.50									
Peso de muestra seca (Ws)	1.10	0.70	1.00	1.20	1.10									
Contenido de Humedad (Ww/Ws)*100	27.27	28.57	20.00	25.00	18.18									
Contenido de humedad Promedio (W%prom)	23.81													
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO LI%</td> <td style="text-align: center;">25.80</td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO Lp%</td> <td style="text-align: center;">23.81</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD Ip%</td> <td style="text-align: center;">1.99</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE LIQUIDEZ IL%</td> <td style="text-align: center;">-0.69</td> </tr> </table>							LIMITE LIQUIDO LI%	25.80	LIMITE PLASTICO Lp%	23.81	INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.99	INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-0.69
LIMITE LIQUIDO LI%	25.80													
LIMITE PLASTICO Lp%	23.81													
INDICE DE PLASTICIDAD Ip%	1.99													
INDICE DE LIQUIDEZ IL%	-0.69													

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

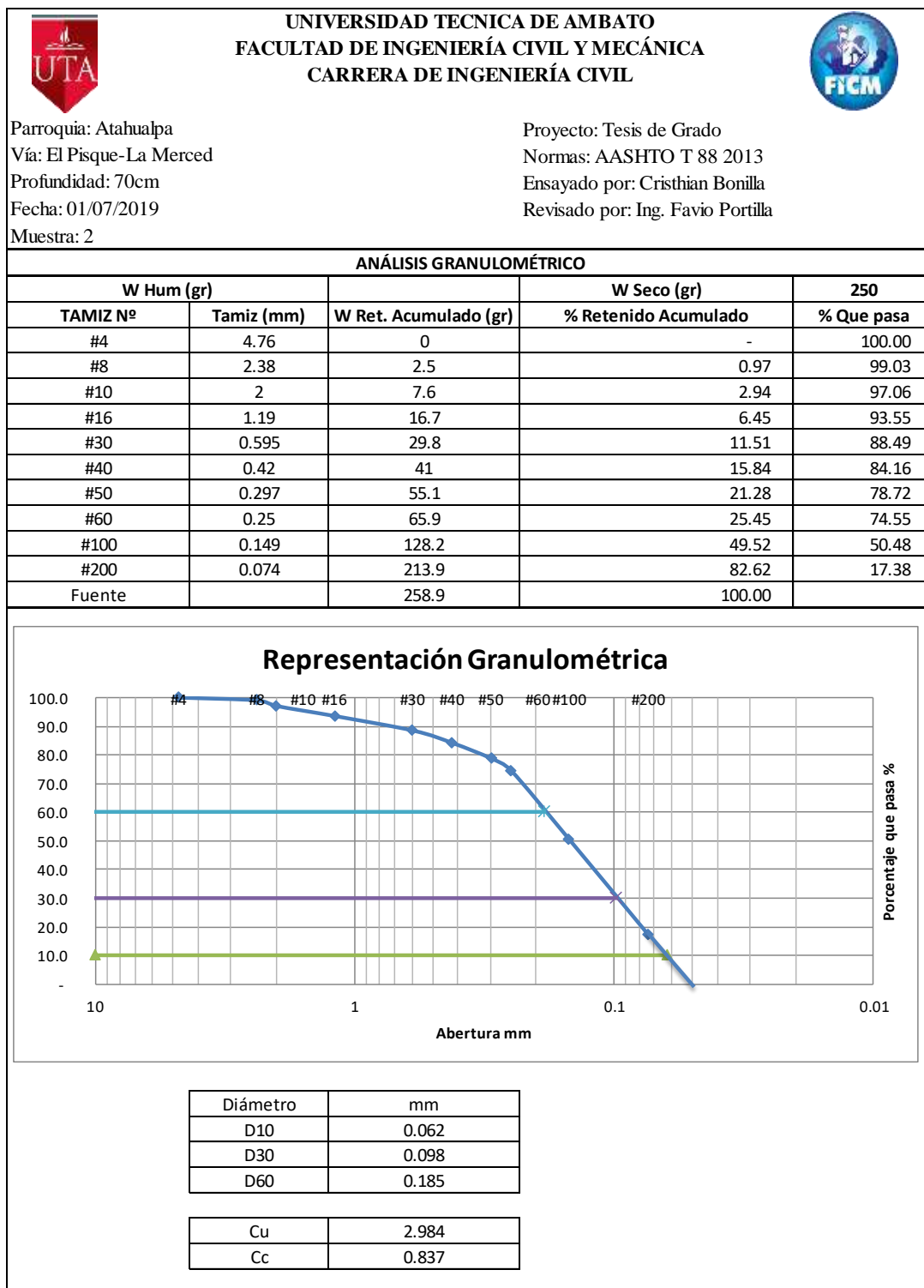
TABLAS DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

Tabla 99. Granulometría N°1



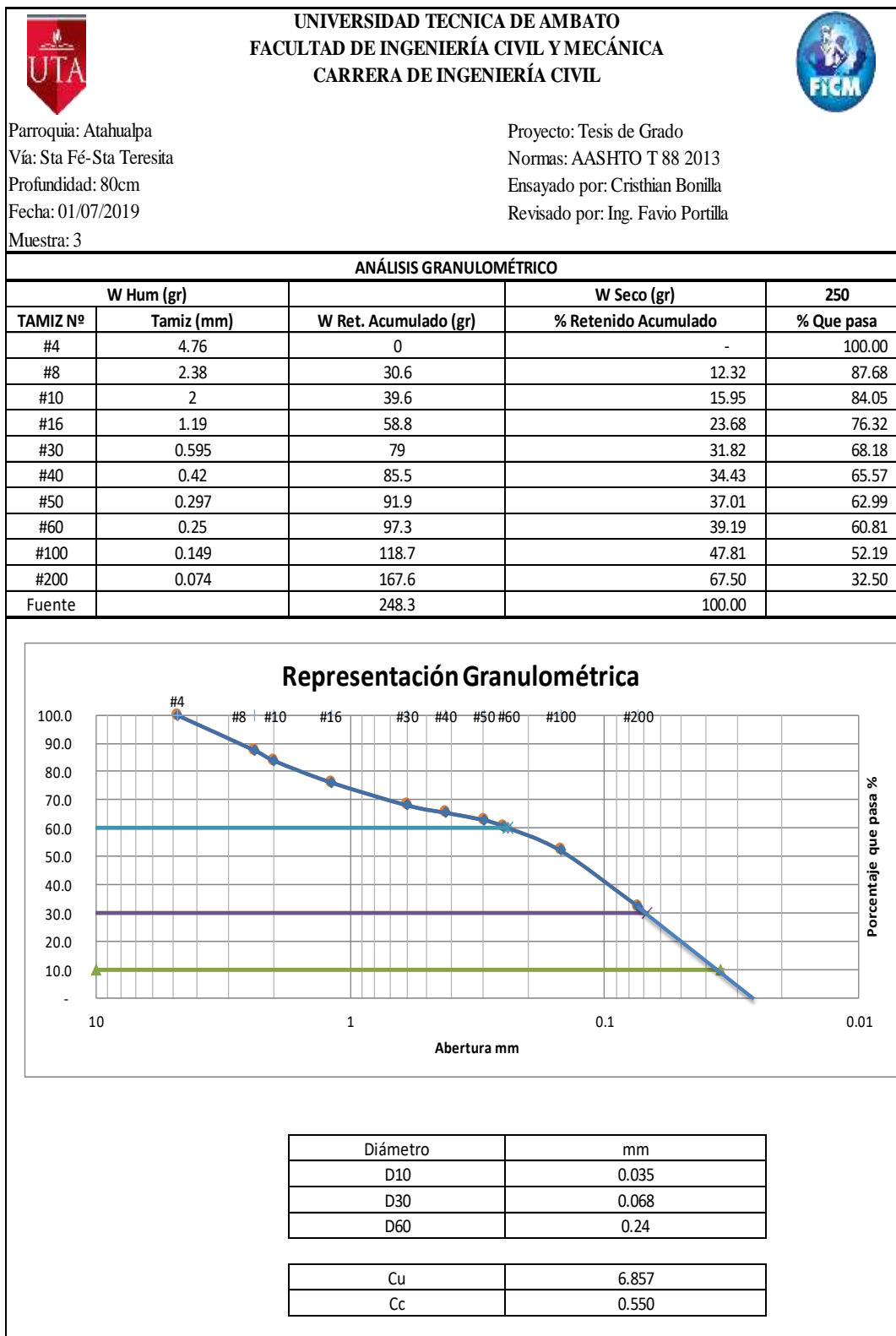
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 100. Granulometría N°2



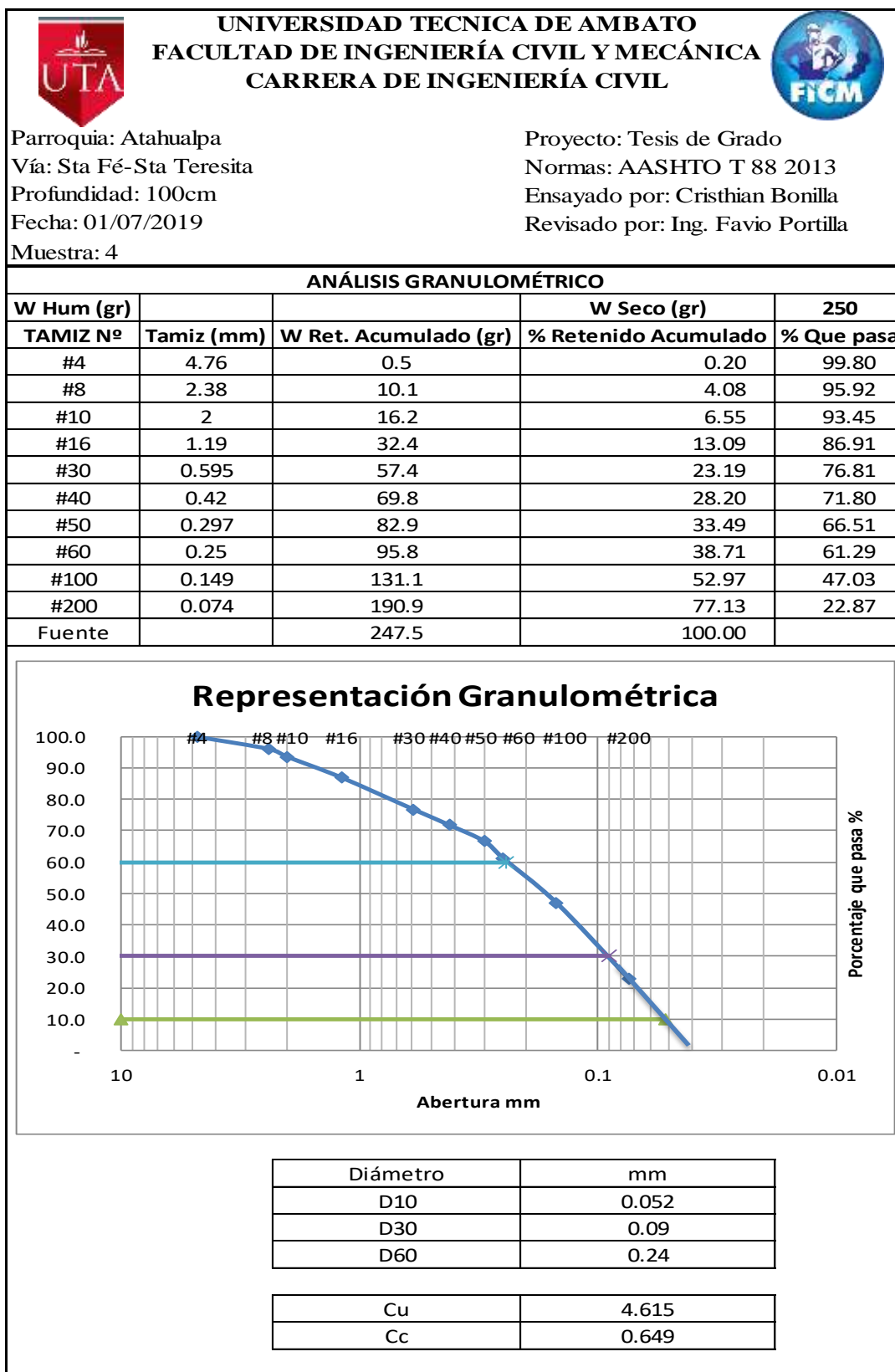
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 101. Granulometría N°3



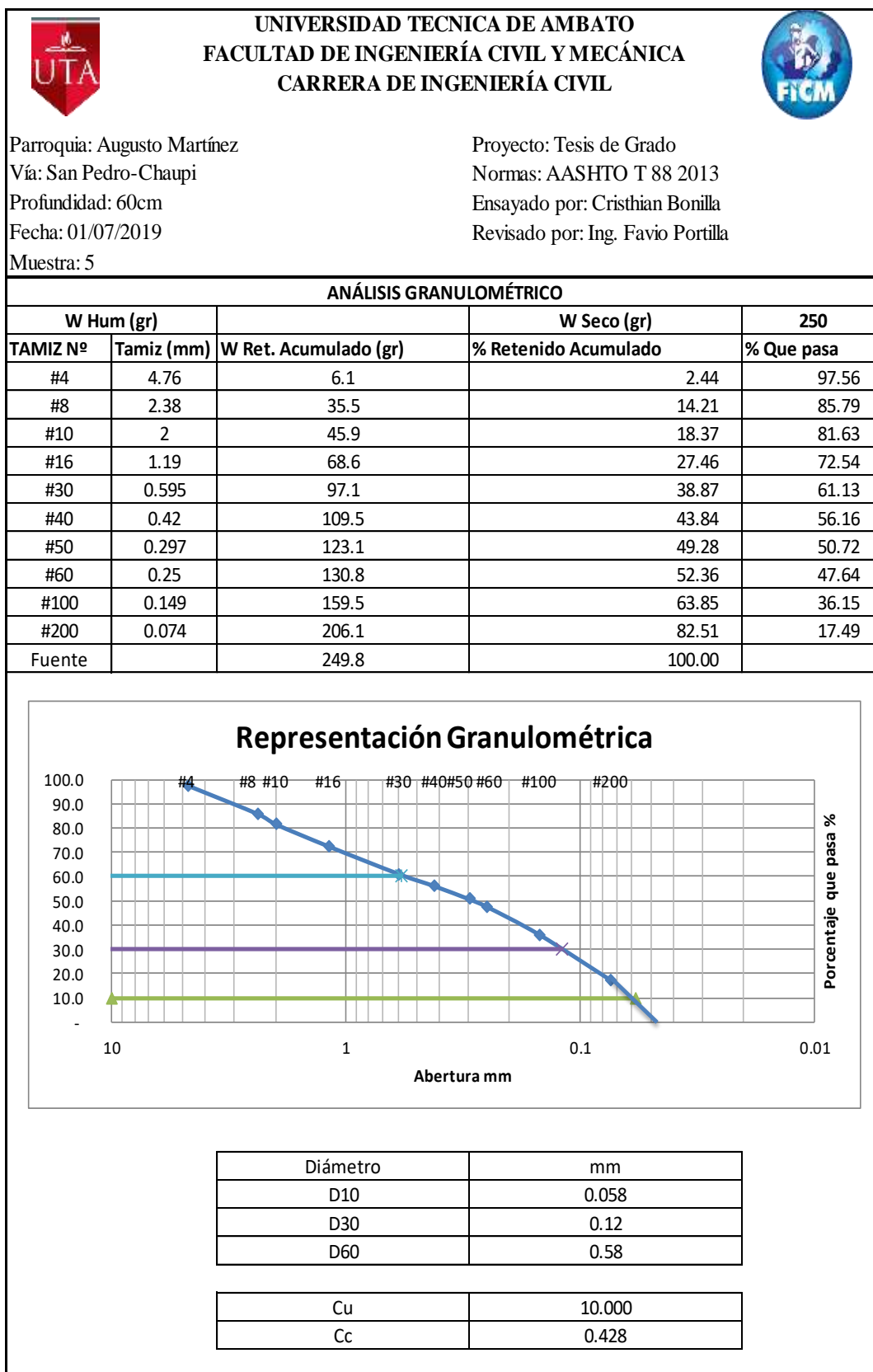
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 102. Granulometría N°4



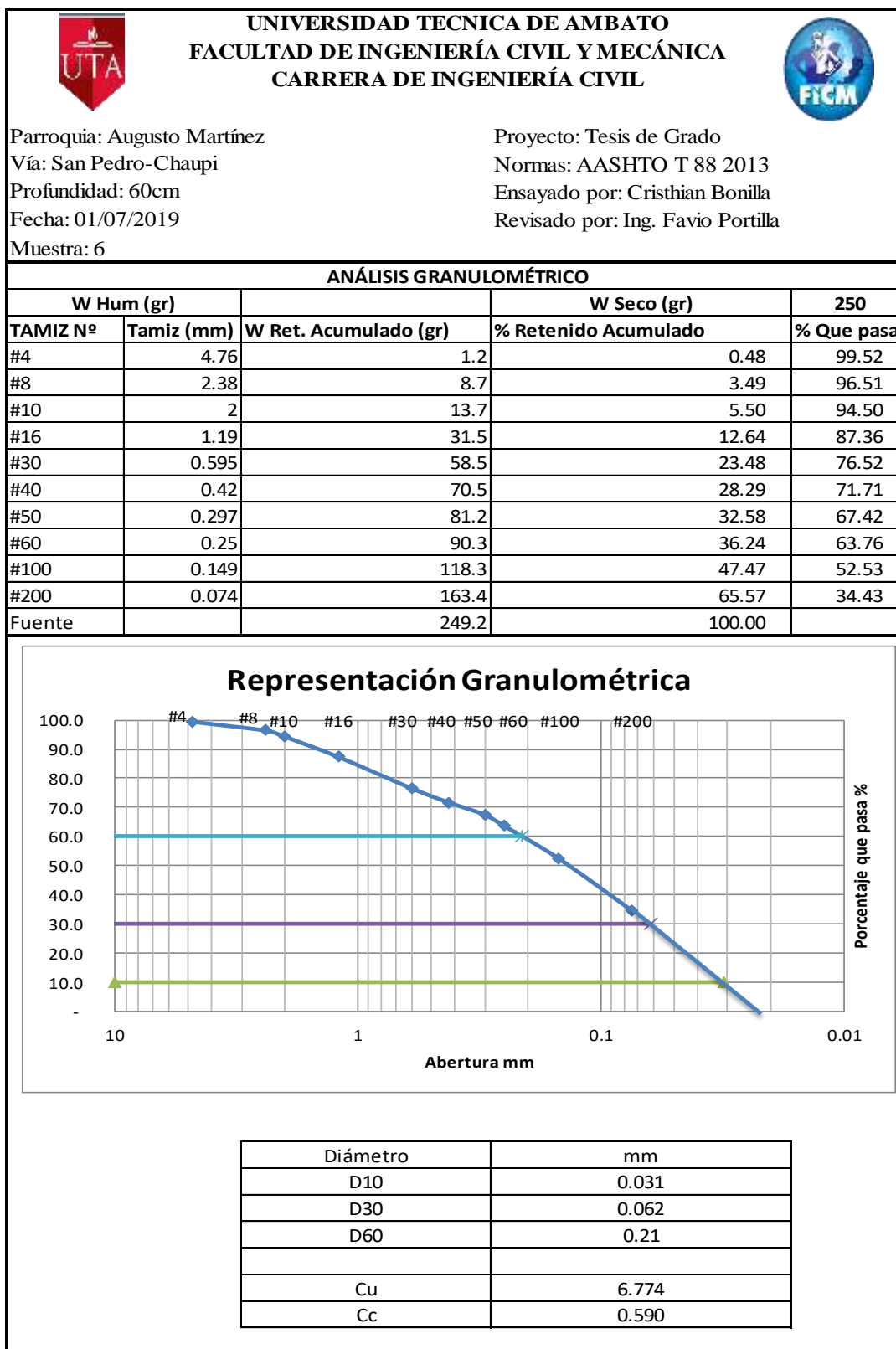
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 103. Granulometría N°5



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 104. Granulometría N°6



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 105. Granulometría N°7



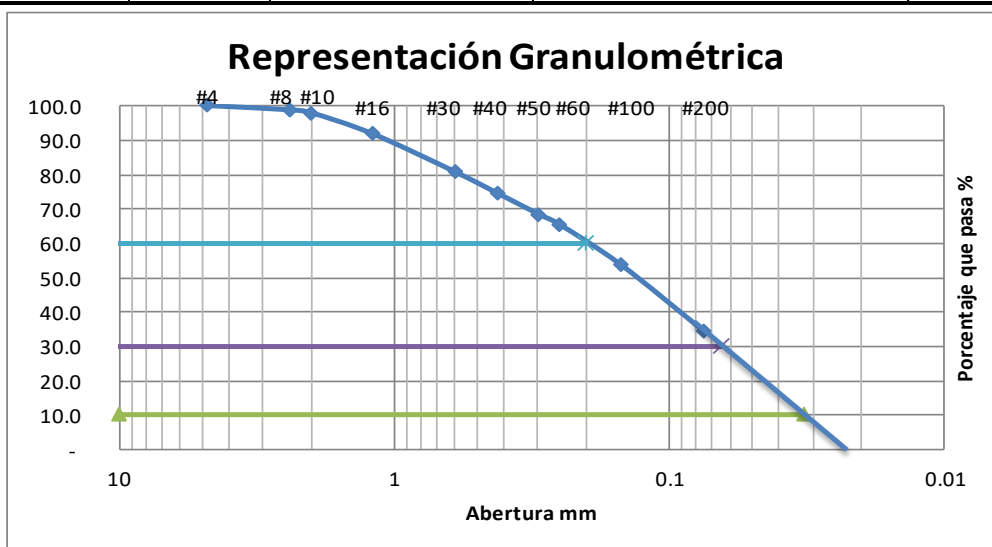
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Parroquia: Augusto Martínez
Vía: Esperanza-San Pedro
Profundidad: 75cm
Fecha: 01/07/2019
Muestra: 7

Proyecto: Tesis de Grado
Normas: AASHTO T 88 2013
Ensayado por: Cristhian Bonilla
Revisado por: Ing. Favio Portilla

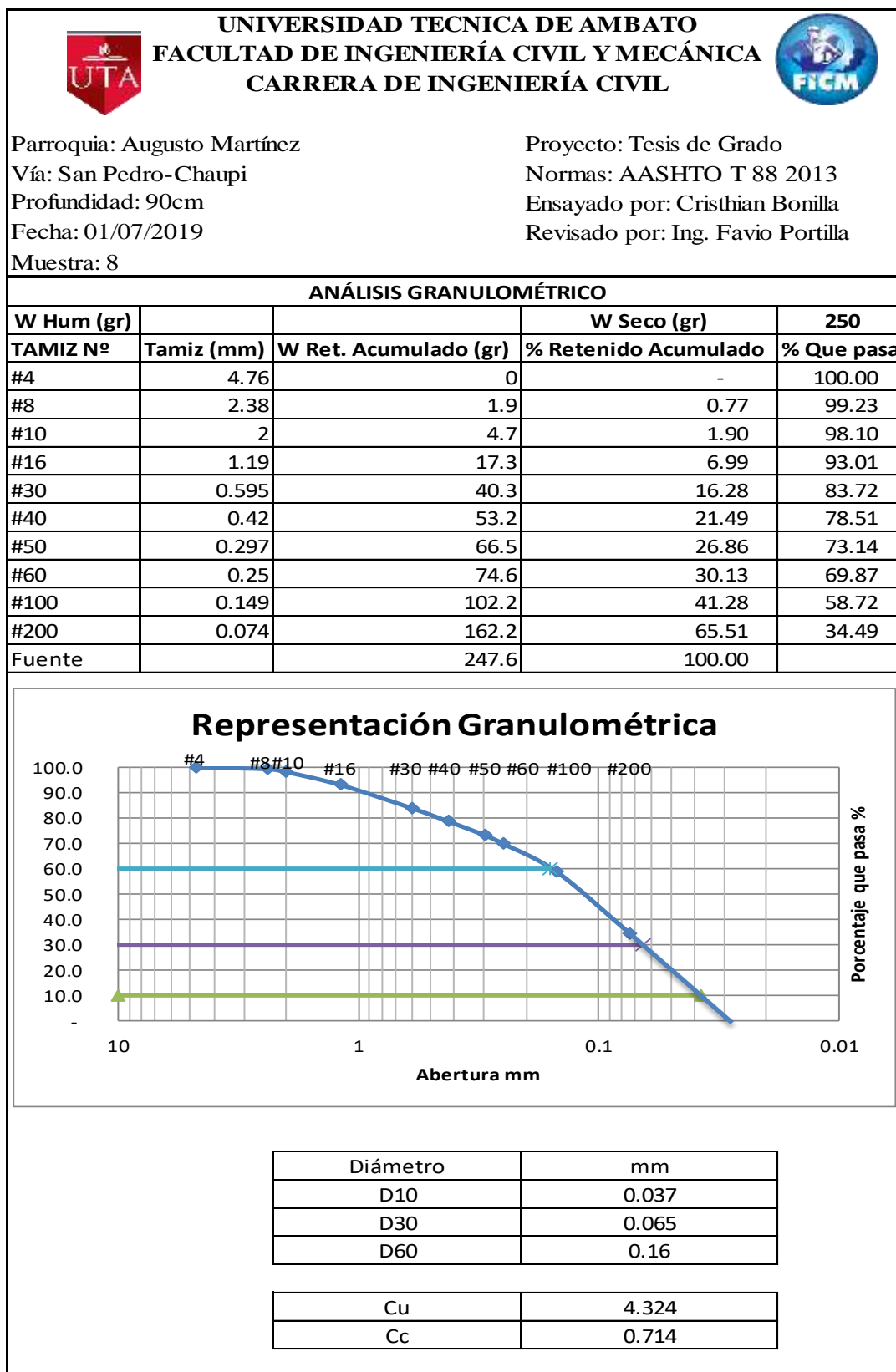
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
W Hum (gr)		W Seco (gr)		
TAMIZ N°	Tamiz (mm)	W Ret. Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	250 % Que pasa
#4	4.76	0	-	100.00
#8	2.38	3.1	1.24	98.76
#10	2	5.2	2.09	97.91
#16	1.19	20.6	8.27	91.73
#30	0.595	48.3	19.40	80.60
#40	0.42	63.5	25.50	74.50
#50	0.297	78.8	31.65	68.35
#60	0.25	86.1	34.58	65.42
#100	0.149	115.5	46.39	53.61
#200	0.074	164	65.86	34.14
Fuente		249	100.00	



Díámetro	mm
D10	0.032
D30	0.064
D60	0.2
Cu	6.250
Cc	0.640

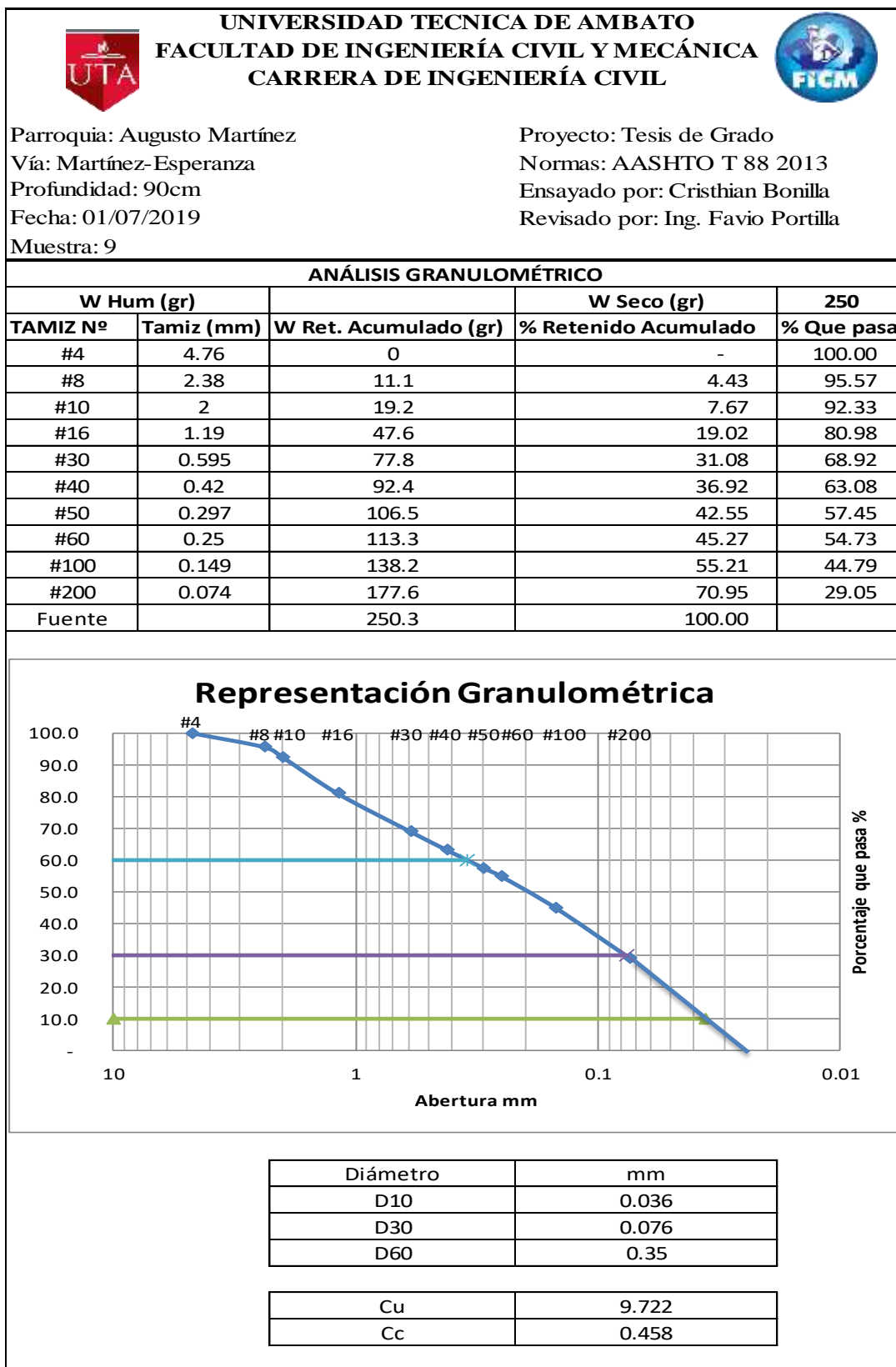
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 106. Granulometría N°8



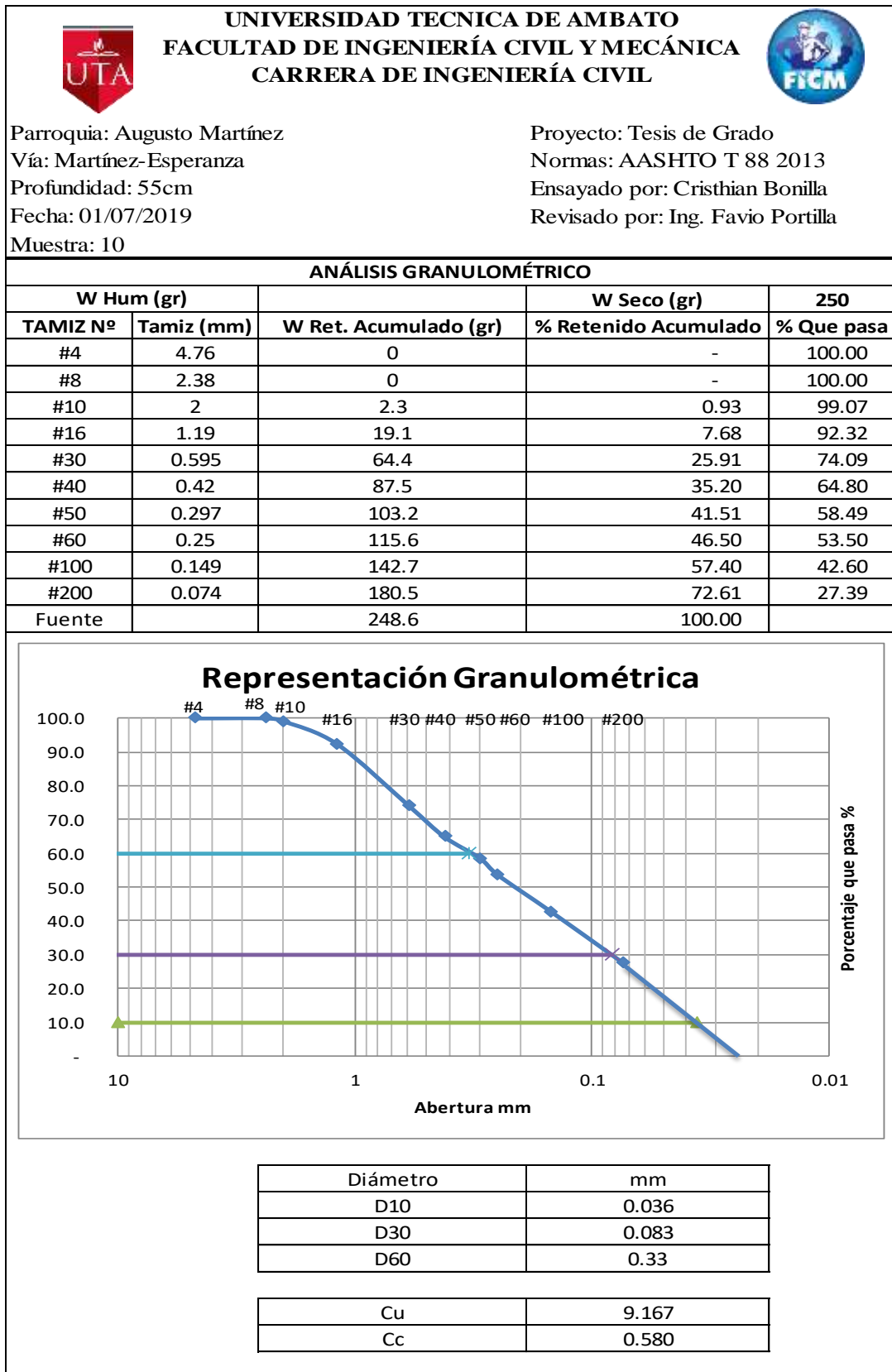
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 107. Granulometría N°9



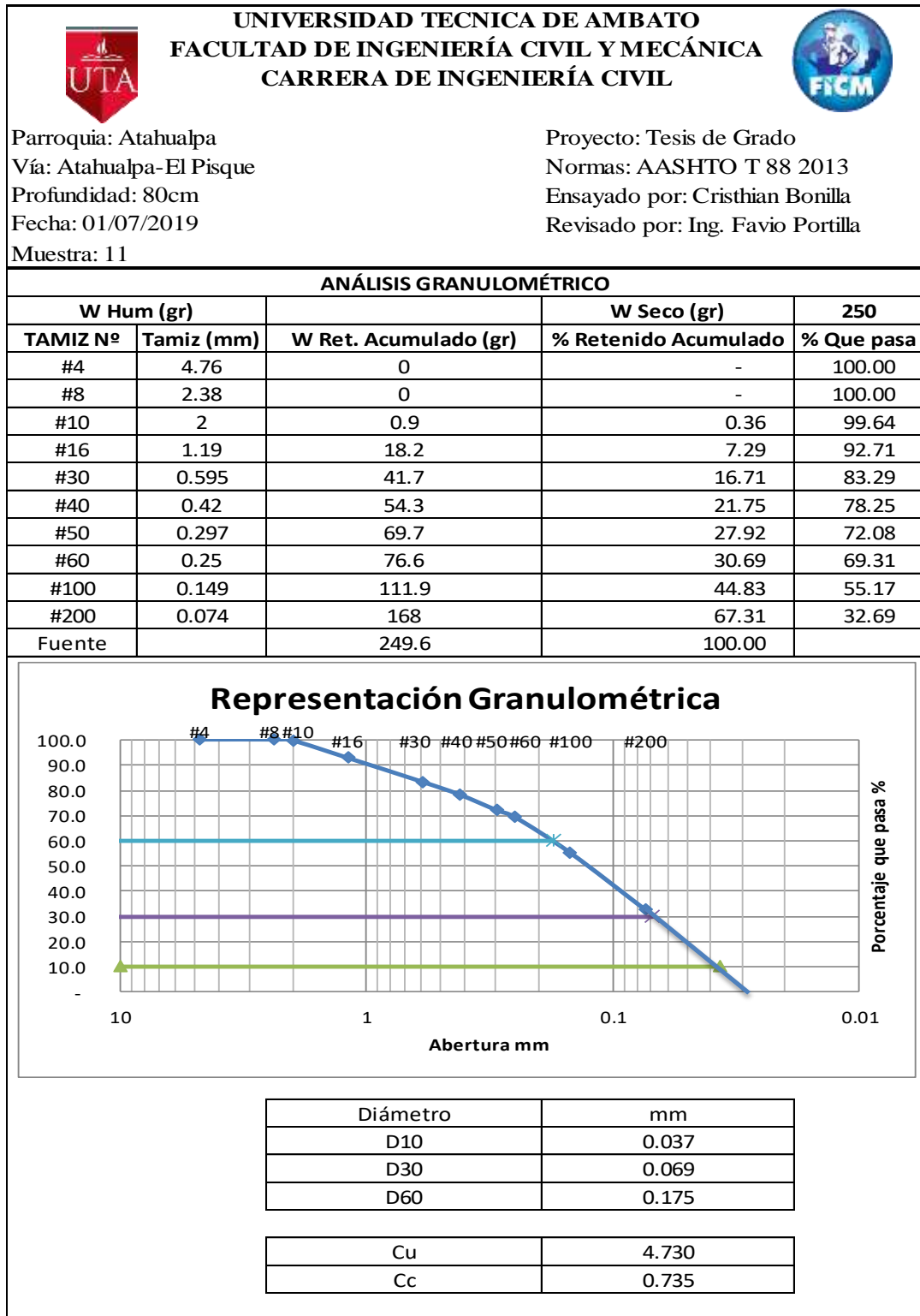
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 108. Granulometría N°10



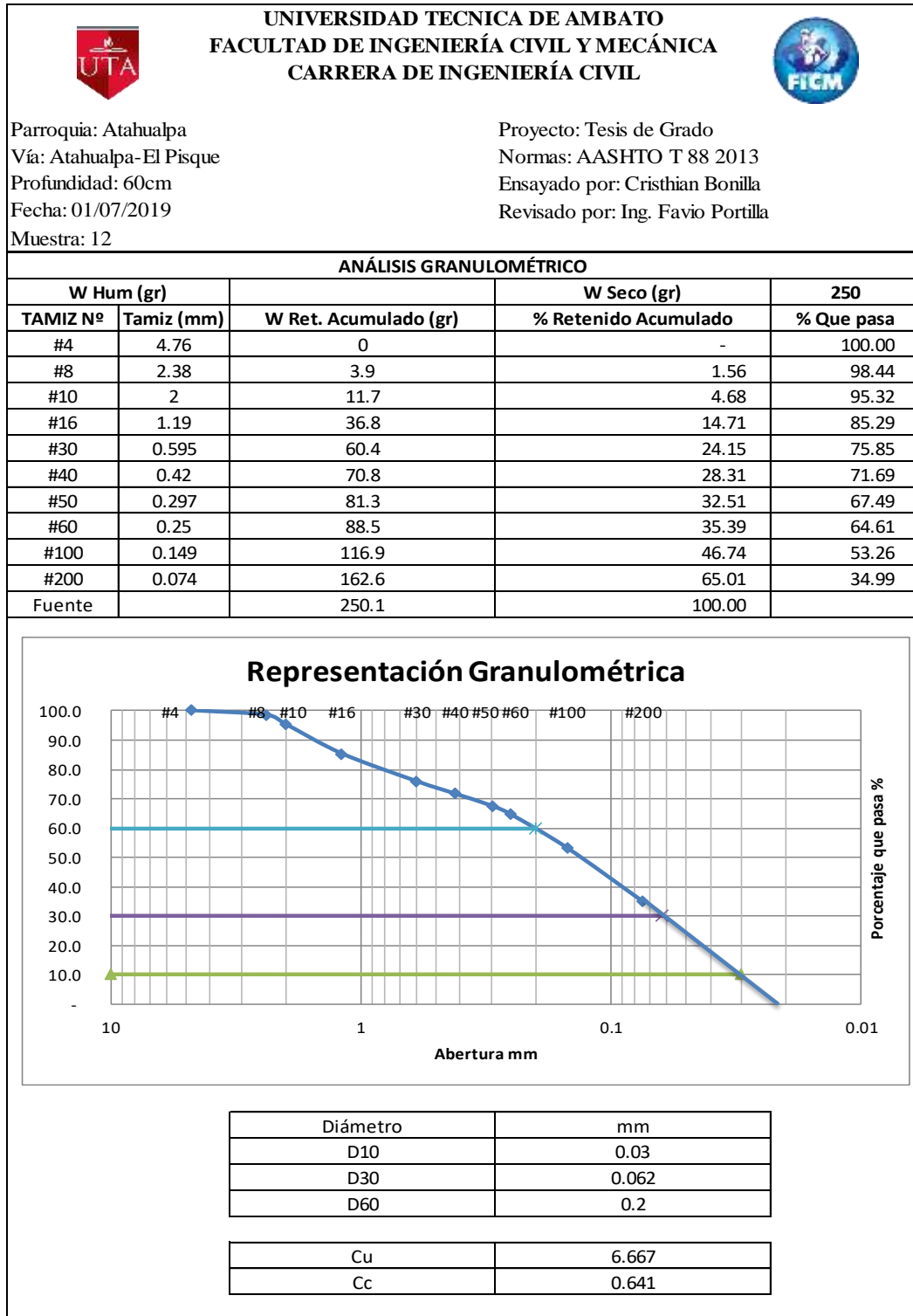
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 109. Granulometría N°11



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



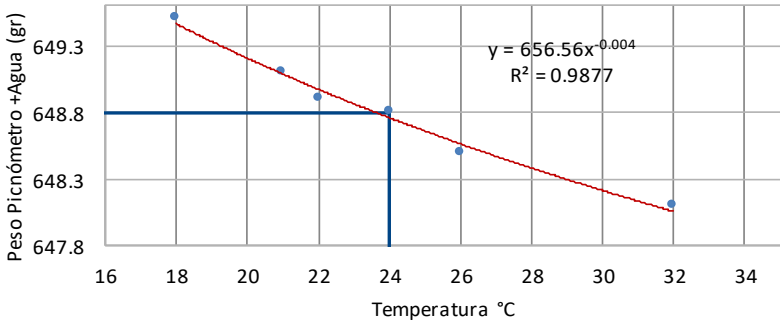
Tabla 110. Granulometría N°12



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

TABLAS DE ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Tabla 111. Ensayo de Gravedad Específica N°1

	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
Parroquia: Atahualpa Vía: El Pisque-La Merced Profundidad: 70cm Fecha: 01/07/2019 Muestra: 1		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T 100 2015 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla
GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	24	
Peso del recipiente + suelo seco	165	
Peso del recipiente (Wr)	115.7	
Peso del suelo seco (Ws)	49.3	
Peso picnómetro+agua (Wbw)	648.65	
Ws+Wbw	697.95	
Peso picnómetro+agua+suelo (Wbws)	677.3	
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw)- Wbws	20.65	
Factor de correlación por temperatura K	0.99730	
Gravedad específica (Gs)	2.381	
Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1
Curva de Calibración del Picnómetro		
		

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 112. Ensayo de Gravedad Específica N°2



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



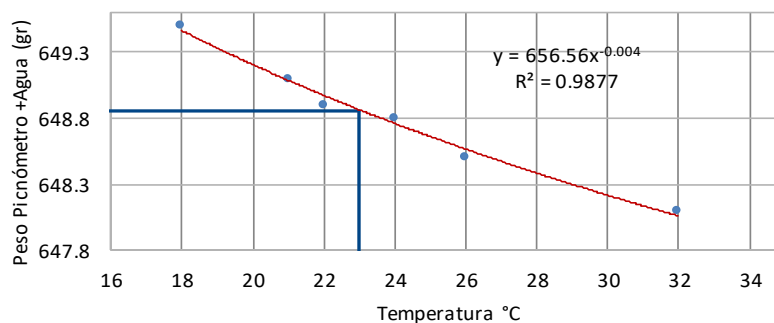
Parroquia: Atahualpa
 Vía: El Pisque-La Merced
 Profundidad: 70cm
 Fecha: 05/08/2019
 Muestra: 2

Proyecto: Tesis de Grado
 Normas: AASHTO T 100 2015
 Ensayado por: Cristhian Bonilla
 Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	23
Peso del recipiente + suelo seco	106.3
Peso del recipiente (W_r)	57
Peso del suelo seco (W_s)	49.3
Peso picnómetro+agua (W_{bw})	648.85
W _s +W _{bw}	698.15
Peso picnómetro+agua+suelo (W_{bws})	677.6
Deslizamiento del agua (W_s+W_{bw})- W_{bws}	20.55
Factor de correlación por temperatura K	0.99760
Gravedad específica (G_s)	2.393

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 113. Ensayo de Gravedad Específica N°3



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



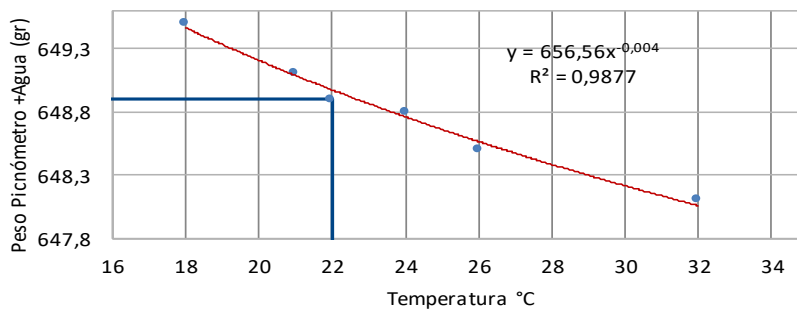
Parroquia: Atahualpa
Vía: Sta Fé-Sta Teresita
Profundidad: 80cm
Fecha: 05/08/2019
Muestra: 3

Proyecto: Tesis de Grado
Normas: AASHTO T100 2015
Ensayado por: Cristhian Bonilla
Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	22
Peso del recipiente + suelo seco	163
Peso del recipiente (W_r)	113,8
Peso del suelo seco (W_s)	49,2
Peso picnómetro+agua (W_{bw})	648,9
W _s +W _{bw}	698,1
Peso picnómetro+agua+suelo (W_{bws})	679,7
Deslizamiento del agua (W_s+W_{bw})- W_{bws}	18,4
Factor de correlación por temperatura K	0,99780
Gravedad específica (G_s)	2,668

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649,5
2	21	649,1
3	22	648,9
4	24	648,8
5	26	648,5
6	32	648,1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 114. Ensayo de Gravedad Específica N°4



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



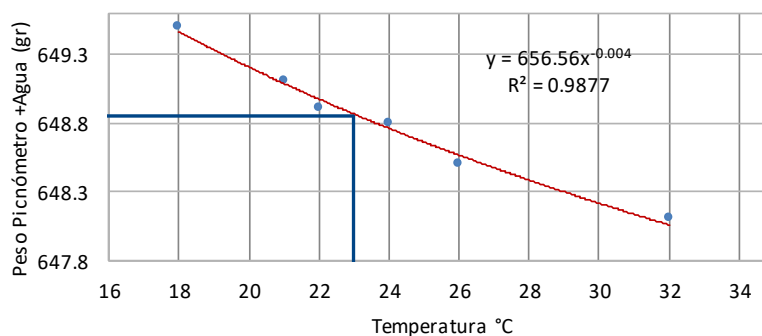
Parroquia: Atahualpa
Vía: Sta Fé-Sta Teresita
Profundidad: 100cm
Fecha: 05/08/2019
Muestra: 4

Proyecto: Tesis de Grado
Normas: AASHTO T 100 2015
Ensayado por: Cristhian Bonilla
Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	23
Peso del recipiente + suelo seco	157.6
Peso del recipiente (W_r)	110.8
Peso del suelo seco (W_s)	46.8
Peso picnómetro+agua (W_{bw})	648.85
W _s +W _{bw}	695.65
Peso picnómetro+agua+suelo (W_{bws})	678
Deslizamiento del agua (W_s+W_{bw})- W_{bws}	17.65
Factor de correlación por temperatura K	0.99760
Gravedad específica (G_s)	2.645

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 115. Ensayo de Gravedad Específica N°5



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



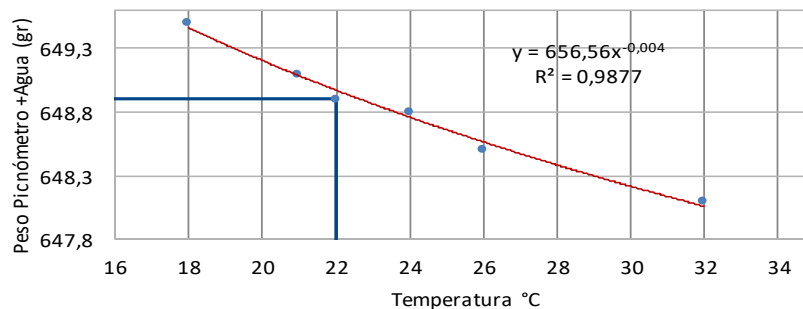
Parroquia: Augusto Martínez
Vía: San Pedro-Chaupi
Profundidad: 60cm
Fecha: 06/08/2019
Muestra: 5

Proyecto: Tesis de Grado
Normas: AASHTO T100 2015
Ensayado por: Cristhian Bonilla
Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	22
Peso del recipiente + suelo seco	158,3
Peso del recipiente (Wr)	108,9
Peso del suelo seco (Ws)	49,4
Peso picnómetro+agua (Wbw)	648,9
Ws+Wbw	698,3
Peso picnómetro+agua+suelo (Wbws)	678,7
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw)- Wbws	19,6
Factor de correlación por temperatura K	0,99780
Gravedad específica (Gs)	2,515

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649,5
2	21	649,1
3	22	648,9
4	24	648,8
5	26	648,5
6	32	648,1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 116. Ensayo de Gravedad Específica N°6



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



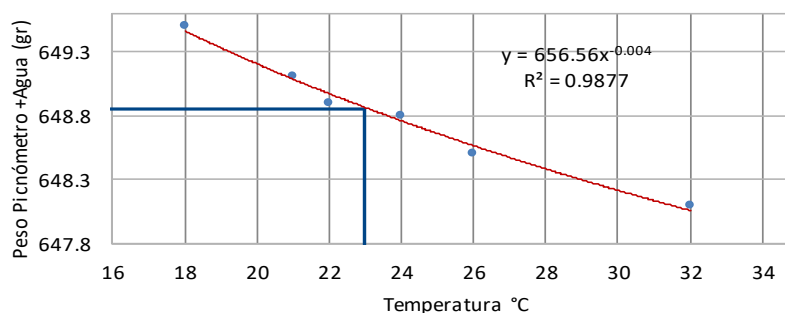
Parroquia: Augusto Martínez
Vía: San Pedro-Chaupi
Profundidad: 80cm
Fecha: 05/08/2019
Muestra: 6

Proyecto: Tesis de Grado
Normas: AASHTO T 100 2015
Ensayado por: Cristhian Bonilla
Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	23
Peso del recipiente + suelo seco	165
Peso del recipiente (Wr)	115.6
Peso del suelo seco (Ws)	49.4
Peso picnómetro+agua (Wbw)	648.85
Ws+Wbw	698.25
Peso picnómetro+agua+suelo (Wbws)	679.5
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw)- Wbws	18.75
Factor de correlación por temperatura K	0.99760
Gravedad específica (Gs)	2.628

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 117. Ensayo de Gravedad Específica N°7



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



Parroquia: Augusto Martínez
Vía: Esperanza-San Pedro
Profundidad: 75cm
Fecha: 06/08/2019
Muestra: 7

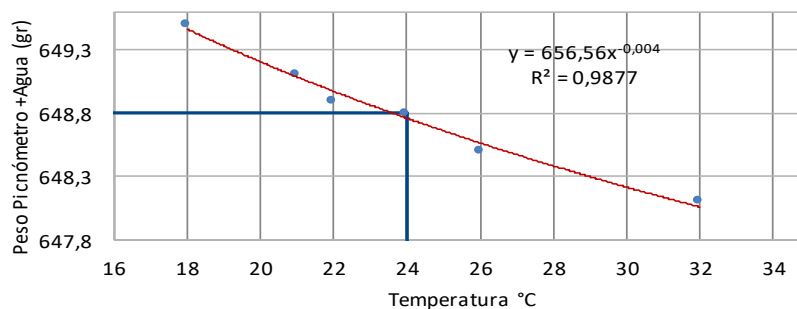
Proyecto: Tesis de Grado
Normas: AASHTO T100 2015
Ensayado por: Cristhian Bonilla
Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	24
Peso del recipiente + suelo seco	189,7
Peso del recipiente (Wr)	140,1
Peso del suelo seco (Ws)	49,6
Peso picnómetro+agua (Wbw)	648,8
Ws+Wbw	698,4
Peso picnómetro+agua+suelo (Wbws)	678,9
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw)- Wbws	19,5
Factor de correlación por temperatura K	0,99730
Gravedad específica (Gs)	2,537

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649,5
2	21	649,1
3	22	648,9
4	24	648,8
5	26	648,5
6	32	648,1

Temperatura Ensayo
X1 24 Y1 0

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 118. Ensayo de Gravedad Específica N°8



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



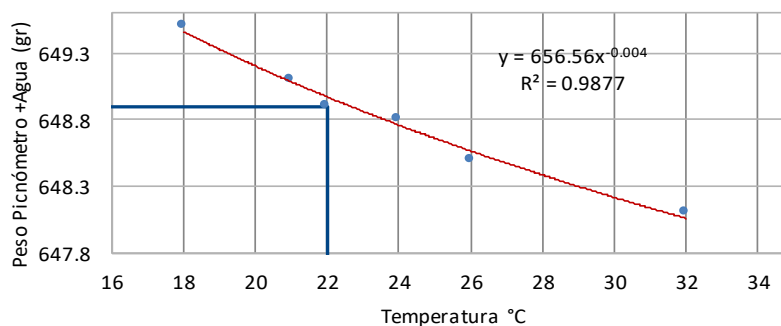
Parroquia: Augusto Martínez
 Vía: San Pedro-Esperanza
 Profundidad: 90cm
 Fecha: 05/08/2019
 Muestra: 8

Proyecto: Tesis de Grado
 Normas: AASHTO T 100 2015
 Ensayado por: Cristhian Bonilla
 Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	22
Peso del recipiente + suelo seco	160.1
Peso del recipiente (Wr)	110.8
Peso del suelo seco (Ws)	49.3
Peso picnómetro+agua (Wbw)	648.9
Ws+Wbw	698.2
Peso picnómetro+agua+suelo (Wbws)	677.7
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw)-Wbws	20.5
Factor de correlación por temperatura K	0.99780
Gravedad específica (Gs)	2.400

Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 119. Ensayo de Gravedad Específica N°9



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



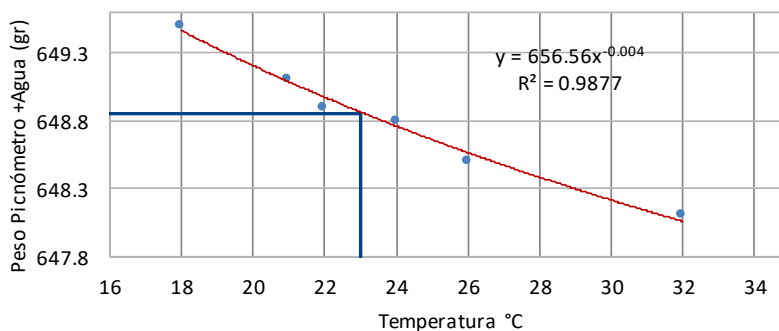
Parroquia: Augusto Martínez
 Vía: Esperanza-Martínez
 Profundidad: 90cm
 Fecha: 05/08/2019
 Muestra: 9

Proyecto: Tesis de Grado
 Normas: AASHTO T 100 2015
 Ensayado por: Cristhian Bonilla
 Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	23
Peso del recipiente + suelo seco	165
Peso del recipiente (W_r)	115.6
Peso del suelo seco (W_s)	49.4
Peso picnómetro+agua (W_{bw})	648.85
W _s +W _{bw}	698.25
Peso picnómetro+agua+suelo (W_{bws})	679.6
Deslizamiento del agua (W_s+W_{bw})- W_{bws}	18.65
Factor de correlación por temperatura K	0.99760
Gravedad específica (G_s)	2.642

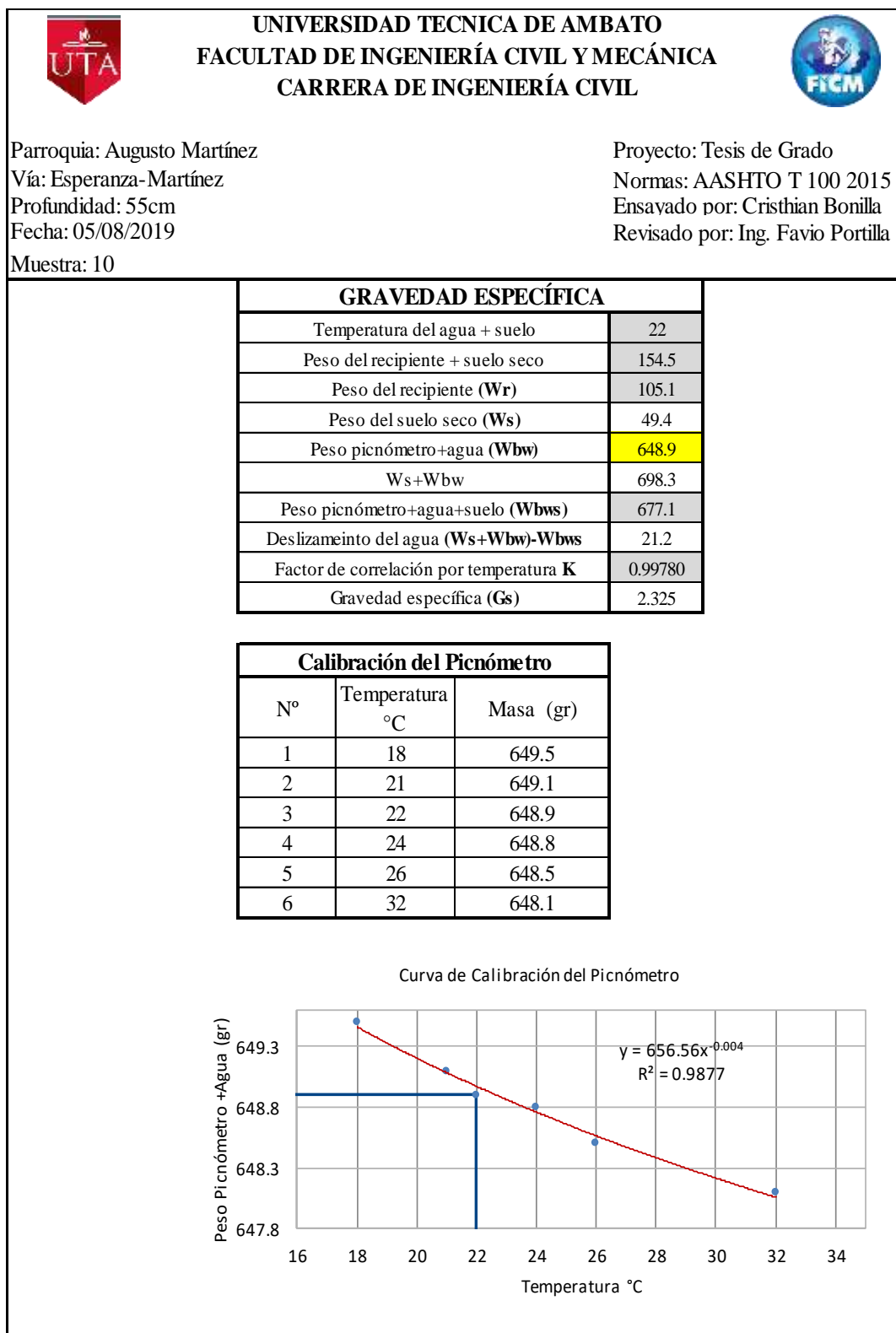
Calibración del Picnómetro		
N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 120. Ensayo de Gravedad Específica N°10



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 121. Ensayo de Gravedad Específica N°11



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



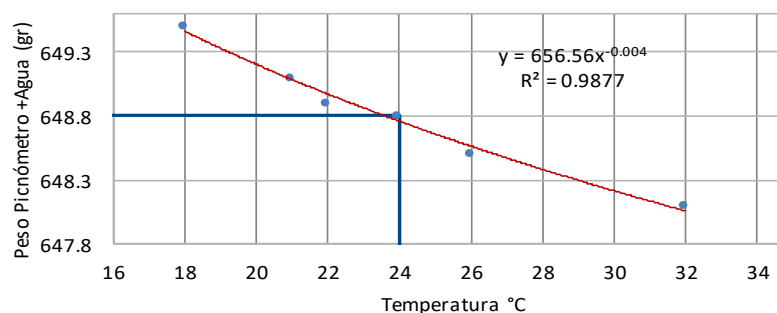
Parroquia: Atahualpa
 Vía: Atahualpa-El Pisque
 Profundidad: 80cm
 Fecha: 05/08/2019
 Muestra: 11

Proyecto: Tesis de Grado
 Normas: AASHTO T 100 2015
 Ensayado por: Cristhian Bonilla
 Revisado por: Ing. Favio Portilla

GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Temperatura del agua + suelo	24
Peso del recipiente + suelo seco	136.1
Peso del recipiente (W_r)	86.7
Peso del suelo seco (W_s)	49.4
Peso picnómetro+agua (W_{bw})	648.8
W _s +W _{bw}	698.2
Peso picnómetro+agua+suelo (W_{bws})	677.6
Deslizamiento del agua (W_s+W_{bw})- W_{bws}	20.6
Factor de correlación por temperatura K	0.99730
Gravedad específica (G_s)	2.392

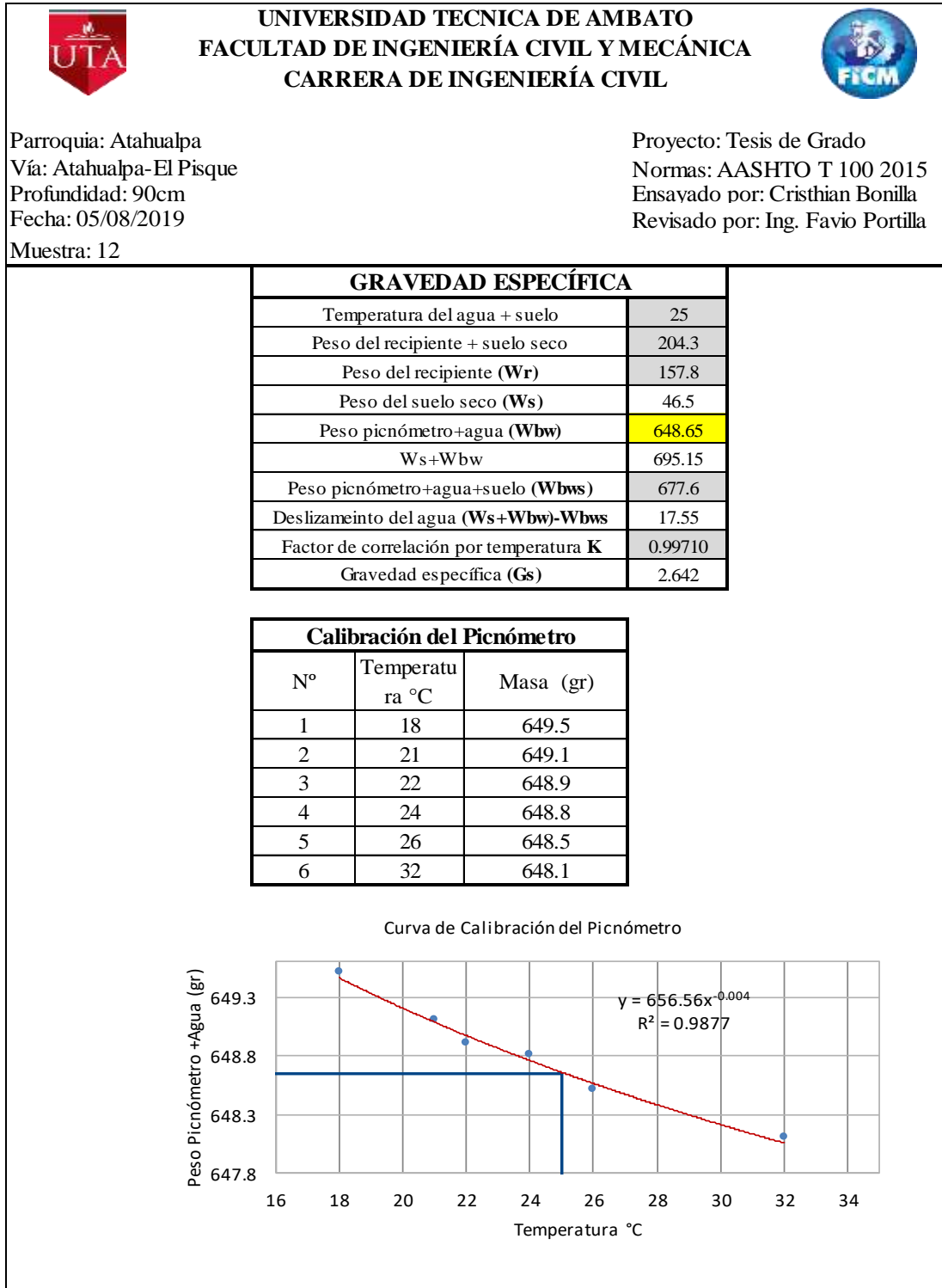
Calibración del Picnómetro		
Nº	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649.5
2	21	649.1
3	22	648.9
4	24	648.8
5	26	648.5
6	32	648.1

Curva de Calibración del Picnómetro



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 122. Ensayo de Gravedad Específica N°12



Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

TABLAS DE ENSAYOS DE PRÓCTOR MODIFICADO "B"

Tabla 123. Próctor Modificado "B" N°1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: "CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA." ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla				
VÍA:				El Pisque-La Merced (Muestra 1)				
FECHA:				22/jul/2019		NORMA:	AASHTO:T- 180	
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530 gr	Volumen mol	2197,02 cm3		
Energía de compactación:	55986 lb/ft/ft3		Diámetro:	14,9 cm	Altura:	12,6 cm		
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	7000		7000		7000		7000	
Humedad inicial añadida	15%		18%		21%		24%	
P. molde + suelo húmedo	19706		20010		19975		19901	
Peso suelo húmedo	4176		4480		4445		4371	
Peso unitario húmedo γ_m	1,901		2,039		2,023		1,990	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	45	86	4	28	6	62	93	35
R. + Suelo húmedo	70,3	71,1	70,4	67,5	95,7	97,7	110,4	96,4
R. + Suelo seco	63,5	65,3	63,8	60,4	82,6	85,7	94,6	81,7
Peso agua	6,8	5,8	6,6	7,1	13,1	12	15,8	14,7
Peso recipiente	23,3	31,1	31,7	23	24,6	30,5	33,4	24,6
Peso suelo seco	40,2	34,2	32,1	37,4	58	55,2	61,2	57,1
Contenido humedad $\omega\%$	16,92%	16,96%	20,56%	18,98%	22,59%	21,74%	25,82%	25,74%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	16,94%		19,77%		22,16%		25,78%	
Densidad seca γ_d	1,625		1,703		1,656		1,582	
Grado de compactación Gc%	89,30							
OBSERVACIONES:								
<p style="text-align: center;">Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p style="text-align: right;">γ_d máx 1.702 gr/cm3</p> <p style="text-align: right;">$\omega\%$ máx 20%</p>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 124. Próctor Modificado “B” N°2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"							
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla			
VÍA:				El Pisque-La Merced (Muestra 2)			
FECHA:				22/jul/2019		NORMA: AASHTO:T- 180	
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	17245 gr	Volumen mol:	2197,02	cm3
Energía de compactación:	55986 lb/ft3	Diámetro:	14,9 cm	Altura:	12,6	cm	
Ensayo número	1		2		3		4
Peso inicial deseado	7000		7000		7000		7000
Humedad inicial añadida	15%		18%		21%		24%
P. molde + suelo húmedo	20921		21084		21196		21117
Peso suelo húmedo	3676		3839		3951		3872
Peso unitario húmedo γ_m	1,673		1,747		1,798		1,762
CONTENIDO DE HUMEDAD							
# Recipiente	53	81	7	6	2	5	6 9
R. + Suelo húmedo	111,8	118,2	121	126	116,3	125,7	143 137
R. + Suelo seco	99,9	105,2	105,7	110,4	100,3	107,8	119,7 114,1
Peso agua	11,9	13	15,3	15,6	16	17,9	23,3 22,9
Peso recipiente	30,8	30,6	30,7	34,6	30,6	31,5	34,6 31,5
Peso suelo seco	69,1	74,6	75	75,8	69,7	76,3	85,1 82,6
Contenido humedad $\omega\%$	17,22%	17,43%	20,40%	20,58%	22,96%	23,46%	27,38% 27,72%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	17,32%		20,49%		23,21%		27,55%
Densidad seca γ_d	1,426		1,450		1,460		1,382
Grado de compactación $G_c\%$	95,13						
OBSERVACIONES:							
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>Densidad Seca γ_d gr/cm3</p> <p>Contenido de Humedad $\omega\%$</p> <p>γ_d máx 1.464 gr/cm3</p> <p>$\omega\%$ máx 22,4%</p> </div>							

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 125. Próctor Modificado “B” N°3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:			Cristhian Bonilla					
VÍA:			Sta Fé-Sta Teresita (Muestra 3)					
FECHA:			23/jul/2019			NORMA:		AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530	gr	Volumen mol	2256,40	cm3
Energía de compactación:	55986	lb/ft3	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	5%		9%		13%		17%	
P. molde + suelo húmedo	19528		19933		20010		19926	
Peso suelo húmedo	3998		4403		4480		4396	
Peso unitario húmedo γ_m	1,772		1,951		1,985		1,948	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	47	48	43	12	7	26	22	39
R. + Suelo húmedo	141,1	140,4	131	137,5	125,3	128,3	136,6	130
R. + Suelo seco	128,9	127,3	115,1	120,6	109,1	110,5	115,7	110,2
Peso agua	12,2	13,1	15,9	16,9	16,2	17,8	20,9	19,8
Peso recipiente	46,5	37,8	24,5	25,3	28,8	23,1	24	25,8
Peso suelo seco	82,4	89,5	90,6	95,3	80,3	87,4	91,7	84,4
Contenido humedad $\omega\%$	14,81%	14,64%	17,55%	17,73%	20,17%	20,37%	22,79%	23,46%
Cont. Humedad prom. ω^p	14,72%		17,64%		20,27%		23,13%	
Densidad seca γ_d	1,544		1,659		1,651		1,582	
Grado de compactación $G_c\%$	102,31							
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>γd máx 1.669 gr/cm3</p> <p>ω máx 18,5%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 126. Próctor Modificado “B” N°4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"									
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla					
VÍA:				Sta Fé-Sta Teresita (Muestra 4)					
FECHA:				23/jul/2019		NORMA: AASHTO:T- 180			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb		
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530 gr	Volumen mol:	2256,40	cm ³		
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6 cm		
Ensayo número	1	2	3	4					
Peso inicial deseado	6000	6000	6000	6000					
Humedad inicial añadida	5%	9%	13%	17%					
P. molde + suelo húmedo	19197	19626	20021	20049					
Peso suelo húmedo	3667	4096	4491	4519					
Peso unitario húmedo γ_m	1,625	1,815	1,990	2,003					
CONTENIDO DE HUMEDAD									
# Recipiente	43	9	47	12	90	85	26	39	
R. + Suelo húmedo	81,4	80,8	101,9	83,2	84,6	76,8	76	77,9	
R. + Suelo seco	77,7	77	96,3	77,4	77,5	70,8	67,6	69,5	
Peso agua	3,7	3,8	5,6	5,8	7,1	6	8,4	8,4	
Peso recipiente	24,5	26	46,5	25,3	30,7	30,7	23,1	25,8	
Peso suelo seco	53,2	51	49,8	52,1	46,8	40,1	44,5	43,7	
Contenido humeda $\omega\%$	6,95%	7,45%	11,24%	11,13%	15,17%	14,96%	18,88%	19,22%	
Cont. Humedad prom. ω^p	7,20%		11,19%		15,07%		19,05%		
Densidad seca γ_d	1,516		1,633		1,730		1,682		
Grado de compactación Gc%								98,92	
OBSERVACIONES:									
<p style="text-align: center;">Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p style="text-align: right;">γ_d máx 1.731 gr/cm³ $\omega\%$ máx 15,4%</p>									

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 127. Próctor Modificado “B” N°5

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"</p>							
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla			
VÍA:				Chaupi-San Pedro (Muestra 5)			
FECHA:				26/jul/2019		NORMA:	AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
N° de Golpes:		56		N° de capas:		5	
Altura de caída:		18' o 1.5ft		Peso molde:		15530 gr	
Energía de compactación:		55986 lb/ft ³		Diámetro:		15,1 cm	
Peso martillo:		10 lb		Volumen mol:		2256,40 cm ³	
Altura:		12,6 cm					
Ensayo número		1		2		3	
Peso inicial deseado		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida		12%		15%		18%	
P. molde + suelo húmedo		19745		20005		20081	
Peso suelo húmedo		4215		4475		4551	
Peso unitario húmedo γ_m		1,868		1,983		2,017	
4		6000		21%		19782	
4252		1,884					
CONTENIDO DE HUMEDAD							
# Recipiente		19		5		1	
R. + Suelo húmedo		73,2		72,1		79,1	
R. + Suelo seco		63,3		62,5		67,3	
Peso agua		9,9		9,6		11,8	
Peso recipiente		7,6		7		7,8	
Peso suelo seco		55,7		55,5		59,5	
Contenido humeda $\omega\%$		17,77%		17,30%		19,83%	
Cont. Humedad prom. $\omega\%$		17,54%		20,37%		23,35%	
Densidad seca γ_d		1,589		1,648		1,635	
Grado de compactación $G_c\%$						100,51	
OBSERVACIONES:							
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>Densidad Seca γ_d gr/cm³</p> <p>Contenido de Humedad $\omega\%$</p> <p>γ_d máx 1.655 gr/cm³</p> <p>$\omega\%$ máx 21,8%</p> </div>							

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 128. Próctor Modificado “B” N°6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:			Cristhian Bonilla					
VÍA:			Chaupi-San Pedro (Muestra 6)					
FECHA:			26/jul/2019			NORMA:		AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
Nº de Golpes:	56		Nº de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530	gr	Volumen mol	2261,95	cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft ³	Diámetro:	15	cm	Altura:	12,8	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	15%		18%		21%		24%	
P. molde + suelo húmedo	19041		19266		19388		19319	
Peso suelo húmedo	3511		3736		3858		3789	
Peso unitario húmedo γ_m	1,552		1,652		1,706		1,675	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	17	19	75	16	89	59	24	65
R. + Suelo húmedo	99,4	121,7	134,3	126,6	123	142,1	128,3	129,2
R. + Suelo seco	89,4	108,9	119,7	112	108,5	124,3	110,2	112,2
Peso agua	10	12,8	14,6	14,6	14,5	17,8	18,1	17
Peso recipiente	24,7	26,5	30,7	24,3	31,3	30,7	24,1	31,1
Peso suelo seco	64,7	82,4	89	87,7	77,2	93,6	86,1	81,1
Contenido humedad $\omega\%$	15,46%	15,53%	16,40%	16,65%	18,78%	19,02%	21,02%	20,96%
Cont. Humedad prom. $\omega_p\%$	15,49%		16,53%		18,90%		20,99%	
Densidad seca γ_d	1,344		1,417		1,434		1,384	
Grado de compactación $G_c\%$	109,39							
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>Densidad Seca γ_d gr/cm³</p> <p>Contenido de Humedad $\omega\%$</p> <p>γ_d máx 1,437 gr/cm³</p> <p>$\omega\%$ máx 18,4%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 129. Próctor Modificado “B” N°7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla				
VÍA:				San Pedro-Esperanza (Muestra 7)				
FECHA:				27/jul/2019		NORMA: AASHTO:T- 180		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530 gr	Volumen mol:	2256,40	cm ³	
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6 cm	
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	12%		15%		18%		21%	
P. molde + suelo húmedo	19642		19898		20162		20108	
Peso suelo húmedo	4112		4368		4632		4578	
Peso unitario húmedo γ_m	1,822		1,936		2,053		2,029	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	22	7	11	55	88	52	48	8
R. + Suelo húmedo	81,3	89,1	88,9	90,8	96,8	90,3	116,3	94,5
R. + Suelo seco	74,4	81,8	80,9	82,6	86,8	81,3	102,6	82,9
Peso agua	6,9	7,3	8	8,2	10	9	13,7	11,6
Peso recipiente	24	28,8	30,9	30,4	30,5	31	37,8	26,7
Peso suelo seco	50,4	53	50	52,2	56,3	50,3	64,8	56,2
Contenido humedad $\omega\%$	13,69%	13,77%	16,00%	15,71%	17,76%	17,89%	21,14%	20,64%
Cont. Humedad prom. ω^p	13,73%		15,85%		17,83%		20,89%	
Densidad seca γ_d	1,602		1,671		1,742		1,678	
Grado de compactación Gc%	91,17							
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>γd máx 1.742 gr/cm³</p> <p>ω% máx 17,9%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 130. Próctor Modificado “B” N°8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"							
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla			
VÍA:				San Pedro-Esperanza (Muestra 8)			
FECHA:				27/jul/2019		NORMA: AASHTO:T- 180	
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530	gr	Volumen mol	2256,40 cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft ³	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6 cm
Ensayo número	1		2		3		4
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000
Humedad inicial añadida	12%		15%		18%		21%
P. molde + suelo húmedo	19603		19730		20007		19965
Peso suelo húmedo	4073		4200		4477		4435
Peso unitario húmedo γ_m	1,805		1,861		1,984		1,966
CONTENIDO DE HUMEDAD							
# Recipiente	52	11	85	90	88	55	8 9
R. + Suelo húmedo	134,3	115,5	96	105,7	133,3	125,5	150,8 135,1
R. + Suelo seco	122,5	105,7	87,8	96,2	118,9	112,3	130,9 117,4
Peso agua	11,8	9,8	8,2	9,5	14,4	13,2	19,9 17,7
Peso recipiente	31	30,9	30,7	30,7	30,5	30,4	26,7 26
Peso suelo seco	91,5	74,8	57,1	65,5	88,4	81,9	104,2 91,4
Contenido humedad $\omega\%$	12,90%	13,10%	14,36%	14,50%	16,29%	16,12%	19,10% 19,37%
Cont. Humedad prom. ω^p	13,00%		14,43%		16,20%		19,23%
Densidad seca γ_d	1,597		1,627		1,707		1,648
Grado de compactación Gc%	85,60						
OBSERVACIONES:							
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>γd máx 1.708</p> <p>ω% máx 16,3%</p> </div>							

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 131. Próctor Modificado “B” N°9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:			Cristhian Bonilla					
VÍA:			Esperanza-Martínez (Muestra 9)					
FECHA:			28/jul/2019			NORMA:		AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530	gr	Volumen mol	2256,40	cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	9%		12%		15%		18%	
P. molde + suelo húmedo	19562		19732		20057		20055	
Peso suelo húmedo	4032		4202		4527		4525	
Peso unitario húmedo γ_m	1,787		1,862		2,006		2,005	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	17	12	26	47	22	7	90	75
R. + Suelo húmedo	85,9	87,4	80,8	111,7	83,9	87,4	96,7	98,1
R. + Suelo seco	78,9	80,4	73	102,8	74,6	78,2	85,3	86,2
Peso agua	7	7	7,8	8,9	9,3	9,2	11,4	11,9
Peso recipiente	24,7	25,3	23,1	46,5	24	28,8	30,7	30,7
Peso suelo seco	54,2	55,1	49,9	56,3	50,6	49,4	54,6	55,5
Contenido humedad $\omega\%$	12,92%	12,70%	15,63%	15,81%	18,38%	18,62%	20,88%	21,44%
Cont. Humedad prom. ω^p	12,81%		15,72%		18,50%		21,16%	
Densidad seca γ_d	1,584		1,609		1,693		1,655	
Grado de compactación $G_c\%$	89,17							
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>γ_d máx 1.695 gr/cm³</p> <p>ω_% máx 18,8%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 132. Próctor Modificado "B" N°10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: "CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA." ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:			Cristhian Bonilla					
VÍA:			Esperanza-Martínez (Muestra 10)					
FECHA:			28/jul/2019			NORMA:		AASHTO:T- 180
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10	lb
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530	gr	Volumen mol	2256,40	cm ³
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6	cm
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	12%		15%		18%		21%	
P. molde + suelo húmedo	19553		19681		19859		19859	
Peso suelo húmedo	4023		4151		4329		4329	
Peso unitario húmedo γ_m	1,783		1,840		1,919		1,919	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	85	88	11	59	65	52	55	89
R. + Suelo húmedo	79,9	75,5	78,7	71,3	99,5	100,7	100,5	96
R. + Suelo seco	72,7	68,8	70,8	64,5	86,9	87,7	86,4	82,9
Peso agua	7,2	6,7	7,9	6,8	12,6	13	14,1	13,1
Peso recipiente	30,7	30,5	30,9	30,7	31,1	31	30,4	31,3
Peso suelo seco	42	38,3	39,9	33,8	55,8	56,7	56	51,6
Contenido humedad $\omega\%$	17,14%	17,49%	19,80%	20,12%	22,58%	22,93%	25,18%	25,39%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	17,32%		19,96%		22,75%		25,28%	
Densidad seca γ_d	1,520		1,534		1,563		1,531	
Grado de compactación Gc%	92,51							
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>Densidad Seca γ_d / gr/cm³</p> <p>Contenido de Humedad $\omega\%$</p> <p>γ_d máx 1.563 gr/cm³</p> <p>$\omega\%$ máx 22,8%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 133. Próctor Modificado "B" N°11

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: "CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA." ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla				
VÍA:				Atahualpa-El Pisque (Muestra 11)				
FECHA:				29/jul/2019		NORMA: AASHTO:T- 180		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530 gr		Volumen mol:	2256,40 cm ³	
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft ³	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6 cm	
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	12%		15%		18%		21%	
P. molde + suelo húmedo	19706		20010		20004		19950	
Peso suelo húmedo	4176		4480		4474		4420	
Peso unitario húmedo γ_m	1,851		1,985		1,983		1,959	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
R. + Suelo húmedo	189,4	94,4	113,6	134,6	169,8	130,5	181,1	169,9
R. + Suelo seco	177,2	87,6	102,7	122	149,8	117,2	156,6	147,9
Peso agua	12,2	6,8	10,9	12,6	20	13,3	24,5	22
Peso recipiente	80,7	32,9	34,3	40,8	40,9	43,5	43,6	40,8
Peso suelo seco	96,5	54,7	68,4	81,2	108,9	73,7	113	107,1
Contenido humedad $\omega\%$	12,64%	12,43%	15,94%	15,52%	18,37%	18,05%	21,68%	20,54%
Cont. Humedad prom. $\omega\%$	12,54%		15,73%		18,21%		21,11%	
Densidad seca γ_d	1,645		1,716		1,677		1,617	
Grado de compactación Gc%	92,00							
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p style="text-align: right;">γ_d máx 1.716 gr/cm³ $\omega\%$ máx 16%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa



Tabla 134. Próctor Modificado "B" N°12

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TESIS: "CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS ATAHUALPA Y AUGUSTO MARTÍNEZ, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA." ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO "B"								
ELABORADO POR:				Cristhian Bonilla				
VÍA:				Atahualpa-El Pisque (Muestra 12)				
FECHA:				29/jul/2019		NORMA: AASHTO:T- 180		
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO								
N° de Golpes:	56		N° de capas:	5		Peso martillo:	10 lb	
Altura de caída:	18' o 1.5ft		Peso molde:	15530 gr	Volumen mol	2256,40	cm3	
Energía de compactación:	55986	lb/ft/ft3	Diámetro:	15,1	cm	Altura:	12,6 cm	
Ensayo número	1		2		3		4	
Peso inicial deseado	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial añadida	12%		15%		18%		21%	
P. molde + suelo húmedo	19572		19863		20015		19914	
Peso suelo húmedo	4042		4333		4485		4384	
Peso unitario húmedo γ_m	1,791		1,920		1,988		1,943	
CONTENIDO DE HUMEDAD								
# Recipiente	90	22	47	7	75	26	17	12
R. + Suelo húmedo	81,2	84,5	109,5	86,5	106,1	95,1	101	104,5
R. + Suelo seco	74,3	76,4	99,6	77,2	93	82,4	86,1	89,3
Peso agua	6,9	8,1	9,9	9,3	13,1	12,7	14,9	15,2
Peso recipiente	30,7	24	46,5	28,8	30,7	23,1	24,7	25,3
Peso suelo seco	43,6	52,4	53,1	48,4	62,3	59,3	61,4	64
Contenido humeda $\omega\%$	15,83%	15,46%	18,64%	19,21%	21,03%	21,42%	24,27%	23,75%
Cont. Humedad prom. ω^p	15,64%		18,93%		21,22%		24,01%	
Densidad seca γ_d	1,549		1,615		1,640		1,567	
Grado de compactación $G_c\%$								91,54
OBSERVACIONES:								
<div style="text-align: center;"> <p>Relación γ_d vs $\omega\%$</p> <p>Densidad Seca γ_d gr/cm3</p> <p>Contenido de Humedad $\omega\%$</p> <p>γ_d máx 1.642 gr/cm3</p> <p>$\omega\%$ máx 20.8%</p> </div>								

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

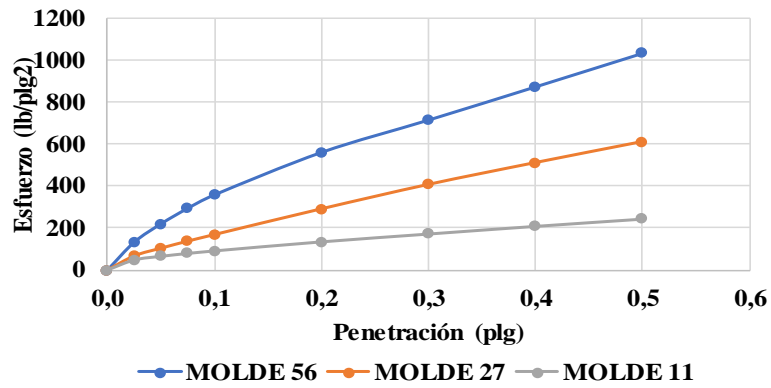
TABLAS DE ENSAYOS CBR

Tabla 135. Ensayo CBR N°1

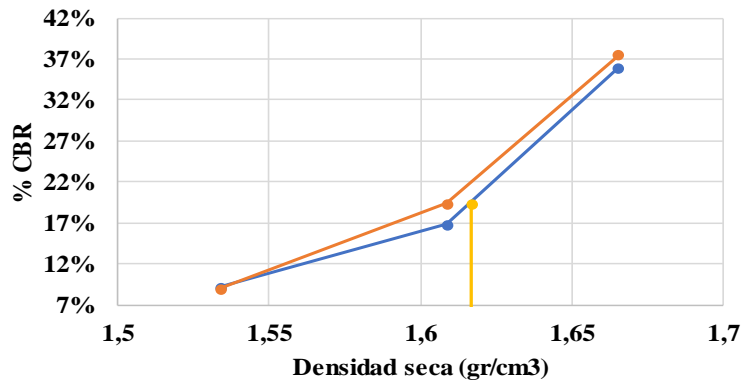
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa		Proyecto: Tesis de Grado				
Vía: El Pisque-La Merced		Normas: AASHTO T-193 2013				
Profundidad: 70cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla				
Fecha: 19/08/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla				
Muestra: 1						
Ensayo CBR						
TIPO:	ROCTOR MODIFICAD	PESO DEL MARTILLO:	10 lb			
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18in o 1,5ft			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD OPTIMO (%):	20,00			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
DATOS DEL MOLDEO						
Muestra húmeda + molde (gr)	14175	12808	12651			
Masa Molde (gr)	9630	8387	8342			
Masa Muestra Humeda (gr)	4545	4421	4309			
Volumen Muestra (cm3)	2286,38	2286,38	2340,82			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm)	1,988	1,934	1,841			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	25	28	24	27	21	22
P. Hum. + Recipiente	162,2	195,3	159,3	190	185,1	205,6
P. Seco + Recipiente	145,4	174,6	142,7	175,5	164,6	181,7
Peso Recipiente	59,7	66,2	61,5	102,7	63,5	60,6
Peso Agua	16,8	20,7	16,6	14,5	20,5	23,9
Peso de Sólidos	85,7	108,4	81,2	72,8	101,1	121,1
Contenido Humedad %	19,60	19,10	20,44	19,92	20,28	19,74
Con. Hum. Prom. %	19,35		20,18		20,01	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,666		1,609		1,534	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	14325		12971		12886	
Masa Molde (gr)	9630		8387		8342	
Masa Muestra Humeda (gr)	4695		4584		4544	
Masa Agua Absorbida	150		163		235	
% Agua Absorbida	3,30%		3,69%		5,45%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	02	05	09	15	25	26
P. Hum. + Recipiente	119	131,2	128,5	107,6	123,8	108,1
P. Seco + Recipiente	101,1	113,9	107,5	90,8	107,3	90,5
Peso Recipiente	25,8	37,6	24,4	23,9	46,3	25,9
Peso Agua	17,9	17,3	21	16,8	16,5	17,6
Peso de Sólidos	75,3	76,3	83,1	66,9	61	64,6
Contenido Humedad %	23,77	22,67	25,27	25,11	27,05	27,24
Con. Hum. Prom. %	23,22		25,19		27,15	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	398,8	132,9	201,0	67,0	143,9	48,0
0,050	661,3	220,4	310,8	103,6	196,1	65,4
0,075	884,0	294,7	411,2	137,1	237,5	79,2
0,100	1077,2	359,1	505,3	168,4	274,3	91,4
0,200	1685,5	561,8	872,7	290,9	405,0	135,0
0,300	2148,9	716,3	1221,4	407,1	518,1	172,7
0,400	2625,1	875,0	1532,9	511,0	628,7	209,6
0,500	3106,2	1035,4	1832,7	610,9	733,7	244,6
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	359,05	35,91%	1,666	561,83	37,46%	1,666
2	168,42	16,84%	1,609	290,90	19,39%	1,609
3	91,43	9,14%	1,534	134,98	9,00%	1,534

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA




Densidad Seca Máxima:	1,702 gr/cm3
-----------------------	--------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
95%	1,617	19,4	21,6

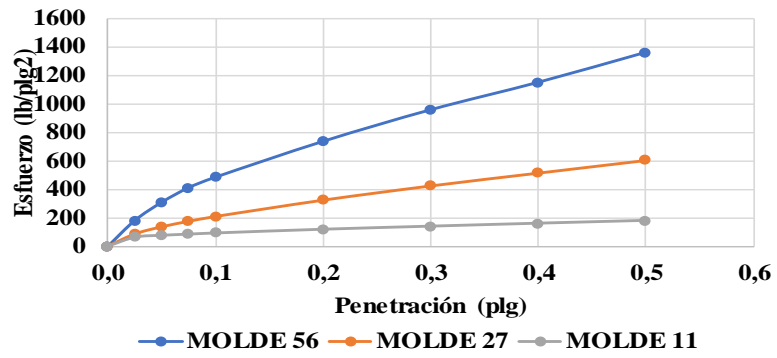
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 136. Ensayo CBR N°2

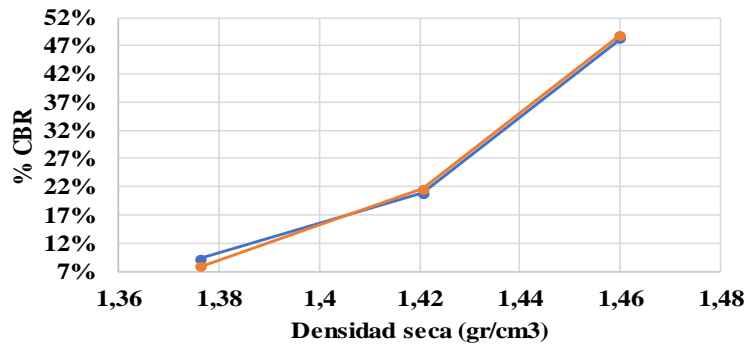
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa Vía: El Pisque-La Merced Profundidad: 70cm Fecha: 22/08/2019 Muestra: 2			Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T-193 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla					
Ensayo CBR								
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:			10lb		
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:			18 plg		
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)			22,40		
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.								
MOLDE N°	1		2		3			
N° de Capas	5		5		5			
N° de Golpes	56		27		11			
12536								
Muestra húmeda + molde (gr)	12122		12276		12484			
Masa Molde (gr)	8392		8301		8634			
Masa Muestra Húmeda (gr)	3730		3975		3850			
Volumen Muestra (cm3)	2086,78		2286,38		2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	1,787		1,739		1,684			
CONTENIDO DE HUMEDAD								
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo		
Recipiente N°	74	35	90	11	59	89		
P. Hum. + Recipiente	80,2	81,1	79,1	80,4	85,7	88,1		
P. Seco + Recipiente	71,2	70,8	70,3	71,3	75,6	77,8		
Peso Recipiente	31,2	24,7	30,7	30,9	30,8	31,3		
Peso Agua	9	10,3	8,8	9,1	10,1	10,3		
Peso de Sólidos	40	46,1	39,6	40,4	44,8	46,5		
Contenido Humedad %	22,50	22,34	22,22	22,52	22,54	22,15		
Con. Hum. Prom. %	22,42		22,37		22,35			
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,460		1,421		1,376			
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN								
Muestra húmeda + molde (gr)	12258		12531		12869			
Masa Molde (gr)	8392		8301		8634			
Masa Muestra Húmeda (gr)	3866		4230		4235			
Masa Agua Absorbida	136		255		385			
% Agua Absorbida	3,65%		6,42%		10,00%			
CONTENIDO DE HUMEDAD								
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo		
Recipiente N°	12	15	14	17	52	56		
P. Hum. + Recipiente	99,2	116,6	104,6	105,8	138,1	136,1		
P. Seco + Recipiente	86,1	101,6	89,1	90,1	115,1	114,1		
Peso Recipiente	36,1	44,5	35,8	36	44	44,8		
Peso Agua	13,1	15	15,5	15,7	23	22		
Peso de Sólidos	50	57,1	53,3	54,1	71,1	69,3		
Contenido Humedad %	26,20	26,27	29,08	29,02	32,35	31,75		
Con. Hum. Prom. %	26,23		29,05		32,05			
ENSAYO CBR								
MOLDE N°	1		2		3			
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)		
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,025	540,0	180,0	257,5	85,8	187,8	62,6		
0,050	921,4	307,1	409,2	136,4	227,0	75,7		
0,075	1228,3	409,4	524,8	174,9	251,3	83,8		
0,100	1447,9	482,6	628,0	209,3	276,2	92,1		
0,200	2200,2	733,4	974,7	324,9	355,0	118,3		
0,300	2863,9	954,6	1276,8	425,6	420,3	140,1		
0,400	3441,0	1147,0	1549,3	516,4	483,0	161,0		
0,500	4071,4	1357,1	1817,9	606,0	542,5	180,8		
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)								
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca		
1	482,64	48,26%	1,460	733,39	48,89%	1,460		
2	209,32	20,93%	1,421	324,90	21,66%	1,421		
3	92,07	9,21%	1,376	118,34	7,89%	1,376		

ENSAYO CBR DELABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,464 gr/cm3
-----------------------	--------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
95%	1,391	13	12

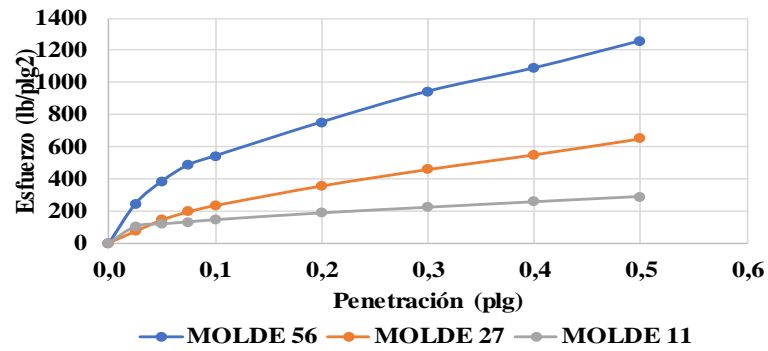
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 137. Ensayo CBR N°3

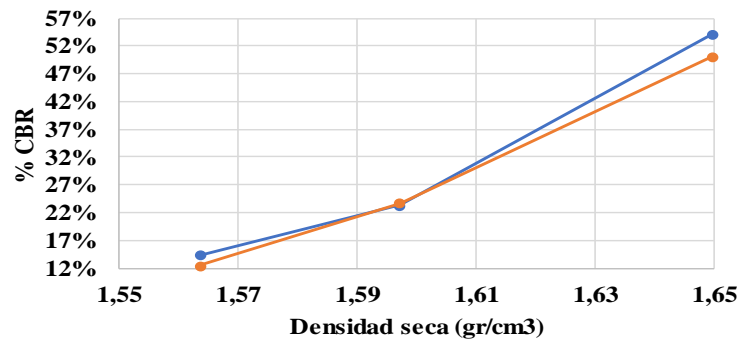
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa Vía: Sta Fé-Sta Teresita Profundidad: 80cm Fecha: 26/08/2019 Muestra: 3			Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T-193 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla					
Ensayo CBR								
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:		10lb			
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:		18 plg			
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)		18,50			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.								
MOLDE N°	1		2		3			
N° de Capas	5		5		5			
N° de Golpes	56		27		11			
12536								
Muestra húmeda + molde (gr)	12735		12446		12501			
Masa Molde (gr)	8301		8392		8634			
Masa Muestra Humeda (gr)	4434		4054		3867			
Volumen Muestra (cm ³)	2268,24		2141,21		2086,78			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,955		1,893		1,853			
CONTENIDO DE HUMEDAD								
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo		
Recipiente N°	74	35	90	11	59	89		
P. Hum. + Recipiente	79,2	79,9	78,2	79,3	84,9	87,3		
P. Seco + Recipiente	71,7	71,3	70,8	71,7	76,4	78,6		
Peso Recipiente	31,2	24,7	30,7	30,9	30,8	31,3		
Peso Agua	7,5	8,6	7,4	7,6	8,5	8,7		
Peso de Sólidos	40,5	46,6	40,1	40,8	45,6	47,3		
Contenido Humedad %	18,52	18,45	18,45	18,63	18,64	18,39		
Con. Hum. Prom. %	18,49		18,54		18,52			
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,650		1,597		1,564			
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN								
Muestra húmeda + molde (gr)	12902		12697		12894			
Masa Molde (gr)	8301		8392		8634			
Masa Muestra Humeda (gr)	4601		4305		4260			
Masa Agua Absorbida	167		251		393			
% Agua Absorbida	3,77%		6,19%		10,16%			
CONTENIDO DE HUMEDAD								
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo		
Recipiente N°	14	21	12	13	20	28		
P. Hum. + Recipiente	98,2	115,6	103,4	103,7	135	133,9		
P. Seco + Recipiente	87	102,7	90,2	90,5	115,1	114,1		
Peso Recipiente	36,1	44,5	35,8	36	44	44,8		
Peso Agua	11,2	12,9	13,2	13,2	19,9	19,8		
Peso de Sólidos	50,9	58,2	54,4	54,5	71,1	69,3		
Contenido Humedad %	22,00	22,16	24,26	24,22	27,99	28,57		
Con. Hum. Prom. %	22,08		24,24		28,28			
ENSAYO CBR								
MOLDE N°	1		2		3			
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)		
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,025	736,1	245,4	216,4	72,1	309,2	103,1		
0,050	1156,3	385,4	431,6	143,9	353,3	117,8		
0,075	1463,0	487,7	583,3	194,4	391,7	130,6		
0,100	1626,6	542,2	699,1	233,0	431,9	144,0		
0,200	2257,1	752,4	1066,8	355,6	559,5	186,5		
0,300	2831,2	943,7	1375,1	458,4	665,4	221,8		
0,400	3268,1	1089,4	1651,8	550,6	768,1	256,0		
0,500	3774,2	1258,1	1952,0	650,7	867,2	289,1		
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)								
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca		
1	542,18	54,22%	1,650	752,35	50,16%	1,650		
2	233,03	23,30%	1,597	355,60	23,71%	1,597		
3	143,97	14,40%	1,564	186,48	12,43%	1,564		

ENSAYO CBR DELABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,669 gr/cm ³
-----------------------	--------------------------

DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
95%	1,586	20	19,6

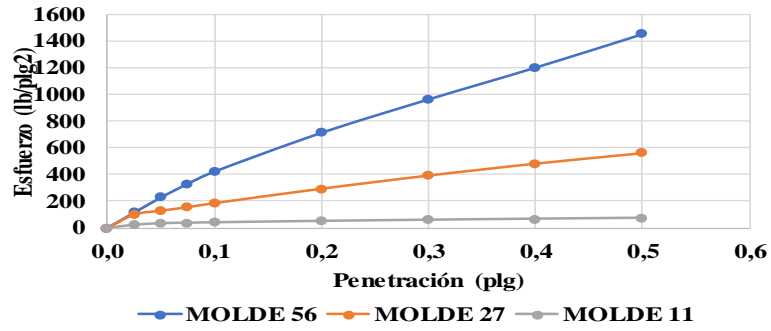
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 138. Ensayo CBR N°4

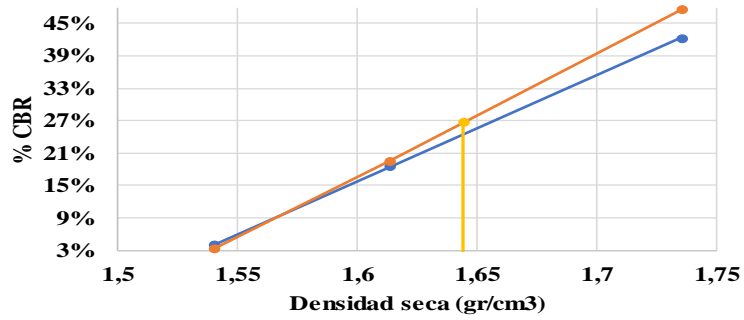
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa		Proyecto: Tesis de Grado				
Vía: Sta Fé- Sta Teresita		Normas: AASHTO T-193 2013				
Profundidad: 1m		Ensayado por: Cristhian Bonilla				
Fecha: 29/08/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla				
Muestra: 4						
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10lb			
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18in			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	15,40			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
DATOS DEL MOLDEO						
Muestra húmeda + molde (gr)	11583	11259	10572			
Masa Molde (gr)	7075	7028	6431			
Masa Muestra Humeda (gr)	4508	4231	4141			
Volumen Muestra (cm3)	2286,38	2286,38	2340,82			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	1,972	1,851	1,769			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	39	48	43	22	47	09
P. Hum. + Recipiente	118,2	153,9	108,4	102,7	146,5	109,8
P. Seco + Recipiente	107,1	140	97,8	92,5	133,7	98,8
Peso Recipiente	25,8	37,6	24,4	23,9	46,3	25,9
Peso Agua	11,1	13,9	10,6	10,2	12,8	11
Peso de Sólidos	81,3	102,4	73,4	68,6	87,4	72,9
Contenido Humedad %	13,65	13,57	14,44	14,87	14,65	15,09
Con. Hum. Prom. %	13,61		14,66		14,87	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,735		1,614		1,540	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11822		11610		11023	
Masa Molde (gr)	7075		7028		6431	
Masa Muestra Humeda (gr)	4747		4582		4592	
Masa Agua Absorbida	239		351		451	
% Agua Absorbida	5,30%		8,30%		10,89%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	65	12	53	60	86	11
P. Hum. + Recipiente	83,3	80,9	90,4	93	92,6	95,7
P. Seco + Recipiente	75	72,1	79,5	81,3	80,1	82,1
Peso Recipiente	31	25,2	30,8	30,8	31,2	30,8
Peso Agua	8,3	8,8	10,9	11,7	12,5	13,6
Peso de Sólidos	44	46,9	48,7	50,5	48,9	51,3
Contenido Humedad %	18,86	18,76	22,38	23,17	25,56	26,51
Con. Hum. Prom. %	18,81		22,78		26,04	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	343,8	114,6	298,6	99,5	66,5	22,2
0,050	686,6	228,9	386,8	128,9	100,6	33,5
0,075	993,6	331,2	466,3	155,4	110,9	37,0
0,100	1269,3	423,1	556,8	185,6	120,5	40,2
0,200	2143,3	714,4	882,6	294,2	150,6	50,2
0,300	2896,6	965,5	1178,5	392,8	175,2	58,4
0,400	3613,9	1204,6	1446,8	482,3	198,0	66,0
0,500	4368,6	1456,2	1683,8	561,3	217,9	72,6
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	423,10	42,31%	1,735	714,43	47,63%	1,735
2	185,60	18,56%	1,614	294,20	19,61%	1,614
3	40,17	4,02%	1,540	50,20	3,35%	1,540

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,731 gr/cm³
-----------------------	--------------

DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
95%	1,644	24,3	26,7

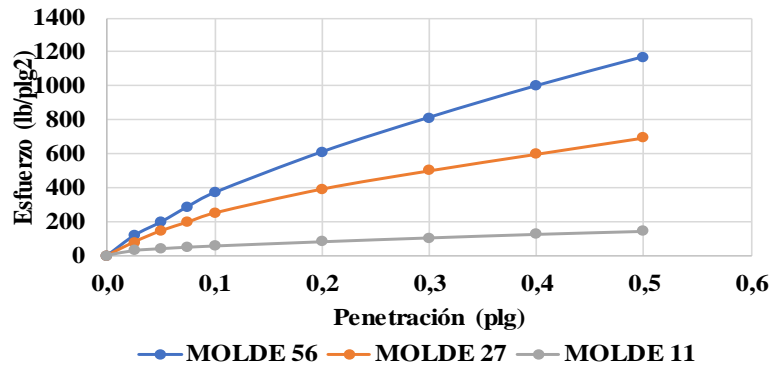
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 139. Ensayo CBR N°5

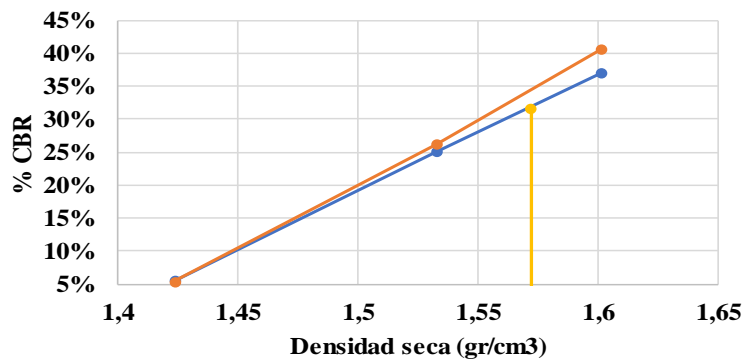
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa Vía: San Pedro-Chaupi Profundidad: 60cm Fecha: 02/09/2019 Muestra: 5		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T-193 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10lb			
NORMA:	AASHTO T-183	ALTURA DE CAIDA:	18 plg			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	21,80			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
12536						
Muestra húmeda + molde (gr)	12746	10197	10543			
Masa Molde (gr)	8301	6408	7006			
Masa Muestra Humeda (gr)	4445	3789	3537			
Volumen Muestra (cm3)	2304,53	2054,11	2068,63			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	1,929	1,845	1,710			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	07	12	11	59	89	90
P. Hum. + Recipiente	90,5	88,7	93,7	92,1	88,1	87,9
P. Seco + Recipiente	80,4	78,9	83,1	81,7	78,2	77,4
Peso Recipiente	31,3	30,7	30,9	30,7	28,8	25,3
Peso Agua	10,1	9,8	10,6	10,4	9,9	10,5
Peso de Sólidos	49,1	48,2	52,2	51	49,4	52,1
Contenido Humedad %	20,57	20,33	20,31	20,39	20,04	20,15
Con. Hum. Prom. %	20,45		20,35		20,10	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,601		1,533		1,424	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12918		10440		10867	
Masa Molde (gr)	8301		6408		7006	
Masa Muestra Humeda (gr)	4617		4032		3861	
Masa Agua Absorbida	172		243		324	
% Agua Absorbida	3,87%		6,41%		9,16%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	07	12	59	11	89	90
P. Hum. + Recipiente	76,2	70,4	68,6	64,3	75,3	70,5
P. Seco + Recipiente	66,5	61,2	60,2	57,1	64,7	61,3
Peso Recipiente	28,8	25,3	30,7	30,9	31,3	30,7
Peso Agua	9,7	9,2	8,4	7,2	10,6	9,2
Peso de Sólidos	37,7	35,9	29,5	26,2	33,4	30,6
Contenido Humedad %	25,73	25,63	28,47	27,48	31,74	30,07
Con. Hum. Prom. %	25,68		27,98		30,90	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	350,5	116,8	238,5	79,5	84,2	28,1
0,050	589,9	196,6	438,2	146,1	118,1	39,4
0,075	862,4	287,5	592,8	197,6	144,6	48,2
0,100	1108,8	369,6	753,7	251,2	166,6	55,5
0,200	1826,7	608,9	1178,1	392,7	243,3	81,1
0,300	2435,9	812,0	1503,2	501,1	313,3	104,4
0,400	2996,2	998,7	1798,8	599,6	377,8	125,9
0,500	3508,1	1169,4	2089,3	696,4	432,1	144,0
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	369,60	36,96%	1,601	608,90	40,59%	1,601
2	251,23	25,12%	1,533	392,70	26,18%	1,533
3	55,53	5,55%	1,424	81,10	5,41%	1,424

ENSAYO CBR DELABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,655 gr/cm³
-----------------------	--------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
95%	1,572	31,7	34,5

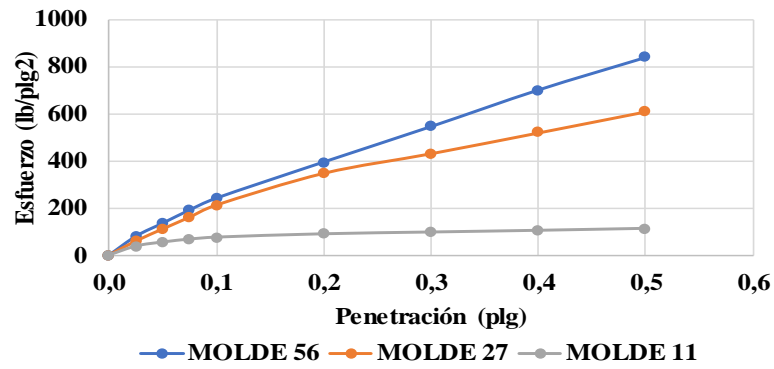
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 140. Ensayo CBR N°6

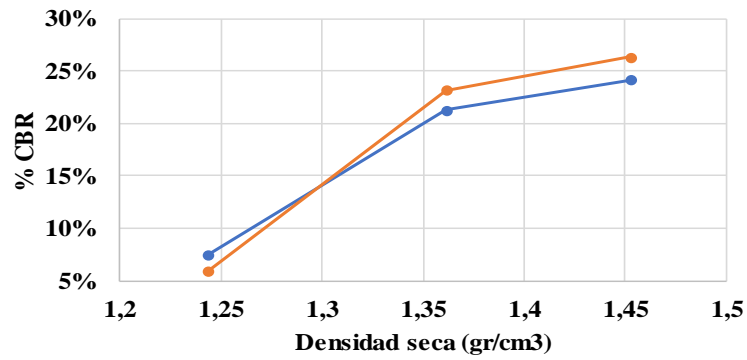
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa Vía: San Pedro-Chaupi Profundidad: 60cm Fecha: 05/09/2019 Muestra: 6		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T-193 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10lb			
NORMA:	AASHTO T-183	ALTURA DE CAIDA:	18 plg			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	18,40			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
12536						
Muestra húmeda + molde (gr)	12237	11747	11996			
Masa Molde (gr)	8301	8392	8634			
Masa Muestra Humeda (gr)	3936	3355	3362			
Volumen Muestra (cm3)	2286,38	2086,78	2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	1,721	1,608	1,470			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	60	53	47	22	86	65
P. Hum. + Recipiente	97,2	101,9	114,8	93,5	99,6	103,8
P. Seco + Recipiente	86,8	90,9	104,4	82,8	88,8	92,9
Peso Recipiente	31	30,9	46,5	24	31,2	31,2
Peso Agua	10,4	11	10,4	10,7	10,8	10,9
Peso de Sólidos	55,8	60	57,9	58,8	57,6	61,7
Contenido Humedad %	18,64	18,33	17,96	18,20	18,75	17,67
Con. Hum. Prom. %	18,49		18,08		18,21	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,453		1,362		1,244	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12569		12137		12496	
Masa Molde (gr)	8301		8392		8634	
Masa Muestra Humeda (gr)	4268		3745		3862	
Masa Agua Absorbida	332		390		500	
% Agua Absorbida	8,43%		11,62%		14,87%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	53	35	74	89	47	59
P. Hum. + Recipiente	102,2	92,9	95,2	94,3	122	102,7
P. Seco + Recipiente	87,5	78,7	80,9	80,4	103,4	85
Peso Recipiente	30,7	24,6	31	31,1	46,3	30,6
Peso Agua	14,7	14,2	14,3	13,9	18,6	17,7
Peso de Sólidos	56,8	54,1	49,9	49,3	57,1	54,4
Contenido Humedad %	25,88	26,25	28,66	28,19	32,57	32,54
Con. Hum. Prom. %	26,06		28,43		32,56	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	239,5	79,8	178,9	59,6	113,5	37,8
0,050	405,6	135,2	333,3	111,1	163,3	54,4
0,075	572,8	190,9	483,6	161,2	200,6	66,9
0,100	723,6	241,2	638,6	212,9	225,2	75,1
0,200	1183,0	394,3	1043,3	347,8	267,3	89,1
0,300	1633,9	544,6	1293,6	431,2	289,7	96,6
0,400	2098,8	699,6	1559,2	519,7	311,4	103,8
0,500	2513,3	837,8	1828,6	609,5	336,4	112,1
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	241,20	24,12%	1,453	394,33	26,29%	1,453
2	212,87	21,29%	1,362	347,77	23,18%	1,362
3	75,07	7,51%	1,244	89,10	5,94%	1,244

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,437 gr/cm ³
-----------------------	--------------------------

DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
95%	1,365	21,4	23,3

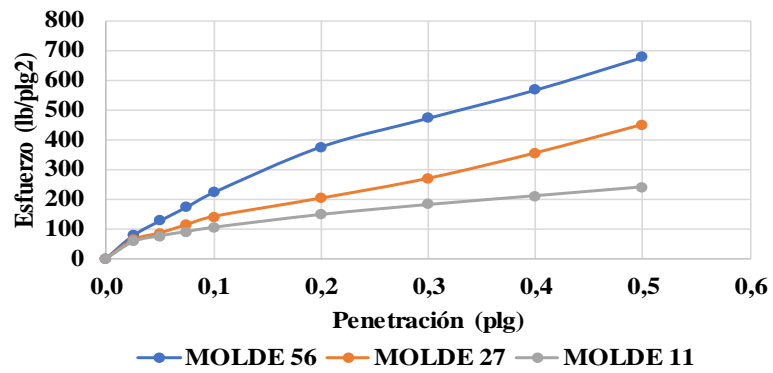
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 141. Ensayo CBR N°7

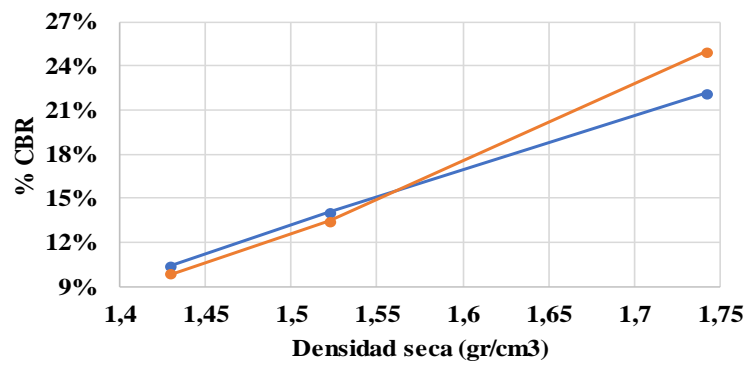
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa Vía: Esperanza-San Pedro Profundidad: 60cm Fecha: 09/09/2019 Muestra: 7		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T-193 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:			
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:			
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)		17,90	
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		27		11	
DATOS DEL MOLDEO						
Muestra húmeda + molde (gr)	13090		13769		12175	
Masa Molde (gr)	8390		9630		8342	
Masa Muestra Humeda (gr)	4700		4139		3833	
Volumen Muestra (cm3)	2277,31		2277,36		2253,34	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	2,064		1,817		1,701	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	53	60	65	11	12	86
P. Hum. + Recipiente	104,1	96,1	97,9	88,7	98,9	93,5
P. Seco + Recipiente	92,6	86	86,8	79,5	87,1	83,6
Peso Recipiente	30,8	30,9	31	30,8	25,2	31,2
Peso Agua	11,5	10,1	11,1	9,2	11,8	9,9
Peso de Sólidos	61,8	55,1	55,8	48,7	61,9	52,4
Contenido Humedad %	18,61	18,33	19,89	18,89	19,06	18,89
Con. Hum. Prom. %	18,47		19,39		18,98	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,742		1,522		1,430	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	13167		13968		12520	
Masa Molde (gr)	8390		9630		8342	
Masa Muestra Humeda (gr)	4777		4338		4178	
Masa Agua Absorbida	77		199		345	
% Agua Absorbida	1,64%		4,81%		9,00%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	37	27	89	17	01	24
P. Hum. + Recipiente	105,4	87,4	100,6	91,2	108,6	104,9
P. Seco + Recipiente	92,1	76,7	87,1	78,2	90,2	87,1
Peso Recipiente	25,9	25,1	31,3	24,6	23,7	24,1
Peso Agua	13,3	10,7	13,5	13	18,4	17,8
Peso de Sólidos	66,2	51,6	55,8	53,6	66,5	63
Contenido Humedad %	20,09	20,74	24,19	24,25	27,67	28,25
Con. Hum. Prom. %	20,41		24,22		27,96	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	228,9	76,3	186,8	62,3	168,6	56,2
0,050	378,1	126,0	254,7	84,9	226,3	75,4
0,075	516,8	172,3	339,6	113,2	270,3	90,1
0,100	663,6	221,2	420,6	140,2	312,6	104,2
0,200	1123,8	374,6	604,2	201,4	442,3	147,4
0,300	1413,4	471,1	803,5	267,8	542,8	180,9
0,400	1698,7	566,2	1059,5	353,2	631,9	210,6
0,500	2028,6	676,2	1345,2	448,4	721,8	240,6
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	221,20	22,12%	1,742	374,60	24,97%	1,742
2	140,20	14,02%	1,522	201,40	13,43%	1,522
3	104,20	10,42%	1,430	147,43	9,83%	1,430

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,742 gr/cm³
-----------------------	--------------

DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
95%	1,655	18,8	20,4

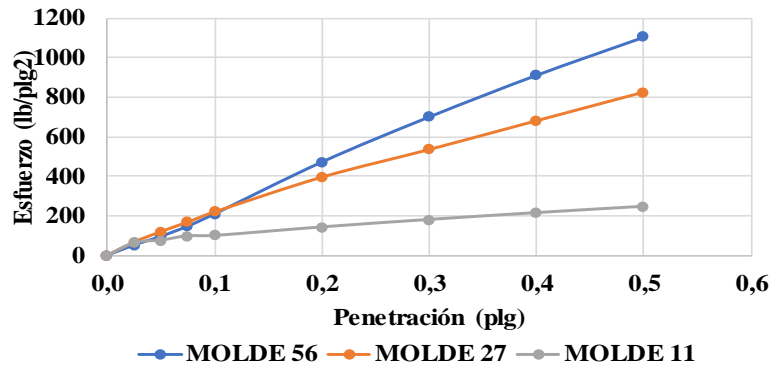
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 142. Ensayo CBR N°8

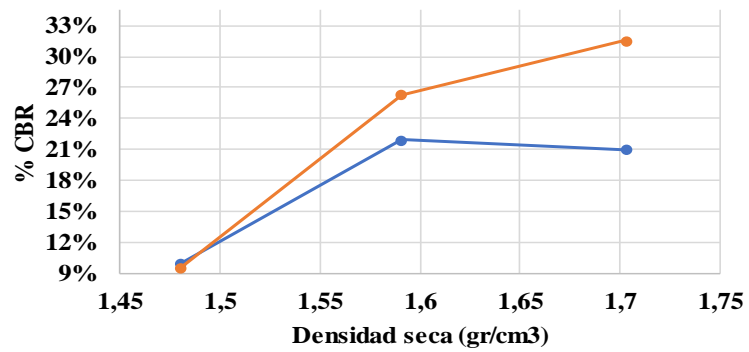
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Augusto Martínez		Proyecto: Tesis de Grado				
Vía: Esperanza-San Pedro		Normas: AASHTO T-193 2013				
Profundidad: 90cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla				
Fecha: 12/09/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla				
Muestra: 8						
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10lb			
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18in			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	16,30			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
DATOS DEL MOLDEO						
Muestra húmeda + molde (gr)	14215	12672	12296			
Masa Molde (gr)	9630	8387	8342			
Masa Muestra Humeda (gr)	4585	4285	3954			
Volumen Muestra (cm3)	2277,31	2277,36	2253,34			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	2,013	1,882	1,755			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	12	11	34	13	90	57
P. Hum. + Recipiente	84,8	66,7	58,5	69,2	117,5	124,1
P. Seco + Recipiente	73,1	57,4	50,5	59,9	104,2	109,2
Peso Recipiente	7,2	7,6	7,7	7,9	30,6	31
Peso Agua	11,7	9,3	8	9,3	13,3	14,9
Peso de Sólidos	65,9	49,8	42,8	52	73,6	78,2
Contenido Humedad %	17,75	18,67	18,69	17,88	18,07	19,05
Con. Hum. Prom. %	18,21		18,29		18,56	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,703		1,591		1,480	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	14268		12820		12553	
Masa Molde (gr)	9630		8387		8342	
Masa Muestra Humeda (gr)	4638		4433		4211	
Masa Agua Absorbida	53		148		257	
% Agua Absorbida	1,16%		3,45%		6,50%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	60	54	69	53	11	65
P. Hum. + Recipiente	112,2	116,2	105,1	112,6	97,9	106,3
P. Seco + Recipiente	98,6	102,1	91,5	97,8	84,6	91,2
Peso Recipiente	30,8	31	30,5	30,8	30,9	30,5
Peso Agua	13,6	14,1	13,6	14,8	13,3	15,1
Peso de Sólidos	67,8	71,1	61	67	53,7	60,7
Contenido Humedad %	20,06	19,83	22,30	22,09	24,77	24,88
Con. Hum. Prom. %	19,95		22,19		24,82	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	156,2	52,1	200,5	66,8	188,6	62,9
0,050	288,0	96,0	358,9	119,6	228,3	76,1
0,075	443,8	147,9	503,1	167,7	293,3	97,8
0,100	629,9	210,0	656,8	218,9	297,6	99,2
0,200	1418,8	472,9	1183,4	394,5	425,9	142,0
0,300	2103,6	701,2	1602,3	534,1	538,5	179,5
0,400	2736,9	912,3	2038,6	679,5	641,2	213,7
0,500	3316,3	1105,4	2472,6	824,2	737,3	245,8
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	209,97	21,00%	1,703	472,93	31,53%	1,703
2	218,93	21,89%	1,591	394,47	26,30%	1,591
3	99,20	9,92%	1,480	141,97	9,46%	1,480

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,708 gr/cm³
-----------------------	--------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
95%	1,623	21,5	27,9

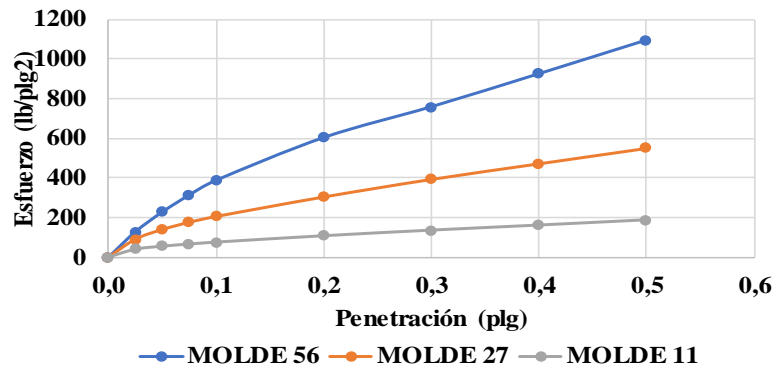
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 143. Ensayo CBR N°9

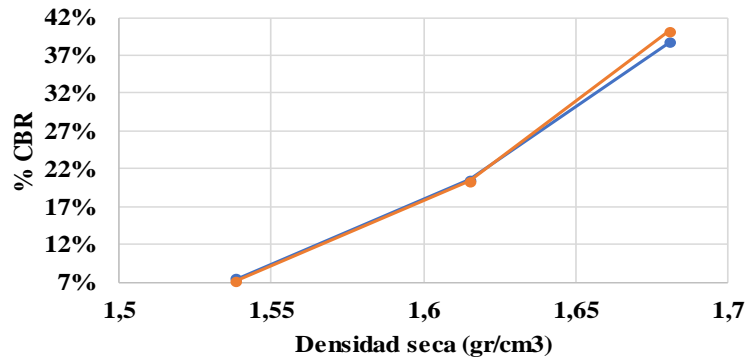
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Augusto Martínez		Proyecto: Tesis de Grado				
Vía: Martínez-Esperanza		Normas: AASHTO T-193 2013				
Profundidad: 90cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla				
Fecha: 16/09/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla				
Muestra: 9						
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:				
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:				
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	18,80			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
DATOS DEL MOLDEO						
Muestra húmeda + molde (gr)	11602	11392	10695			
Masa Molde (gr)	7075	7028	6431			
Masa Muestra Húmeda (gr)	4527	4364	4264			
Volumen Muestra (cm ³)	2286,38	2286,38	2340,82			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,980	1,909	1,822			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	25	28	24	27	21	22
P. Hum. + Recipiente	161,3	194,4	158,4	189,1	184	204,7
P. Seco + Recipiente	145,9	175,1	143,3	176	165,1	182,5
Peso Recipiente	59,7	66,2	61,5	102,7	63,5	60,6
Peso Agua	15,4	19,3	15,1	13,1	18,9	22,2
Peso de Sólidos	86,2	108,9	81,8	73,3	101,6	121,9
Contenido Humedad %	17,87	17,72	18,46	17,87	18,60	18,21
Con. Hum. Prom. %	17,79		18,17		18,41	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,681		1,615		1,538	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11784		11599		10995	
Masa Molde (gr)	7075		7028		6431	
Masa Muestra Húmeda (gr)	4709		4571		4564	
Masa Agua Absorbida	182		207		300	
% Agua Absorbida	4,02%		4,74%		7,04%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	39	48	43	22	47	09
P. Hum. + Recipiente	118,2	131,3	127,4	106,6	122,7	107
P. Seco + Recipiente	101,6	114,5	108	91,3	107,3	90,7
Peso Recipiente	25,8	37,6	24,4	23,9	46,3	25,9
Peso Agua	16,6	16,8	19,4	15,3	15,4	16,3
Peso de Sólidos	75,8	76,9	83,6	67,4	61	64,8
Contenido Humedad %	21,90	21,85	23,21	22,70	25,25	25,15
Con. Hum. Prom. %	21,87		22,95		25,20	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	383,6	127,9	272,2	90,7	118,3	39,4
0,050	683,3	227,8	418,2	139,4	162,9	54,3
0,075	938,6	312,9	528,8	176,3	195,9	65,3
0,100	1161,3	387,1	616,9	205,6	225,0	75,0
0,200	1808,2	602,7	913,3	304,4	321,8	107,3
0,300	2273,9	758,0	1180,7	393,6	406,8	135,6
0,400	2773,9	924,6	1418,2	472,7	483,9	161,3
0,500	3283,6	1094,5	1653,2	551,1	563,5	187,8
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	387,10	38,71%	1,681	602,73	40,18%	1,681
2	205,63	20,56%	1,615	304,43	20,30%	1,615
3	75,00	7,50%	1,538	107,27	7,15%	1,538

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,695 gr/cm ³
-----------------------	--------------------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
95%	1,610	19,5

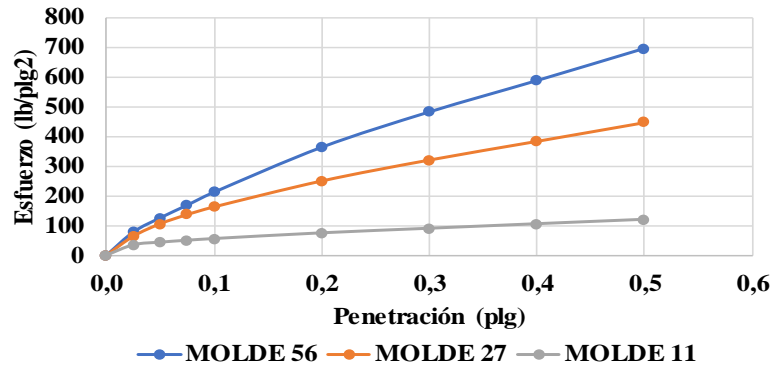
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 144. Ensayo CBR N°10

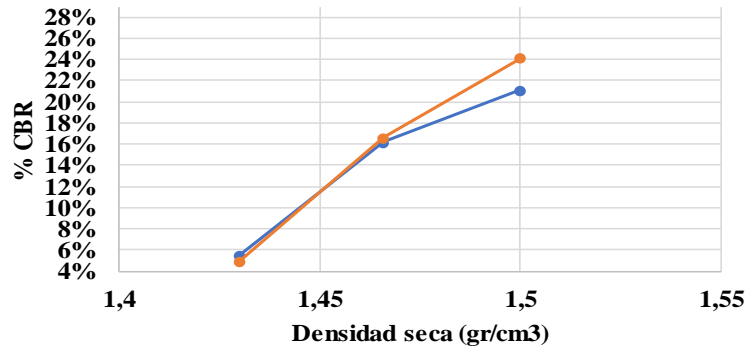
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Augusto Martínez		Proyecto: Tesis de Grado				
Vía: Martínez-Esperanza		Normas: AASHTO T-193 2013				
Profundidad: 55cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla				
Fecha: 16/09/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla				
Muestra: 10						
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:				
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:				
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	22,80			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
DATOS DEL MOLDEO						
Muestra húmeda + molde (gr)	10731	11235	11068			
Masa Molde (gr)	6431	7028	7075			
Masa Muestra Humeda (gr)	4300	4207	3993			
Volumen Muestra (cm3)	2343,47	2325,44	2271,36			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	1,835	1,809	1,758			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	54	69	03	16	34	19
P. Hum. + Recipiente	117,1	96,9	104,3	116,4	92,2	97,5
P. Seco + Recipiente	101,3	84,8	89,5	99	79,1	84,5
Peso Recipiente	30,5	30,6	26,7	24,2	23,3	26,4
Peso Agua	15,8	12,1	14,8	17,4	13,1	13
Peso de Sólidos	70,8	54,2	62,8	74,8	55,8	58,1
Contenido Humedad %	22,32	22,32	23,57	23,26	23,48	22,38
Con. Hum. Prom. %	22,32		23,41		22,93	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,500		1,466		1,430	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10807		11366		11433	
Masa Molde (gr)	6431		7028		7075	
Masa Muestra Humeda (gr)	4376		4338		4358	
Masa Agua Absorbida	76		131		365	
% Agua Absorbida	1,77%		3,11%		9,14%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	68	08	59	07	36	75
P. Hum. + Recipiente	110,7	79,7	88,8	93	91	108,5
P. Seco + Recipiente	94,8	69,3	76,7	79,6	75,1	89,8
Peso Recipiente	30,7	26,6	30,7	28,7	24,7	30,6
Peso Agua	15,9	10,4	12,1	13,4	15,9	18,7
Peso de Sólidos	64,1	42,7	46	50,9	50,4	59,2
Contenido Humedad %	24,80	24,36	26,30	26,33	31,55	31,59
Con. Hum. Prom. %	24,58		26,32		31,57	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	233,0	77,7	190,9	63,6	103,8	34,6
0,050	375,6	125,2	316,4	105,5	129,8	43,3
0,075	503,2	167,7	408,7	136,2	149,2	49,7
0,100	633,7	211,2	486,3	162,1	166,5	55,5
0,200	1086,6	362,2	748,1	249,4	224,3	74,8
0,300	1442,5	480,8	959,5	319,8	270,7	90,2
0,400	1758,7	586,2	1148,2	382,7	316,7	105,6
0,500	2083,2	694,4	1337,6	445,9	361,6	120,5
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	211,23	21,12%	1,500	362,20	24,15%	1,500
2	162,10	16,21%	1,466	249,37	16,62%	1,466
3	55,50	5,55%	1,430	74,77	4,98%	1,430

ENSAYO CBR DE LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,563 gr/cm3
-----------------------	--------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
95%	1,485	18,8	20,6

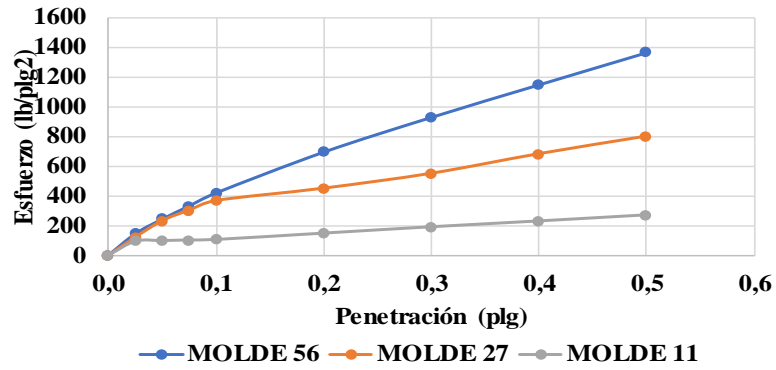
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 145. Ensayo CBR N°11

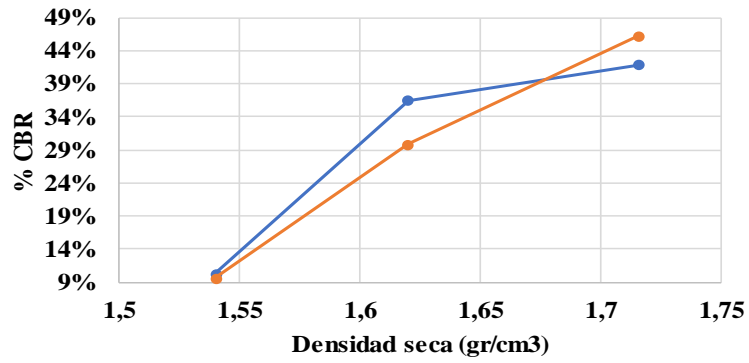
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa Vía: Atahualpa-El Pisque Profundidad: 80cm Fecha: 19/09/2019 Muestra: 11		Proyecto: Tesis de Grado Normas: AASHTO T-193 2013 Ensayado por: Cristhian Bonilla Revisado por: Ing. Favio Portilla				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10lb			
NORMA:	AASHTO T-183	ALTURA DE CAIDA:	18 plg			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	16,00			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
12536						
Muestra húmeda + molde (gr)	11204	11881	12718			
Masa Molde (gr)	6724	7586	8631			
Masa Muestra Humeda (gr)	4480	4295	4087			
Volumen Muestra (cm ³)	2250,09	2286,38	2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm ³)	1,991	1,879	1,788			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	48	24	36	65	27	09
P. Hum. + Recipiente	127,4	92,4	87,7	89,9	113,5	101,2
P. Seco + Recipiente	114,7	83,2	78,7	82,1	101,6	90,5
Peso Recipiente	37,6	24,1	24,7	31	25,1	25,9
Peso Agua	12,7	9,2	9	7,8	11,9	10,7
Peso de Sólidos	77,1	59,1	54	51,1	76,5	64,6
Contenido Humedad %	16,47	15,57	16,67	15,26	15,56	16,56
Con. Hum. Prom. %	16,02		15,97		16,06	
Peso Unitario Seco (gr/cm ³)	1,716		1,620		1,540	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	11316		12081		13028	
Masa Molde (gr)	6724		7586		8631	
Masa Muestra Humeda (gr)	4592		4495		4397	
Masa Agua Absorbida	112		200		310	
% Agua Absorbida	2,50%		4,66%		7,59%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	53	74	89	57	59	35
P. Hum. + Recipiente	105,2	109	111,3	110,1	104,3	102,2
P. Seco + Recipiente	93,5	96,5	98,1	95,7	90,3	87
Peso Recipiente	30,8	31,1	31,2	30,9	30,6	24,6
Peso Agua	11,7	12,5	13,2	14,4	14	15,2
Peso de Sólidos	62,7	65,4	66,9	64,8	59,7	62,4
Contenido Humedad %	18,66	19,11	19,73	22,22	23,45	24,36
Con. Hum. Prom. %	18,89		20,98		23,90	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)	Dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	432,6	144,2	363,3	121,1	276,8	92,3
0,050	726,6	242,2	693,6	231,2	287,6	95,9
0,075	992,8	330,9	903,3	301,1	299,4	99,8
0,100	1256,2	418,7	1095,4	365,1	309,8	103,3
0,200	2080,6	693,5	1343,2	447,7	436,8	145,6
0,300	2783,0	927,7	1642,7	547,6	563,6	187,9
0,400	3440,8	1146,9	2035,8	678,6	679,8	226,6
0,500	4090,9	1363,6	2389,6	796,5	801,9	267,3
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	418,73	41,87%	1,716	693,53	46,24%	1,716
2	365,13	36,51%	1,620	447,73	29,85%	1,620
3	103,27	10,33%	1,540	145,60	9,71%	1,540

ENSAYO CBR DEL LABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA





Densidad Seca Máxima:	1,716 gr/cm³
-----------------------	--------------

DSM	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg	
95%	1,630	36,8	31,4

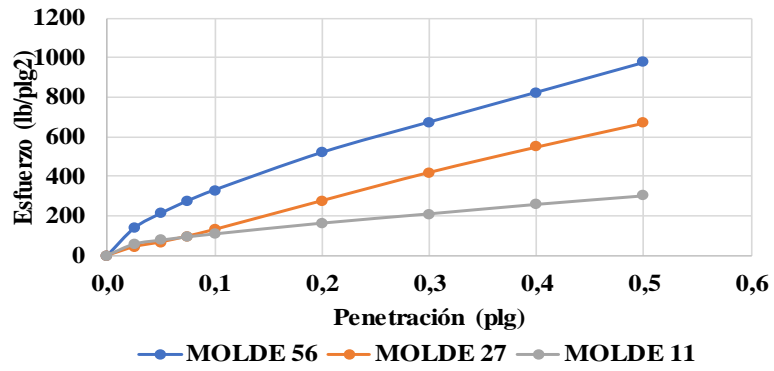
Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 146. Ensayo CBR N°12

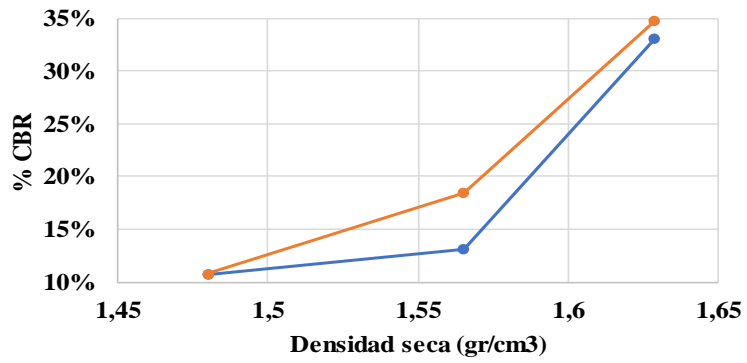
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Parroquia: Atahualpa		Proyecto: Tesis de Grado				
Vía: Atahualpa-El Pisque		Normas: AASHTO T-193 2013				
Profundidad: 60cm		Ensayado por: Cristhian Bonilla				
Fecha: 19/09/2019		Revisado por: Ing. Favio Portilla				
Muestra: 12						
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO						
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10lb			
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18in			
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	20,80			
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.						
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	27	11			
12536						
Muestra húmeda + molde (gr)	12043	11096	12731			
Masa Molde (gr)	7586	6724	8631			
Masa Muestra Húmeda (gr)	4457	4372	4100			
Volumen Muestra (cm3)	2250,09	2286,38	2286,38			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm3)	1,981	1,912	1,793			
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	53	59	57	35	69	74
P. Hum. + Recipiente	85,9	80,2	82,3	77,4	82	81,7
P. Seco + Recipiente	76,1	71,4	73	68,7	72,9	73,1
Peso Recipiente	30,8	30,6	30,9	29,6	31,2	31,1
Peso Agua	9,8	8,8	9,3	8,7	9,1	8,6
Peso de Sólidos	45,3	40,8	42,1	39,1	41,7	42
Contenido Humedad %	21,63	21,57	22,09	22,25	21,82	20,48
Con. Hum. Prom. %	21,60		22,17		21,15	
Peso Unitario Seco (gr/cm3)	1,629		1,565		1,480	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	12090		11190		12875	
Masa Molde (gr)	7586		6724		8631	
Masa Muestra Húmeda (gr)	4504		4466		4244	
Masa Agua Absorbida	47		94		144	
% Agua Absorbida	1,05%		2,15%		3,51%	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente N°	69	1	17	79	3	41
P. Hum. + Recipiente	77,6	74	76,5	80,6	93,5	99,4
P. Seco + Recipiente	69	64,8	66,7	71	80,1	85,6
Peso Recipiente	30,5	23,7	24,6	30,8	26,7	31
Peso Agua	8,6	9,2	9,8	9,6	13,4	13,8
Peso de Sólidos	38,5	41,1	42,1	40,2	53,4	54,6
Contenido Humedad %	22,34	22,38	23,28	23,88	25,09	25,27
Con. Hum. Prom. %	22,36		23,58		25,18	
ENSAYO CBR						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)	Dial	Presión (lb/plg2)
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	413,9	138,0	129,8	43,3	169,4	56,5
0,050	639,3	213,1	203,3	67,8	229,3	76,4
0,075	829,3	276,4	293,6	97,9	279,1	93,0
0,100	993,0	331,0	393,6	131,2	323,6	107,9
0,200	1562,8	520,9	832,1	277,4	488,1	162,7
0,300	2023,8	674,6	1262,0	420,7	629,3	209,8
0,400	2476,2	825,4	1647,6	549,2	773,5	257,8
0,500	2928,7	976,2	2012,2	670,7	903,8	301,3
PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg2)	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg2)	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	331,00	33,10%	1,629	520,93	34,73%	1,629
2	131,20	13,12%	1,565	277,37	18,49%	1,565
3	107,87	10,79%	1,480	162,70	10,85%	1,480

ENSAYO CBR DELABORATORIO

ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



% CBR vs. DENSIDAD SECA



Densidad Seca Máxima:	1,642 gr/cm³
-----------------------	--------------

DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
95%	1,560	12,8	18

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Tabla 147. TPDA



PROYECTO: Tesis
FECHA: 28/09/2019

ESTACIÓN No: 1
DIA: Sábado

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO

UBICACIÓN: Parroquia Atahualpa
ESTADO DEL TIEMPO: Templado

SENTIDO: Sta Fé-Sta Teresita
RESPONSABLE: Cristhian Bonilla

HOJA No: 1

HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS No EJES	SUMATORIA POR HORA	
		AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	DOS EJES	MEDIANOS	TRES EJES			>TRES EJES
6H00	6H00													49
	6H15	3	4	1	1	1	0	1	1	0	0	0		
	6H30	2	4	0	0	1	0	2	1	1	0	0		
	6H45	3	4	0	1	1	0	1	0	1	0	0		
	7H00	4	5	1	0	1	0	2	1	1	0	0		
	SUM PARCIAL	12	17	2	2	4	0	6	3	3	0	0		
7H00	7H00													57
	7H15	3	6	0	0	1	0	1	1	0	0	0		
	7H30	3	5	0	0	1	0	2	1	1	0	0		
	7H45	4	4	0	0	1	0	2	2	1	0	0		
	8H00	4	6	0	0	1	0	2	3	2	0	0		
	SUM PARCIAL	14	21	0	0	4	0	7	7	4	0	0		
8H00	8H00													38
	8H15	2	3	1	1	1	0	1	1	0	0	0		
	8H30	2	3	0	1	1	0	1	1	1	0	0		
	8H45	2	4	0	1	1	0	1	0	0	0	0		
	9H00	1	3	0	1	1	0	1	1	1	0	0		
	SUM PARCIAL	7	13	1	4	4	0	4	3	2	0	0		



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO









PROYECTO: Tesis
 FECHA: 28/09/2019

ESTACIÓN No: 1
 DIA: Sábado

UBICACIÓN: Parroquia Atahualpa
 ESTADO DEL TIEMPO: Templado

SENTIDO: Sta Fé-Sta Teresita
 RESPONSABLE: Cristhian Bonilla

HOJA No: 2

HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS No EJES	SUMATORIA POR HORA
		AUTOMOVILES 	CAMIONETAS 	MOTOS 	LIVIANOS 	MEDIANOS 	PESADOS 	DOS EJES		TRES EJES 	>TRES EJES 		
9H00	9H00												23
	9H15	1	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	
	9H30	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	
	9H45	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
	SUM PARCIAL	3	6	1	1	4	0	4	2	2	0	0	
10H00	10H00												
	10H15	0	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	
	10H30	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	
	10H45	1	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	
	SUM PARCIAL	3	6	1	2	4	0	3	3	1	0	0	
11H00	11H00												29
	11H15	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	11H30	0	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	
	11H45	0	2	0	1	1	0	2	2	0	0	0	
	SUM PARCIAL	2	9	0	3	4	0	6	5	0	0	0	
12H00	12H00	1	2	0	2	2	0	3	1	0	0	0	
	SUM PARCIAL	2	9	0	3	4	0	6	5	0	0	0	



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO











PROYECTO: Tesis
 FECHA: 28/09/2019

ESTACIÓN No: 1
 DIA: Sábado

UBICACIÓN: Parroquia Atahualpa
 ESTADO DEL TIEMPO: Templado

SENTIDO: Sta Fé-Sta Teresita
 RESPONSABLE: Cristhian Bonilla

HOJA No: 3

HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS No Ejes	SUMATORIA TOTAL POR HORA
		AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	DOS EJES		TRES EJES	>TRES EJES		
													
12H00	12H00												
	12H15	2	3	0	1	1	0	1	1	0	0	0	
	12H15												
	12H30	3	4	1	0	2	0	2	1	1	0	0	
	12H30												
	12H45	3	4	1	1	1	0	2	2	0	0	0	
	12H45												
13H00	13H00	2	3	0	1	1	0	1	0	0	0	0	
	SUM PARCIAL	10	14	2	3	5	0	6	4	1	0	0	45
13H00	13H00												
	13H15	2	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	
	13H15												
	13H30	2	1	0	1	1	0	2	1	1	0	0	
	13H30												
	13H45	2	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	
	13H45												
14H00	14H00	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
	SUM PARCIAL	8	6	0	2	4	0	5	2	1	0	0	28
14H00	14H00												
	14H15	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	14H15												
	14H30	0	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
	14H30												
	14H45	2	3	0	1	1	0	1	0	0	0	0	
	14H45												
15H00	15H00	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	
	SUM PARCIAL	6	9	1	2	4	0	2	1	0	0	0	25



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO











PROYECTO: Tesis
 FECHA: 28/09/2019

ESTACIÓN No: 1
 DIA: Sábado

UBICACIÓN: Parroquia Atahualpa
 ESTADO DEL TIEMPO: Templado

SENTIDO: Sta Fé-Sta Teresita
 RESPONSABLE: Cristhian Bonilla

HOJA No: 4

HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS No EJES	SUMATORIA TOTAL POR HORA
		AUTOMOVILES 	CAMIONETAS 	MOTOS 	LIVIANOS 	MEDIANOS 	PESADOS 	DOS EJES		TRES EJES 	>TRES EJES 		
								LIVIANOS 	MEDIANOS 				
15H00	15H00												
	15H15	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	
	15H15												
	15H30	0	2	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
	15H30												
	15H45	0	3	0	1	1	0	0	1	0	0	0	
	12H45												
16H00	16H00	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	SUM PARCIAL	1	6	1	3	4	0	1	3	1	0	0	20
16H00	16H00												
	16H15	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
	16H15												
	16H30	1	1	0	2	1	0	1	1	1	0	0	
	16H30												
	16H45	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	16H45												
17H00	17H00	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
	SUM PARCIAL	2	4	0	3	4	0	2	2	1	0	0	18
17H00	17H00												
	17H15	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	17H15												
	17H30	2	3	0	0	1	0	1	2	0	0	0	
	17H30												
	17H45	1	2	0	1	1	0	1	2	0	0	0	
	17H45												
18H00	18H00	1	2	1	1	0	0	2	1	0	0	0	
	SUM PARCIAL	6	9	1	2	3	0	4	5	0	0	0	30

Autor: Cristhian Andrés Bonilla Espinosa

Fotografías

Fotografía N°1



Capa Vegetal

Fotografía N°2



Muestra de Suelo Secado al ambiente

Fotografía N°3



Tamizado de muestras para el ensayo de Granulometría

Fotografía N°4



Termómetro, pipeta y picnómetro para realizar el ensayo de Gravedad Específica

Fotografía N°5



Materiales y Equipos para el ensayo de Límite Líquido

Fotografía N°6



Placa de vidrio para el ensayo de Límite Plástico

Fotografía N°7



Máquina MULTISPEED 34-V1172
Ensayo CBR

Fotografía N°8



Recipientes metálicos, probeta, martillo de compactación para realizar el ensayo Próctor.