



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 JUAN
BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE
TUNGURAHUA.**

AUTOR:

Christian Eduardo González Aguirre

TUTOR:

Ing. MSc. Favio Portilla

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 JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, es de autoría del Sr. Christian Eduardo González Aguirre, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

En todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, diciembre de 2019



Ing. Mg. Favio Portilla

AUTORÍA

Yo, Christian Eduardo González Aguirre con CI: 160059881-5, 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 JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, es de mi completa autoría.

Ambato, diciembre de 2019



Christian Eduardo González Aguirre

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 esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, diciembre de 2019



Christian Eduardo González Aguirre

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

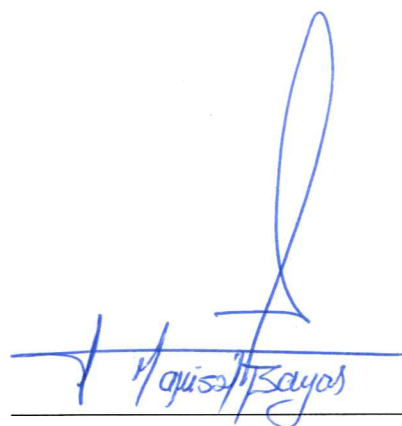
Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, del egresado Christian Eduardo González Aguirre, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, enero del 2020

Para constancia firman.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in an oval shape. The signature appears to be 'LORENA PEREZ M'.

Ing. Mg. Lorena Pérez

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop at the top and a horizontal line at the bottom. The signature appears to be 'Marisol Bayas'.

Ing. Mg. Marisol Bayas

DEDICATORIA

A mi madre Martha, por ser una de las personas más importantes en mi vida y que siempre ha estado presente en todos los buenos y malos momentos que he vivido. Mujer incansable que me ha brindado todo su amor y su cariño, me ha enseñado a ser la persona que soy ahora, me ha inculcado los buenos valores y que siempre debo ser agradecido con Dios. A ella solo le tengo gratitud y amor porque durante todo este largo camino ha sido mi ángel guardián, para ella dedico esto y más.

También quiero dedicar este trabajo a mi padre Victor, hombre que con su coraje y determinación ha sabido siempre mantener la frente en alto y sacar adelante a su familia. Él es un ejemplo para mí, nunca ha permitido que nada me falte y a los demás miembros de mi familia, desde muy pequeño me ha mostrado lo bonito de esta profesión. Sé que es su anhelo verme realizado como persona, cumplir mis sueños y es por esto que este trabajo va dedicado para mi padre, por ser mi modelo a seguir y mi espejo.

A mi hermana Kathe, aunque no compartimos muchos momentos juntos el amor que le tengo es infinito y siempre va a ser un pilar dentro de mi vida. Para ella que aún está joven y ve en mí un modelo de madurez y responsabilidad, quiero dedicarle también este trabajo ya que siempre ha estado apoyándome desde que empecé la vida en la universidad.

Christian González

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por permitirme vivir cada día sin que nada malo suceda a mi alrededor. Él es quien guía mi camino y me ha sabido dar la fortaleza y sabiduría para sobrellevar los momentos difíciles de mi vida. Para mí siempre va a ser y será la luz que guie mis pasos.

Quiero agradecer a mi papá, a mi mamá y hermana, ya que sin ellos nada de esto sería posible. Han sabido brindarme su apoyo y amor durante todo este tiempo de estudio, por eso es que mis más sinceros agradecimientos por estar siempre a mi lado.

A mi tutor Favio Portilla, por brindarme sus conocimientos desinteresadamente y guiarme de forma correcta para poder culminar mi proyecto de grado y convertirme en un profesional. De igual manera quiero agradecer a los demás docentes que formaron parte de mi vida académica y de los cuáles aprendí valiosas enseñanzas que estoy seguro que me servirán en mi futuro profesional.

Por último, quiero agradecer a todos aquellas personas, amigos y amigas que siempre me brindaron su apoyo y con los cuales he compartido maravillosos momentos, sin ellos este proyecto tampoco sería posible. Además, quiero agradecer a mi novia Paulina, por estar a mi lado en todo este proceso de realización de mi proyecto, siempre brindándome su amor y buenos deseos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xxvi
ABSTRACT SUMMARY	xxvii

B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación.....	4
1.1.3. Fundamentación Teórica	5
1.1.3.1. Definición del Suelo.....	5
1.1.3.2. Tipos de Suelos	6
1.1.3.3. Tamaño de las partículas	8
1.1.3.4. Clasificación de los Suelos	9
1.1.3.5. PROPIEDADES ÍNDICE.....	16
1.1.3.6. PROPIEDADES MECÁNCIAS.....	29
1.1.3.7. PAVIMENTO	34
1.1.3.8. TEORÍA DE LA CORRELACIÓN.....	54
1.1.4. Hipótesis	58

1.2.	OBJETIVOS	59
1.2.1.	Objetivo General	59
1.2.2.	Objetivos Específicos	59
CAPÍTULO II		60
2.1.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	60
2.1.1.	Nivel de Investigación.....	60
2.1.2.	Tipos de Investigación	60
2.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	61
2.3.	MATERIALES Y EQUIPOS	64
2.3.1.	Materiales y Equipos	64
2.3.2.	Anexo fotográfico de cada ensayo	65
2.4.	MÉTODOS	70
2.4.1.	Plan de recolección de datos.....	70
2.4.2.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información	71
2.4.3.	Formatos de tablas para la determinación de las diferentes correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas.....	73
CAPÍTULO III.....		77
3.1.	ÁNÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	77
3.1.1.	CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS SUELOS ANALIZADOS 77	
3.1.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS ANALIZADOS.....	78
3.1.3.	CORRELACIONES	85
3.1.3.1.	Tabla de correlación de 2 y 3 variables.....	85
3.1.3.2.	Correlaciones entre las Propiedades Índice	87
3.1.3.3.	Correlaciones DN vs. Propiedades Índice	95
3.1.3.4.	Correlaciones CBR vs. Propiedades Índice.....	103
3.2.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	116

3.3.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	117
3.3.1.	ESTUDIO DE TRÁFICO	117
3.3.2.	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA.....	123
3.3.2.1.	Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible	123
CAPÍTULO IV		155
4.1.	CONCLUSIONES.....	155
4.2.	RECOMENDACIONES.....	158
C. MATERIAL BIBLIOGRÁFICO		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		159
ANEXOS		162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de tamaños de las partículas de suelo.....	8
Tabla 2. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes	10
Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo SUCS (basado en el material que pasa por el tamiz N° 75)	14
Tabla 4. Comparación de los Sistemas AASHTO y SUCS	15
Tabla 5. Valores típicos de Gravedad Específica de varios suelos.....	21
Tabla 6. Tamices con abertura estandarizada	23
Tabla 7. Valores de Carga Unitaria Patrón.....	31
Tabla 8. Tasa de crecimiento de tráfico vehicular	39
Tabla 9. Clasificación de la carretera en función del tráfico proyectado.....	40
Tabla 10. Factores de daño según el tipo de vehículo.....	42
Tabla 11. Valores para Período de Análisis	42
Tabla 12. Factores de distribución por carril	43
Tabla 13. Factor de distribución por dirección.....	43
Tabla 14. Nivel de confiabilidad "R" según el tipo de vía	44
Tabla 15. Valor de Desviación Estándar Normal, Zr.....	44
Tabla 16. Clasificación del tráfico en función IMDP	48
Tabla 17. Estabilidad Marshall de acuerdo IMDP	48
Tabla 18. Módulo elástico de la carpeta asfáltica (a_1)	49
Tabla 19. Coeficientes de la Capa Base (a_2).....	51

Tabla 20. Coeficientes de la Sub-base granular (a_3)	52
Tabla 21. Espesores Mínimos (plg).....	53
Tabla 22. Capacidad de Drenaje	53
Tabla 23. Valores para modificar los coeficientes estructurales de capa de base y sub-base sin tratamiento, en pavimentos flexibles	54
Tabla 24. Materiales y equipos usados para la realización de los ensayos en campo y laboratorio.....	64
Tabla 25. Plan de recolección de datos para la realización del proyecto	70
Tabla 26. Formato de tabla de la Correlación Lineal.....	73
Tabla 27. Formato de tabla de la Correlación Logarítmica.....	74
Tabla 28. Formato de tabla de la Correlación Potencial	75
Tabla 29. Formato de tabla de la Correlación Exponencial	76
Tabla 30. Clasificación de los suelos según la SUCS y la AASHTO.....	78
Tabla 31. Propiedades del suelo.....	80
Tabla 32. Tabla resumen de correlaciones de 2 y 3 variables	85
Tabla 33. Rangos de confiabilidad del Coeficiente de Correlación.....	86
Tabla 34. Hora pico de número de vehículos en la vía Pilahuín – Complejo Aguaján - Proyecto.....	117
Tabla 35. Resumen de estaciones de conteo vehicular - Proyecto	118
Tabla 36. Tasa de crecimiento de tráfico vehicular - Proyecto	119
Tabla 37. Cálculo Total del Tráfico Actual - Proyecto.....	121
Tabla 38. Tráfico Promedio Anual proyectado a los 10 y 20 años - Proyecto. 122	

Tabla 39. Clasificación de la carretera en función del tráfico proyectado.....	123
Tabla 40. Factores de daño según el tipo de vehículo - Proyecto.....	124
Tabla 41. Valores para Período de Análisis - Proyecto	124
Tabla 42. Factores de distribución por carril - Proyecto.....	124
Tabla 43. Factor de distribución por dirección - Proyecto.....	125
Tabla 44. Cálculo del número de Ejes Equivalentes a 8.2 Tons -Proyecto.....	126
Tabla 45. Nivel de confiabilidad "R" según el tipo de vía - Proyecto	127
Tabla 46. Valor de Desviación Estándar Normal, Z_r - Proyecto.....	127
Tabla 47. Clasificación del tráfico en función IMDP - Proyecto	129
Tabla 48. Estabilidad Marshall de acuerdo IMDP - Proyecto.....	130
Tabla 49. Módulo elástico de la carpeta asfáltica (a_1) - Proyecto	131
Tabla 50. Coeficientes de la Capa Base (a_2) - Proyecto.....	132
Tabla 51. Coeficientes de la Sub-base granular (a_3) - Proyecto	134
Tabla 52. Espesores Mínimos (plg) - Proyecto.....	134
Tabla 53. Capacidad de Drenaje - Proyecto	135
Tabla 54. Valores para modificar los coeficientes estructurales de capa de base y sub-base sin tratamiento, en pavimentos flexibles	135
Tabla 55. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - Proyecto	136
Tabla 56. Tabla resumen de valores de CBR obtenidos con el uso de las correlaciones	138
Tabla 57. Límites para la selección del CBR de diseño	139

Tabla 58. Ordenamiento de CBR de menor a mayor	139
Tabla 59. Datos calculados previamente en el diseño de un pavimento flexible	140
Tabla 60. Coeficientes estructurales y de drenaje para la estructura del pavimento	141
Tabla 61. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - CBR Correlación	142
Tabla 62. Nivel de confiabilidad "R" según el tipo de vía - Caso práctico.....	143
Tabla 63. Valor de Desviación Estándar Normal, Z_r – Caso práctico	144
Tabla 64. Clasificación del tráfico en función IMDP - Caso práctico	146
Tabla 65. Estabilidad Marshall de acuerdo IMDP – Caso práctico	147
Tabla 66. Coeficientes estructurales y de drenaje para la estructura del pavimento - Caso Práctico	147
Tabla 67. Espesores Mínimos (plg).....	148
Tabla 68. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - Caso práctico	148
Tabla 69. Límites para la selección del CBR de diseño - W_{18} impuesto	150
Tabla 70. Datos calculados previamente en el diseño de un pavimento flexible - Caso práctico CBR Correlación	151
Tabla 71. Coeficientes estructurales y de drenaje para la estructura del pavimento - Caso práctico CBR correlación	151
Tabla 72. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - Caso práctico CBR correlación	152

Tabla 73. Comparación de los espesores de las capas de pavimento con diferentes W_{18}	154
Tabla 74. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 6 am hasta 9 am	166
Tabla 75. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 9 am hasta 12 pm	167
Tabla 76. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 12 pm hasta 3 pm	168
Tabla 77. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 3 pm hasta 6 pm	169
Tabla 78. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 1	170
Tabla 79. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 2	171
Tabla 80. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 3	172
Tabla 81. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 4	173
Tabla 82. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 5	174
Tabla 83. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 6	175
Tabla 84. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 7	176
Tabla 85. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 8	177
Tabla 86. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 9	178
Tabla 87. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 10	179
Tabla 88. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 11	180
Tabla 89. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 12	181
Tabla 90. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 1	182

Tabla 91. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 2	183
Tabla 92. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 3	184
Tabla 93. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 4	185
Tabla 94. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 5	186
Tabla 95. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 6	187
Tabla 96. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 7	188
Tabla 97. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 8	189
Tabla 98. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 9	190
Tabla 99. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 10	191
Tabla 100. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 11	192
Tabla 101. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 12	193
Tabla 102. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 1	194
Tabla 103. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 2	195
Tabla 104. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 3	196
Tabla 105. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 4	197
Tabla 106. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 5	198
Tabla 107. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 6	199
Tabla 108. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 7	200
Tabla 109. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 8	201
Tabla 110. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 9	202
Tabla 111. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 10 ..	203

Tabla 112. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 11 ..	204
Tabla 113. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 12 ..	205
Tabla 114. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 1	206
Tabla 115. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 2	207
Tabla 116. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 3	208
Tabla 117. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 4	209
Tabla 118. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 5	210
Tabla 119. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 6	211
Tabla 120. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 7	212
Tabla 121. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 8	213
Tabla 122. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 9	214
Tabla 123. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 10	215
Tabla 124. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 11	216
Tabla 125. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 12	217
Tabla 126. Tabla de ensayo de DCP del pozo 1	218
Tabla 127. Tabla de ensayo de DCP del pozo 2	219
Tabla 128. Tabla de ensayo de DCP del pozo 3	220
Tabla 129. Tabla de ensayo de DCP del pozo 4	221
Tabla 130. Tabla de ensayo de DCP del pozo 5	222
Tabla 131. Tabla de ensayo de DCP del pozo 6	223
Tabla 132. Tabla de ensayo de DCP del pozo 7	224

Tabla 133. Tabla de ensayo de DCP del pozo 8	225
Tabla 134. Tabla de ensayo de DCP del pozo 9	227
Tabla 135. Tabla de ensayo de DCP del pozo 10	229
Tabla 136. Tabla de ensayo de DCP del pozo 11	230
Tabla 137. Tabla de ensayo de DCP del pozo 12	232
Tabla 138. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 1	235
Tabla 139. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 2	236
Tabla 140. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 3	237
Tabla 141. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 4	238
Tabla 142. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 5	239
Tabla 143. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 6	240
Tabla 144. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 7	241
Tabla 145. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 8	242
Tabla 146. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 9	243
Tabla 147. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 10	244
Tabla 148. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 11	245
Tabla 149. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 12	246
Tabla 150. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 1	247
Tabla 151. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 2	249
Tabla 152. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 3	251
Tabla 153. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 4	253

Tabla 154. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 5.....	255
Tabla 155. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 6.....	257
Tabla 156. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 7.....	259
Tabla 157. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 8.....	261
Tabla 158. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 9.....	263
Tabla 159. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 10.....	265
Tabla 160. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 11	267
Tabla 161. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 12.....	269

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rango del LL e IP para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7	12
Figura 2. Gráfica de plasticidad.....	15
Figura 3. Relación de vacíos "e".....	17
Figura 4. Porosidad	17
Figura 5. Grado de saturación de agua.....	18
Figura 6. Grado de saturación de aire	19
Figura 7. Determinación del peso unitario de campo con el método del cono de arena	20
Figura 8. Curva Granulométrica	24
Figura 9. Parámetros de Granulometría	25
Figura 10. Pendiente Granulométrica	26
Figura 11. Determinación del Límite Líquido en la Curva de Escurrimiento.....	26
Figura 12. Molde cilíndrico de 152,4 mm (6 in) para el ensayo Proctor Modificado, dimensiones en mm.....	28
Figura 13. Diferencias entre ensayos Proctor Estándar y Modificados	29
Figura 14. Esquema del Cono Dinámico de Penetración.....	33
Figura 15. Curva DCP para una serie de valores	34
Figura 16. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93"	47
Figura 17. Espesores de cada capa, Ecuación AASHTO 1993	47

Figura 18. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a_1	49
Figura 19. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular	50
Figura 20. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Sub-base Granular.....	52
Figura 21. Ejemplos de correlación positiva, correlación negativa y ninguna correlación	55
Figura 22. Mapa Georreferenciado de cada uno de los pozos realizados con sus respectivas coordenadas	62
Figura 23. Mapa georreferenciado de los tipos de suelos en cada pozo según la SUCS	63
Figura 24. Mapa georreferenciado de los tipos de suelos en cada pozo según la AASHTO	63
Figura 25. Excavación del Pozo a Cielo Abierto.....	65
Figura 26. Medición de 1 m de profundidad de Pozo a Cielo Abierto	65
Figura 27. Excavación del orificio de 10 cm para colocación del Cono de Arena	66
Figura 28. Colocación del Cono con la arena de Ottawa para determinar la densidad del suelo	66
Figura 29. Realización del ensayo con el equipo DCP	66
Figura 30. Perforación con el equipo DCP alcanzó profundidades de 70 cm en tres diferentes puntos	66
Figura 31. Colocación de 50 gr de muestra de suelo con agua dentro del Picnómetro.....	67

Figura 32. Muestra de suelo seca después de pasar 24 h en el horno	67
Figura 33. Colocación de la muestra de suelo en los tamices para ser procesada durante 15 min	67
Figura 34. Toma de pesos parciales de cada muestra de suelo retenida en los tamices.....	67
Figura 35. Muestra de suelo húmeda dividida en dos partes para posterior contabilización de golpes	68
Figura 36. Recolección de una parte de la muestra de suelo después de ser ensayada en la Copa Casagrande	68
Figura 37. Realización de tiras de 3 mm de diámetro de la muestra de suelo	68
Figura 38. Peso de la tira de la muestra de suelo para obtener su contenido de humedad.....	68
Figura 39. Compactación de la muestra de suelo en 5 capas diferentes por medio del martillo.....	69
Figura 40. Peso de la muestra compactada con variación de humedad en un cilindro metálico	69
Figura 41. Colocación de pesas sobre los moldes con muestras de suelo para posterior sumersión durante 24 h.....	69
Figura 42. Ensayo de los cilindros de tierra posterior remojo durante 24 h	69
Figura 43. Rango granulométrico de los suelos analizados	84
Figura 44. Representación de las muestras en la carta de plasticidad	84
Figura 45. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico	87
Figura 46. Correlación Humedad Óptima vs Densidad Seca In-Situ	88
Figura 47. Correlación Humedad Natural vs Gado de Saturación de Agua.....	89

Figura 48. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación de Aire.....	90
Figura 49. Correlación Humedad Óptima vs Humedad Natural	91
Figura 50. Correlación Humedad Óptima vs Densidad Seca Máxima	92
Figura 51. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima.....	93
Figura 52. Correlación Límite Líquido vs Tamiz N°200 vs Densidad Seca Máxima	94
Figura 53. Correlación Índice de Penetración vs Límite Plástico	95
Figura 54. Correlación Índice de Penetración vs Límite Líquido	96
Figura 55. Correlación Índice de Penetración vs Límite Plástico vs Densidad Seca In-Situ.....	97
Figura 56. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico vs Índice de Penetración	98
Figura 57. Densidad Seca In-Situ vs Coeficiente de Uniformidad vs Índice de Penetración	99
Figura 58. Correlación Densidad Seca In-Situ vs Coeficiente de Curvatura vs Índice de Penetración	100
Figura 59. Correlación Humedad Óptima vs Coeficiente de Uniformidad vs Índice de Penetración.....	101
Figura 60. Correlación Humedad Óptima vs Coeficiente de Curvatura vs Índice de Penetración	102
Figura 61. Correlación Índice de Penetración vs CBR Mayor	103
Figura 62. Correlación Límite Líquido vs Humedad Óptima vs CBR Mayor ..	104

Figura 63. Correlación Densidad Seca In-Situ vs Humedad Natural vs CBR Mayor	105
Figura 64. Correlación Densidad Seca In-Situ vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	106
Figura 65. Correlación Índice Plástico vs Índice Líquido vs CBR Mayor	107
Figura 66. Correlación Índice Plástico vs Humedad Óptima vs CBR Mayor ...	108
Figura 67. Correlación Límite Líquido vs Tamiz N°200 vs CBR Mayor	109
Figura 68. Correlación Relación de Vacíos vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	110
Figura 69. Correlación Porosidad vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	111
Figura 70. Correlación Grado de Saturación de Agua vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	112
Figura 71. Correlación Grado de Saturación de Aire vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	113
Figura 72. Correlación Coeficiente de Uniformidad vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	114
Figura 73. Correlación Coeficiente de Curvatura vs Humedad Óptima vs CBR Mayor	115
Figura 74. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93" - Proyecto	129
Figura 75. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a_1 - Proyecto.....	130
Figura 76. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular - Proyecto.....	132

Figura 77. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Sub-base Granular - Proyecto	133
Figura 78. Determinación del CBR de diseño según el percentil acorde al W_{18}	139
Figura 79. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93"	141
Figura 80. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93" - Caso práctico	146
Figura 81. Determinación del CBR de diseño según el percentil acorde al W_{18} impuesto	150
Figura 82. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93" - Caso práctico CBR correlación	152
Figura 83. Excavación del pozo de 1 m ³ aledaño a la vía de análisis.....	162
Figura 84. Realización del ensayo de Cono y Arena para determinación de la densidad seca	162
Figura 85. Pesos parciales de los tamices del ensayo granulométrico de la muestra de suelo.....	163
Figura 86. Determinación del límite líquido de la muestra de suelo analizada	163
Figura 87. Colocación de las muestras de suelo en el horno a 110 °C	164
Figura 88. Realización del ensayo de proctor modificado para una muestra de suelo	164
Figura 89. Tamizada de la muestra de suelo a utilizarse para ensayos	165
Figura 90. Conteo del tráfico en la vía de análisis.....	165

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”

AUTOR: Christian Eduardo González Aguirre

TUTOR: Ing. Mg. Favio Portilla

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene por objetivo determinar correlaciones entre las Propiedades Índice y Mecánicas con el CBR de laboratorio, para la ejecución del proyecto se tomó 12 muestras distintas del suelo aledaño a las 3 principales vías de importancia de dos parroquias del cantón Ambato, Juan Benigno Vela y Pilahuín. Posterior a la toma de muestras, se realizó los respectivos ensayos de campo y de laboratorio para determinar las diferentes propiedades de las muestras de suelo analizadas.

Una vez obtenidos los datos necesarios de cada muestra de suelo, se procedió a la correlación entre sus propiedades índice y mecánicas teniendo como resultado un total de 29 correlaciones generadas de dos y tres variables. El nivel de confiabilidad de estas correlaciones va desde el 53 hasta 86 por ciento, variando entre una y otra con el número de muestras analizadas en su conjunto lo que en general se puede traducir a correlaciones de buen grado de confiabilidad.

Con respecto a la determinación del CBR del proyecto por medio de las correlaciones planteadas para su aplicación en un trazado de una estructura de pavimento en suelos granulares, se puede decir que presentan una buena relación con un error mínimo en base al valor real calculado por medio de ensayos de laboratorio. Estas correlaciones están diseñadas específicamente para su uso en suelos granulares uniformes.

ABSTRACT SUMMARY

SUBJECT: “CORRELATION BETWEEN THE CBR AND THE INDEX AND MECHANICAL PROPERTIES IN GRANULAR SOILS, OF JUAN BENIGNO VELA AND PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO PARISHES. TUNGURAHUA PROVINCE.”

AUTHOR: Christian Eduardo González Aguirre

TUTOR: Ing. Mg. Favio Portilla

The purpose of this research is to determine correlations between the Index and Mechanical Properties with the laboratory CBR, for the execution of the project, 12 different samples of the surrounding soil were taken from the 3 main roads of importance of two parishes in the canton Ambato, Juan Benigno Vela and Pilahuín. After sampling, the respective field and laboratory tests were performed to determine the multiple properties of the soil samples analyzed.

Once the necessary data for each soil sample was obtained, the correlation between its index and mechanical properties was carried out, resulting in a total of 29 correlations generated from two and three variables. The level of reliability of these correlations ranges from 53 to 86 percent, varying from one to the other with the number of samples analyzed as a whole, which in general can be translated into correlations of a good degree of reliability.

With regard to the determination of the CBR of the project by means of the correlations raised for its application in a layout of a pavement structure in granular soils, it can be said that they have a good relationship with a minimum error based on the real value calculated by means of laboratory tests. These correlations are specifically designed for use on uniform granular soils.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1. Antecedentes

Validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio

Las muestras que se consideraron para el análisis proceden de cuatro bancos de material en el territorio de Tegucigalpa, Honduras; los suelos esencialmente son de tipo limoso y arenoso gravoso. Se pudo determinar in situ las características del suelo tales como densidad y contenido de humedad por medio de un densímetro nuclear. Además, a esto, se efectuó el ensayo de Proctor Modificado para obtener el CBR en laboratorio. El objetivo de ésta fue el de tener iguales condiciones que ayuden a una correcta comprobación de la correlación entre el CBR obtenido a través del DCP con el CBR determinado en laboratorio. Se especifica el método de análisis de resultados en el cual se comprueba que los suelos utilizados en el estudio cumplen con la correlación del método del DCP con el CBR acorde a la ecuación presentada por la norma ASTM D 6951 para los suelos ensayados. Las muestras son de gran calidad, por lo que, se valida que la norma ASTM D 6951 se puede aplicar. [1]

Evaluación de los parámetros mecánicos diseñados y medidos de la fundación de pavimentos concretos

Existen muchas pruebas in situ disponibles para comprobar el rendimiento de la cimentación del pavimento relacionado con la rigidez y condiciones de soporte. Esta investigación analiza varias pruebas in situ de la rigidez y condiciones de soporte de las capas de cimentación de pavimento de concreto. La razón por la cual se hizo este estudio fue el de valorar los resultados de las pruebas del penetrómetro dinámico del cono y del deflectómetro de caída de peso. La Relación de Soporte

de California de las pruebas del penetrómetro dinámico de cono y los datos de deflexión de las pruebas del deflectómetro de caída de peso se correlacionaron con el parámetro de diseño – módulo de reacción de subrasante k mediante correlaciones empleadas en manuales de diseño de pavimentos. Se realizaron tres métodos para obtener los valores k , con la intención de evaluar qué método proporciona los resultados más similares al valor objetivo y si las correlaciones estudiadas son confiables. Los valores de k calculados a la inversa de las deflexiones del deflectómetro de caída de peso y la relación débil de la relación de soporte de California correlacionaron los valores de k basados en el método de la Asociación de Cemento de Portland fueron cercanos al valor objetivo, mientras que la relación de soporte de California correlacionó empíricamente k basada en el método de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes del Estado que presentó valores significativamente más altos que el valor objetivo. [2]

Correlación del valor de la Relación de Soporte de California (CBR) con las propiedades del suelo, de los suelos del subsuelo de carreteras

La Relación de Soporte de California (CBR) es el parámetro más utilizado para dimensionar pavimentos flexibles en países tropicales. A menudo, esta prueba es costosa, laboriosa y requiere mucho tiempo, y para superar esto, se consideró algún análisis de regresión (único y múltiple) entre las propiedades del índice del suelo (Límite Líquido \rightarrow LL, Límite Plástico \rightarrow PL e Índice de Plasticidad \rightarrow IP), características de compactación (Densidad Seca Máxima \rightarrow DSM y Contenido Óptimo de Humedad \rightarrow COH), porcentaje de tamaños de partículas (grava, arena y arcilla / limo) y CBR. El estudio se llevó a cabo a lo largo de un proyecto de construcción de carreteras en curso donde treinta y tres muestras de suelo fueron recolectadas y transportadas al laboratorio para su análisis. Se llevaron a cabo pruebas geotécnicas de rutina y, posteriormente, se realizaron análisis de correlación y regresión sobre los resultados obtenidos para evaluar la relación entre estas propiedades índice, las características de compactación y el CBR experimental obtenido. Los resultados de este análisis mostraron coeficientes relativamente justos de determinación de $R^2 = 0.772$ entre CBR y DSM mediante el análisis de regresión lineal simple y $R^2 = 0.841$ entre CBR y todos los parámetros

que utilizan el Análisis de Regresión Lineal Múltiple (ARLM). Aunque la ARLM mejoró el R^2 de 0.772 a 0.841, la inclusión de propiedades adicionales da como resultado un aumento marginal del R^2 indicativo de correlaciones débiles de CBR, por lo que prácticamente no es rentable para el diseño de pavimentos. [3]

Predicción de la Relación de Soporte de California de la capa sub-base utilizando múltiples modelos de regresión lineal

Esta investigación presenta la predicción de la Relación de Soporte de California (CBR) de la capa de subbase de carreteras en el área de Makkah, Arabia Saudita. Esta predicción se basa en pruebas simples como el análisis de tamiz, la prueba de abrasión de Los Ángeles y la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad. Se investigan modelos de regresión lineal múltiple para la estimación del CBR a partir del análisis del tamiz, el peso unitario máximo seco y el contenido de humedad óptimo de los suelos de subbase. Los datos se recopilaron en las carreteras de Makkah durante la construcción y se probaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Umm Al-Qura. Los modelos de regresión ajustados indican correlaciones fuertes ($R^2 = 0.95$) entre las variables mencionadas anteriormente. [4]

Influencia de la estructura de empaque de agregados en los valores de Relación de Soporte de California de materiales granulares no unidos

En las últimas décadas, el valor de la relación de soporte de California (CBR) se ha utilizado en muchos países para diseños empíricos de pavimentos y todavía muchos países lo están utilizando para medir la resistencia de materiales granulares sin unir y como entrada en su tabla de diseño de pavimentos. Además, el valor CBR del material granular no unido se correlaciona con frecuencia con sus propiedades mecánicas fundamentales, como el módulo elástico, que a su vez se utiliza a menudo como una entrada para un procedimiento de diseño de pavimento mecánico. En el presente estudio, se investiga el efecto que la disposición del agregado tiene en los valores de CBR de los materiales no unidos. Se presenta un marco basado en la teoría de empaquetamiento que permite identificar la parte de

carga del esqueleto agregado. Los parámetros de empaque agregados que controlan el rendimiento de CBR de los materiales no unidos se introducen y evalúan con los valores de CBR medidos experimentalmente de 20 materiales granulares no unidos que se encuentran en la literatura. Se muestra que los valores de CBR de los materiales granulares están controlados en gran medida por las características de embalaje de su esqueleto de carga. [5]

1.1.2. Justificación

Como requisitos preliminares antes de la construcción de una vía, es necesario una investigación adecuada del sitio donde se implantará la misma, así como los diseños geométricos, de pavimento y demás diseños de la estructura complementaria a la obra; para esto es esencial que se realizan ensayos complejos y costosos que reflejen las características propias del suelo. Por tal motivo, se busca establecer correlaciones que permitan obtener la resistencia del esfuerzo cortante por medio de ensayos simples a través de las propiedades índice y mecánicas del suelo. [6],[7]

En publicaciones recientes se analizó los resultados obtenidos de modelos planteados sobre correlaciones, tal es el caso en la India en Enikepadu, por Ramasubbaro y Siva (2013) presentaron un análisis de correlación lineal múltiple que involucra todos los parámetros a analizar, y sugieren un coeficiente de correlación (R) de 0.96. También se analizó en Piura, Perú por Araujo, W (2014) quien propone un modelo de ecuaciones con un coeficiente de correlación (R) de 0.89. De la misma forma, se realizó una correlación en la Formación Geológica “Azogues” por León, J y Zeas, R (2017) donde se obtiene un coeficiente R cuadrado de 0.80. Mientras el valor del coeficiente de correlación R sea más cercano a 1, se podrá considerar como mejor el modelo planteado. [8],[9]

Normalmente una estructura de calzada se compone de una capa de superficie dura construida sobre varias capas granulares no unidas. Para esto son necesarios los valores de CBR conjuntamente con los datos del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) a considerar para el diseño preliminar de un pavimento. La Relación de Soporte de California (CBR) es un ensayo que ayuda a determinar la capacidad de

soporte del suelo para evaluar la calidad de la sub rasante, sub base y base de los pavimentos. [1],[10]

Con estos antecedentes, el propósito de esta investigación es realizar una correlación entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares con el CBR de laboratorio en las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín del cantón Ambato. Además, cabe destacar que los ensayos antes mencionados son los más utilizados en lo relacionado al diseño de pavimentos, por lo que se trabajaría en base a modelos actuales y bajo normas ya establecidas en lo que se refiere al diseño, construcción e implementación de una estructura de pavimento conforme a las características del suelo.

La investigación ayudará a realizar un diseño preliminar de la estructura del pavimento con correlaciones que muestren datos acorde a la realidad de cada terreno, y así evitar un sobredimensionando en el diseño y que permita tener mayores consideraciones sobre los rasgos existentes del suelo sobre el cual se trabajará. [11]

También, permitirá crear una base de los tipos de suelo existentes en cada zona estudiada del cantón.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Definición del Suelo

- Capa suprayacente a la corteza terrestre expuesta a desintegración y disgregación continua. [12]
- Agregado orgánico e inorgánico conformado por un grupo de partículas con organización determinada, cuyas propiedades varían vectorialmente, mostrándose cambios más visibles en la dirección vertical que en la dirección horizontal. [12]
- Material de tipo terroso, partiendo desde un relleno de desperdicios hasta areniscas en parte cementadas, o lutitas suaves, sin tomar en consideración aquellas rocas sanas ígneas o metamórficas además de los depósitos altamente cementados que no presenten ablandamiento o desintegración rápida. [12]

1.1.3.2. Tipos de Suelos

Los suelos se clasifican en dos grupos según el origen de sus elementos:

- Aquellos suelos que se hayan originado por la desintegración física o la descomposición química de las rocas, y
- Suelos cuyo origen sea exclusivamente orgánico, éstos casi siempre se forman en el sitio. La cantidad de materia orgánica en forma de humus, o de materia no descompuesta, o cuando su estado de descomposición es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades que pudieran derivarse de la porción mineral, quedan disminuidas o totalmente eliminadas. [12]

TURBAS [12]

Éstas son más frecuentes en lugares pantanosos en las cuales los restos de la vegetación acuática forman enormes depósitos de considerable espesor, sus características son:

- Café oscuro o negro es su color particular
- Casi nada de peso al estar secas
- Gran compresibilidad y su enorme porosidad.

Los **suelos inorgánicos** han sido divididos según el requerimiento del Ingeniero Civil, como:

GRAVAS [12]

De tamaño superior a los 2 mm y se caracterizan por ser conjuntos sueltos de fragmentos de roca.

Según su procedencia, las gravas han sido expuestas al caudal de un río lo que ocasiona pérdida en sus aristas que conlleva a su forma redondeada. Al ser un material suelto pueden hallarse en ríos y en muchas depresiones rellenas por causa del acarreo o conducción de las aguas lluvias, aluviones, etc. Las gravas se presentan en grandes extensiones, aunque están con una mayor o menor cantidad de cantos rodados, arenas, limos y arcillas.

ARENAS [12]

Denominación que se da a los materiales de granos finos originarios de la “denudación” de las rocas y/o de su trituración artificial, con tamaños que varían entre los 2 mm hasta los 0.05 mm

La procedencia y la formación de las arenas es mutua al de las gravas, ya que los dos normalmente se hallan en el mismo lugar.

La arena de río en muchos casos tiene grandes cantidades de gravas, limo y arcillas.

Al estar limpias, las arenas: no disminuyen su proporción al secarse, no son plásticos, poco compresibles a diferencia de las arcillas y al tener una carga solicitante en su superficie, éstas se compactan o densifican de forma rápida.

LIMOS [12]

Los limos son suelos finos que van de poca a ninguna plasticidad, pudiendo ser:

Limo inorgánico. Aquellos que se dan en las canteras por trituración de gravas, o

Limo orgánico. Normalmente están en los ríos, teniendo como característica una definición plástica.

El diámetro de las partículas de limo está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm.

- Tiene cambios en sus colores de gris claro a gris oscuro
- La **permeabilidad** de los limos orgánicos es muy baja y
- Su **compresibilidad** es muy alta.

Los limos que se encuentran saturados y sueltos son definitivamente inadecuados para recibir cargas a través de una **zapata**.

ARCILLAS [12]

Partículas de rasgo sólido con diámetros inferiores a los 0.005 mm y que su masa tiene la característica de transformarse en plástica al contener agua en su composición.

Su composición química es silicato de aluminio hidratado, a pesar de existir de igual manera arcillas que tiene silicatos de magnesio o de hierro, pero continuamente hidratadas. Sus minerales tienen una estructura usualmente cristalina y compleja porque sus átomos se muestran en forma laminar.

Los tipos clásicos de láminas de arcilla son:

Silícica y Alumínica

Los grupos principales de las arcillas se les puede englobar en:

Caolinitas Ilitas y Montmorilonitas

Los grupos de arcillas tienen en común una clara cohesión y que, al estar sometidos a cargas en su superficie, se compactan paulatinamente.

Desde una visión más científica de la Ingeniería, surge otra característica que es la resistencia perdida por el remoldeo y que se recupera parcialmente con el tiempo, fenómeno conocido como:

TIXOTROPÍA, cuya naturaleza es física - química.

Por medio de ensayos se ha determinado que con un 15% de arcilla en cualquier tipo de suelo se generará esta particularidad y las características de las arcillas. [12]

1.1.3.3. Tamaño de las partículas

Es posible encontrar una infinidad de variedades de partículas de todos los tamaños en la naturaleza, partiendo desde una proporción muy alta que puede calificarse como partícula de suelo hasta proporciones mínimas, de medidas de 1×10^{-6} mm (1 a 1 billón). [13]

Teniendo estas variedades, y con el objetivo de conocer el tipo de suelo para determinar según sus proporciones en la Tabla 1. Se muestran las consideraciones de las organizaciones que han planteado rangos de tamaños del suelo. [13]

Tabla 1. Rangos de tamaños de las partículas de suelo

Organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
MIT (Massachusetts Institute of Technology)	> 2	2 – 0.06	0.06 – 0.002	< 0.002
USDA (U.S. Department of Agriculture)	> 2	2 – 0.05	0.05 – 0.002	< 0.002

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)	76.2 - 2	2 - 0.075	0.075 - 0.002	< 0.002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 - 4.75	4.75 - 0.075	Finos < 0.075	

Fuente: Tesis sobre “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” – Portilla F, Pillajo A.

1.1.3.4. Clasificación de los Suelos

Aquellos suelos que poseen características semejantes pueden ser clasificados en grupos y subgrupos a razón de las cualidades mecánicas y su desempeño en la ingeniería. Los sistemas de clasificación facilitan una idea en común para manifestar de manera precisa las propiedades generales de los suelos, que son inmensamente diversas, sin una descripción exacta. Hoy en día, dos cuidadosos sistemas de clasificación producidos que usan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son generalmente usados para aplicaciones ingenieriles. Se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. En Estados Unidos, el sistema AASHTO es usado primordialmente por las entidades de carreteras estatales y del estado, mientras que los especialistas geotécnicos usualmente deciden usar el Sistema Unificado. En este apartado se estudiará la manera de clasificación de los suelos utilizando AASHTO y los sistemas unificados. [14]

Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema fue elaborado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Ha estado propenso a algunas modificaciones, con la actual versión desarrollada por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras Subrasantes y Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras en 1945 (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145). [14]

El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente se muestra en la Tabla 2. A través de este sistema el suelo se encasilla en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que dividen en los grupos A-1, A-2 y A-3 calificados como granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan el tamiz N°200. Los suelos donde más de 35% pasa el tamiz N°200 se engloban en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. [14]

Tabla 2. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasado por el N° 200)						
Grupo de clasificación	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (% que pasa)							
N° 10	50 máx						
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín				
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40							
Límite Líquido				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice Plástico	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Calidad general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación General	Materiales granulares (35% o más del total de la muestra que pasado por el N° 200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5*, A-7-6*
Análisis de tamiz (% que pasa)				
N° 10				

N° 40				
N° 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40				
Límite Líquido	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice Plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5. $IP \leq LL - 30$

*Para A-7-6. $IP > LL - 30$

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Éstos son primordialmente limo y materiales con característica de arcilla. El sistema de clasificación se fundamenta en los siguientes puntos:

1. Tamaño del grano

Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz N° 10 (2 mm)

Arena: fracción que pasa el tamiz N° 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz N° 200 (0.075 mm)

Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz N° 200.

- 2. Plasticidad:** la definición de *limoso* se da cuando las fracciones finas del suelo poseen un índice plástico (*IP*) de 10 o menos. La expresión *arcilloso* se da cuando las fracciones finas tienen un índice plástico (*IP*) de 11 o más.
- 3. Si se tiene cantos y guijarros** (tamaño mayor a 75 mm), se descartan de la porción de la muestra de suelo que fue clasificada. A pesar de esto, se toma en cuenta el porcentaje de este tipo de material. [14]

Para la determinación de un suelo de acorde con la Tabla 2, los datos de prueba se verifican de izquierda a derecha. Por proceso de descarte, el primer grupo de la izquierda en la que queden los datos de prueba es la clasificación correcta. [14]

La Figura 1, muestra un gráfico del rango del límite líquido (*LL*) y el índice plástico (*IP*) de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6, y A-7. [14]

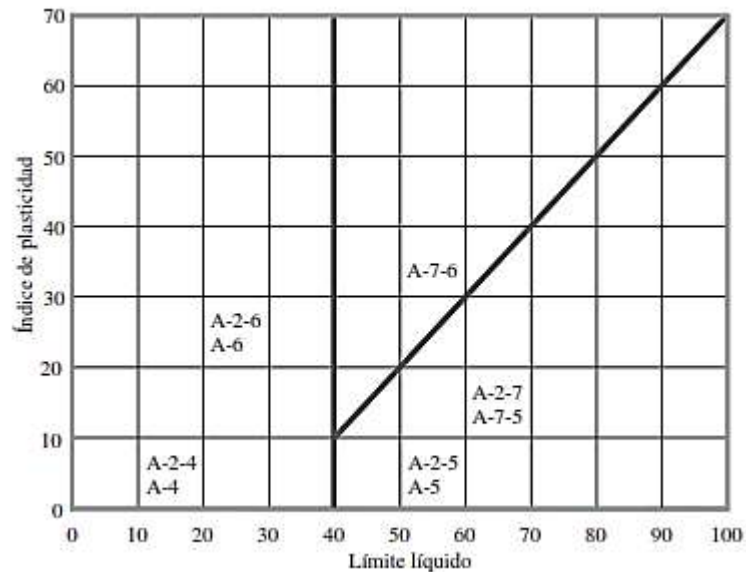


Figura 1. Rango del LL e IP para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Sistema Unificado de Clasificación de Suelo SUCS

Este sistema fue expuesto en un principio por Casagrande en 1948 para su uso en los trabajos de construcción del aeródromo realizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En colaboración con el U.S. Bureau of Reclamation, el sistema pasó una evaluación en 1952. Hoy en día, es inmensamente usada por los ingenieros (Norma ASTM D-2487). El Sistema Unificado de Clasificación se muestra en la tabla 4.2 y clasifica los suelos en dos grandes categorías:

Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava, y S para la arena o suelo arenoso. [14]

Suelos de grano fino con 50% o más que pasan el tamiz N°200. La simbología de grupo empieza con un prefijo de M, que significa limo inorgánico, C para la arcilla

inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos. [14]

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: bien clasificado
- P: mal clasificado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo SUCS (basado en el material que pasa por el tamiz N° 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelo de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz N° 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz N° 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	
		Gravas con finos	$IP < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (Fig. 2)	GM	
		Más del 12% finos ^{a d}	$IP > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (Fig. 2)	GC	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz N° 4	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	
		Arenas con finos	$IP < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (Fig. 2)	SM	
		Más de 12% finos ^{b d}	$IP > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (Fig. 2)	SC	
Suelo de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz N° 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$IP > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (Fig. 2) ^e	CL	
			$IP < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (Fig. 2) ^e	ML	
		Orgánico	Límite líquido: secado	< 0.75 ; vea la Fig.2; zona OL	OL
			Límite líquido: no secado		
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos IP en o por encima de línea "A" (Fig. 2)	CH	
			Gráficos IP por debajo de línea "A" (Fig. 2)	MH	
		Orgánico	Límite líquido: secado	< 0.75 ; vea la Fig.2; zona OH	OH
			Límite líquido: no secado		
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt	

^a Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^b Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

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

^d Si $4 \leq IP \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la Fig. 2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^e Si $4 \leq IP \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la Fig. 2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

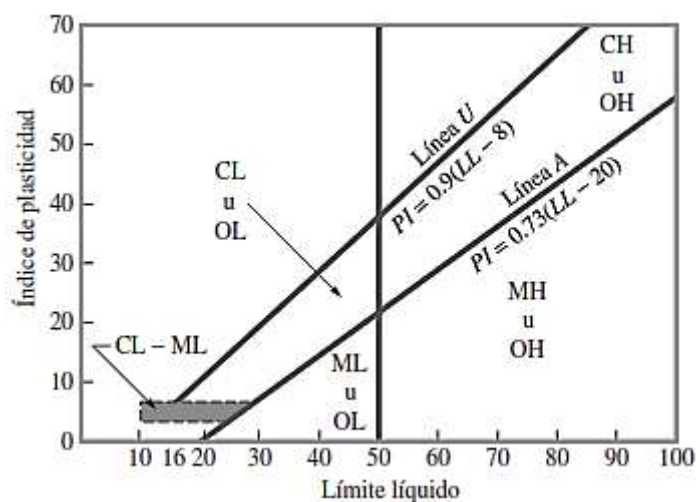


Figura 2. Gráfica de plasticidad

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Para la correcta clasificación conforme con este sistema, se debe tener muy a consideración cada uno de estos ítems:

1. Porcentaje de grava, esto es, la fracción que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz N° 4 (4.75 mm de apertura)
2. El porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz N° 200 (0.075 mm de apertura)
3. El porcentaje de limo y arcilla, esto es, la fracción más fina que el tamiz N° 200 (0.075 mm de abertura)
4. El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de gradación (C_c)
5. El límite líquido y el índice plástico de la porción de suelo que pasa el tamiz N° 40.

Tabla 4. Comparación de los Sistemas AASHTO y SUCS

ASSHTO	SUCS
A-1a	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

Fuente: Tesis sobre “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” – Portilla F, Pillajo A.

1.1.3.5. PROPIEDADES ÍNDICE

Para realizar un estudio de suelo se debe tener en consideración que se necesita determinar sus propiedades índice (volumétricas tales como: relación de vacíos, porosidad, grado de saturación, densidad seca del suelo y las gravimétricas como: contenido de humedad, gravedad específica), clasificarlo, entender el impacto del agua en el mismo, su capacidad de resistir ante sollicitaciones externas y las consideraciones en lo que respecta a la variación de volumen. Después de haber determinado sus características y su comportamiento, se da la iniciativa de diseñar construcciones que se acomoden a las condiciones específicas de cada suelo. [15]

VOLUMÉTRICAS

▪ RELACIÓN DE VACÍOS “e”

Es la relación del volumen de los vacíos con respecto al volumen de los sólidos.

$$e = Vv/Vs$$

La relación de vacíos tiene valores bajos, por ej. 0.25, que significan que el suelo está muy compactado y lo contrario, valores altos, por ej. 15, que significan que el suelo está muy suelto y que puede ser altamente compresible como es el caso de las arcillas. [12]

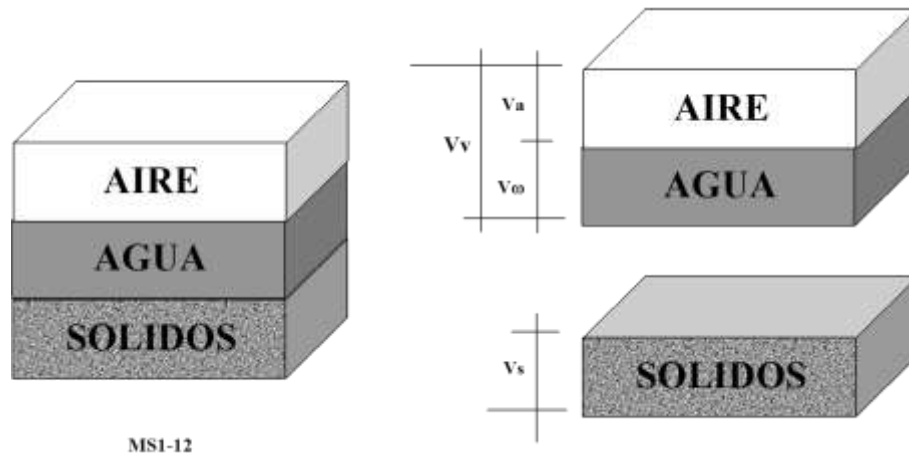


Figura 3. Relación de vacíos "e"

Fuente: Manual de Mecánica de Suelos I - FICM

▪ **POROSIDAD "n"**

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa, se lo expresa como un porcentaje y sus límites van desde 0 a 100%. [12]

El menor porcentaje de porosidad significa que el suelo está altamente densificado o consolidado, mientras que un alto porcentaje de porosidad, significará que el suelo tiene gran cantidad de vacíos y por lo tanto es altamente compresible. [12]

$$n = \frac{Vv}{Vm} \quad ; \quad n(\%) = \frac{Vv}{Vm} * 100$$

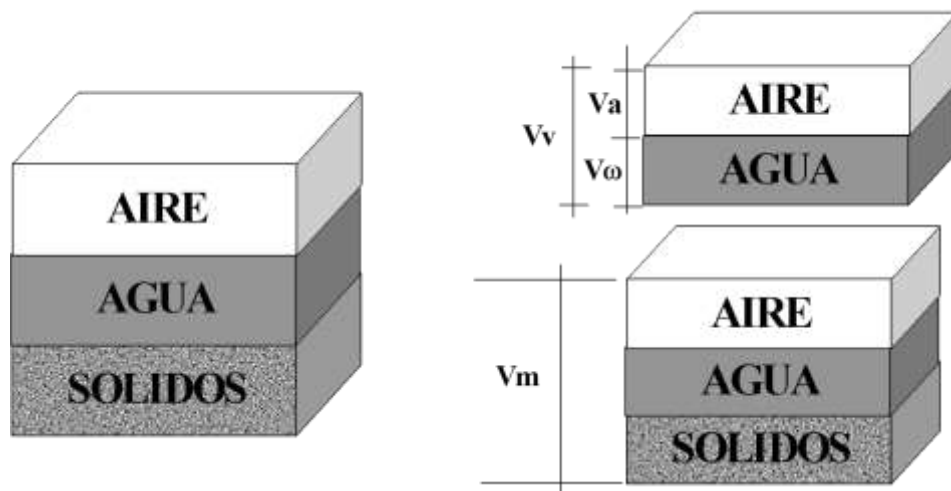


Figura 4. Porosidad

Fuente: Manual de Mecánica de Suelos I - FICM

- **GRADO DE SATURACIÓN DE AGUA “Gw%”**

Es la relación existente entre el volumen de agua y el volumen de los vacíos, se lo expresa en porcentaje y sus límites van de 0 a 100%. [12]

Físicamente significa que el 0% es de un suelo totalmente seco, mientras que el 100% será un suelo totalmente saturado. [12]

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

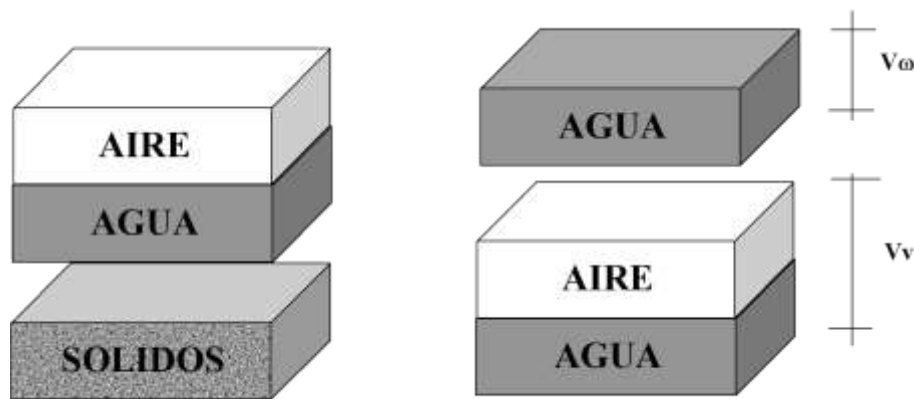


Figura 5. Grado de saturación de agua

Fuente: Manual de Mecánica de Suelos I - FICM

- **GRADO DE SATURACIÓN DE AIRE “Ga%”**

Es la relación entre el volumen del aire con respecto al volumen de los vacíos, se lo expresa en porcentaje, y su utilización está limitada a los factores de consolidación de los suelos. [12]

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

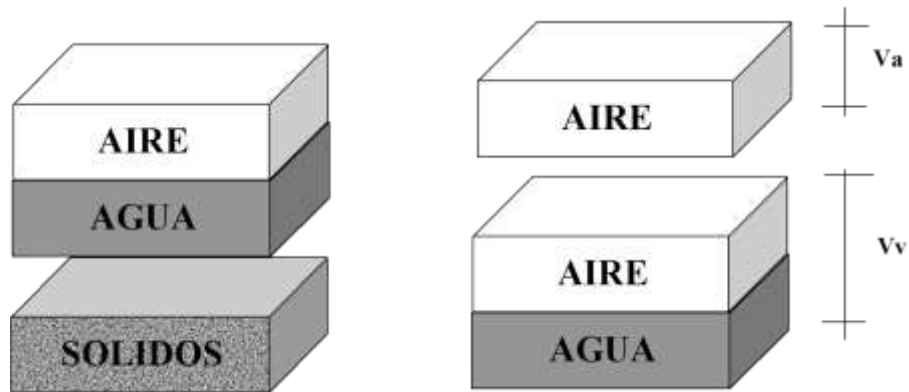


Figura 6. Grado de saturación de aire

Fuente: Manual de Mecánica de Suelos I - FICM

▪ CONO Y ARENA

El método de Cono y Arena consiste en un vaso o jarra de plástico con un cono de metal unido a su parte superior. La jarra se llena con arena de Ottawa seca muy uniforme y se determina el peso (W_1) de la jarra, el cono y la arena que llena la jarra. En el campo, se excava un pequeño agujero en la zona donde el suelo ha sido compactado. Si se determina el peso de la humedad del suelo excavado desde el agujero (W_2) y se conoce el contenido de humedad de la tierra excavada, el peso seco del suelo (W_3) está dado por: [14]

$$W_3 = \frac{W_2}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

donde w = contenido de humedad

Después de excavar del agujero, el cono con la jarra llena de arena unida a él se invierte y se coloca sobre el orificio (Figura 7). Se deja que la arena fluya fuera de la jarra dentro del orificio y el cono. Una vez que el orificio y el cono están llenos, se determina el peso de la jarra, el cono y la arena restante en la jarra (W_4), por lo que: [14]

$$W_5 = W_1 - W_4$$

donde W_5 = peso de arena que llena el agujero y el cono.

El volumen del orificio excavado se podrá determinar por medio de la siguiente fórmula: [14]

$$V = \frac{W_2 - W_c}{\gamma_{d(arena)}}$$

donde W_c = peso de la arena para llenar solo el cono

$\gamma_{d(arena)}$ = peso unitario en seco de la arena de Ottawa utilizada

El peso unitario seco de compactación hecho en el campo ahora se puede determinar como: [14]

$$\gamma_d = \frac{\text{peso seco del suelo excavado del agujero}}{\text{volumen del agujero}} = \frac{W_3}{V}$$

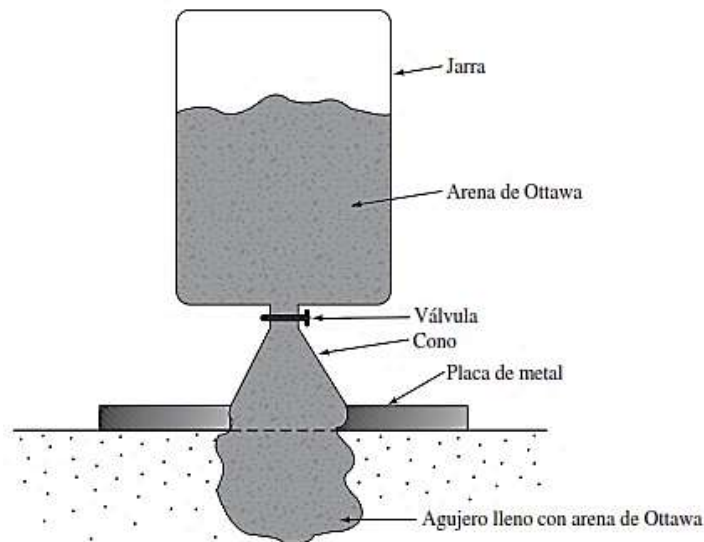


Figura 7. Determinación del peso unitario de campo con el método del cono de arena

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 4ta edición, Braja M. Das

GRAVIMÉTRCIAS

▪ CONTENIDO DE HUMEDAD

Esta es una propiedad del suelo muy importante ya que representan una influencia en la ejecución de obra civil y se la determina de manera sencilla, ya que el comportamiento y la capacidad de resistencia de un suelo está directamente

influenciado por la cantidad de agua presente en el mismo. El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que almacena, esto se expresa en relación a porcentaje. [15]

Normalmente en un laboratorio se determina la cantidad de agua presente en un suelo con relación al peso del suelo en su estado seco. Si el cálculo de éste se lo realiza en un suelo en la misma condición que fue obtenida en campo, se le define como humedad natural. [15]

Para gravas y suelos arenosos los valores de humedad natural van usualmente de 15 a 20%. Los suelos limosos y arcillosos entre 50 a 80% y en algunas ocasiones se puede tener humedades naturales del 500% en turbas y suelos orgánicos. En Japón se han tenido datos de contenidos de humedad de más de 1000%, esto muestra que existiría grandes dificultades en la capacidad del suelo ya que el porcentaje de agua contenido en el mismo de 15 veces sus pesos en estado seco. [15]

Se nota que en varios suelos orgánicos existe la ocurrencia de que se descompongan en el tiempo que permanecen en secado al horno con una temperatura de 110°C. Según la AASHTO 265, un secado a 60°C es más recomendable para estos suelos. [15]

▪ GRAVEDAD ESPECÍFICA

Se define como gravedad específica a la relación entre la consistencia de los rígidos y la consistencia del agua. Los rangos en general de valores de Gs para numerosos suelos están dados en la Tabla 5. [15]

Tabla 5. Valores típicos de Gravedad Específica de varios suelos

Tipo de Suelo		Gravedad Específica (Gs)
Inorgánico	Grava	2.65
	Arena gruesa a media	2.65
	Arena fina (limosa)	2.65
	Loess, polvo de Piedra y limo arenoso	2.67
Inorgánico	Arena algo arenosa	2.65
	Limo arenoso	2.66

	Limo	2.67 – 2.70
	Arena arcillosa	2.67
	Limo arcillo arenoso	2.67
	Arcilla arenosa	2.70
	Arcilla limosa	2.75
	Arcilla	2.72 – 2.80
Orgánico	Limos con trazos de materia orgánica	2.30
	Lodos aluviales orgánicos	2.13 – 2.60
	Turba	1.50 – 2.15

Fuente: Tesis “DETERMINACIÓN DEL CBR DE LABORATORIO Y NATURAL EN SUELOS FINOS Y SU CORRELACIÓN CON EL DCP PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUB-RASANTE, EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA COUDAD DE QUITO” – Angamarca A.

▪ GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico ayuda a predecir las proporciones relativas de los diferentes tamaños de partículas presentes en una masa de suelo. Debido a la gran dificultad de determinar el tamaño real de cada partícula independientemente, el ensayo agrupa los materiales por rangos de tamaño. [12]

Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada, pero que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a los anteriores y se relaciona esta cantidad retenida con el total de las muestras pasadas a través de los tamices. [12]

Los datos obtenidos del análisis granulométrico pueden utilizarse para predecir movimientos de agua través del suelo. Los sistemas de clasificación utilizan al tamiz N° 200 como un punto divisorio. [12]

El proceso de tamizado no provee información sobre la forma de los granos del suelo. La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva para poder comparar suelos y visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños de partículas. La exactitud del ensayo es cuestionable más aún en suelos finos (Suelos que pasan el tamiz N° 4) que para suelos gruesos. [12]

Las aberturas se han estandarizado de acuerdo a las especificaciones de la U.S. BUREAU OF STANDARDS o la TYLER STANDARD, de acuerdo a la Tabla 6. [16]

Tabla 6. Tamices con abertura estandarizada

TYLER STANDARD		U.S. BUREAU OF STANDARDS	
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	¾''	19.100
--	13.320	½''	12.700
--	9.423	3/8''	9.520
3	6.680	¼''	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 Joseph Bowles

El objetivo del ensayo es lograr una curva semilogarítmica del porcentaje de material más fino contra el tamaño de las partículas, por lo que es necesario obtener una distribución de tamices. [17]

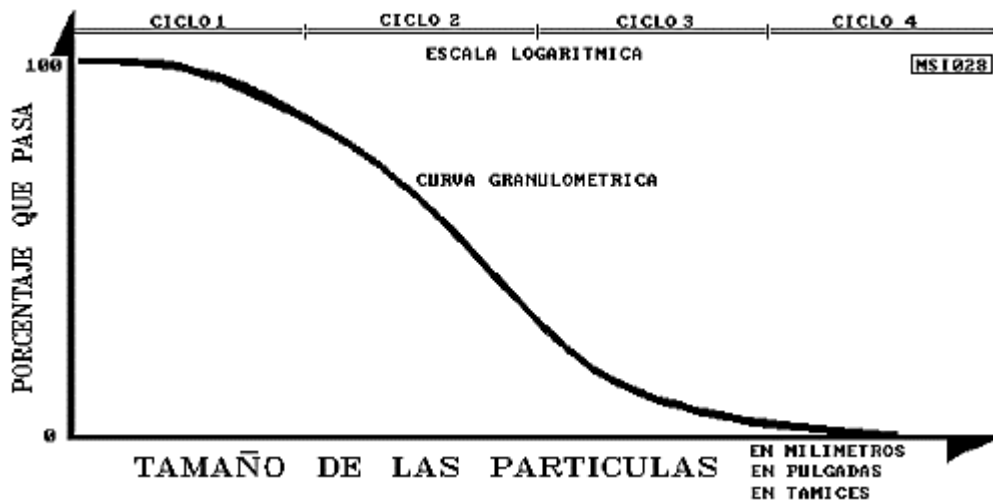


Figura 8. Curva Granulométrica

Fuente: Mecánica de suelos de Juárez Badillo

Parámetros de la Granulometría

Los parámetros de la granulometría dan una información completa, técnica y comprensible del material analizado, así identifican el tamaño máximo de las partículas, el diámetro efectivo, los coeficientes de uniformidad, y curvatura y en general si el suelo está bien o mal distribuido. [12]

Diámetro efectivo. -

Es el tamaño del grupo de partículas que representan al 10% del material que pasa, expresado en milímetros. (D_{10}). [12]

Diámetro equiparable. -

Es el tamaño del grupo de partículas que representan al 30% del material que pasa expresado en milímetros (D_{30}). [12]

Diámetro dimensional. -

Es el tamaño del grupo de partículas que representan al 60% del material que pasa expresado en milímetros (D_{60}). [12]

Coefficiente de Uniformidad

Este parámetro fue propuesto por William Hazen:

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Físicamente el coeficiente es más bien de no-uniformidad ya que la relación existente es inversa, es decir, si el número del C_u decrece, la uniformidad aumenta. Si el C_u es mayor que 3 los suelos tienden a ser bien graduados, en cambio si el C_u es menor que 3 los suelos tienden a ser mal graduados o muy uniformes. [12]

Coefficiente de Curvatura

Este coeficiente es útil para poder determinar la graduación del material.

$$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10})$$

Cuando C_c está entre 1 y 3 los suelos están bien graduados en cambio si el C_c es menor que 1 o mayor que 3, los suelos serán uniformemente distribuidos, o sea, mal graduados. [12]

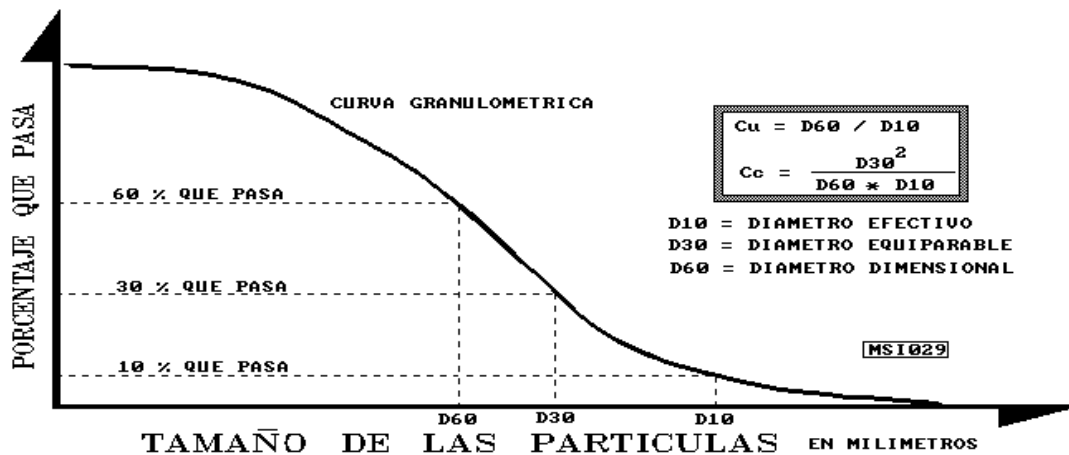


Figura 9. Parámetros de Granulometría

Fuente: Mecánica de suelos de Juárez Badillo

Pendiente granulométrica

Si las curvas son muy verticales se considera una mala distribución granulométrica. Si las curvas tienen una pendiente moderada, se considera una buena graduación y si las curvas son horizontales se considera igualmente una mala distribución granulométrica como es en el caso de los limos y arcillas. [12]

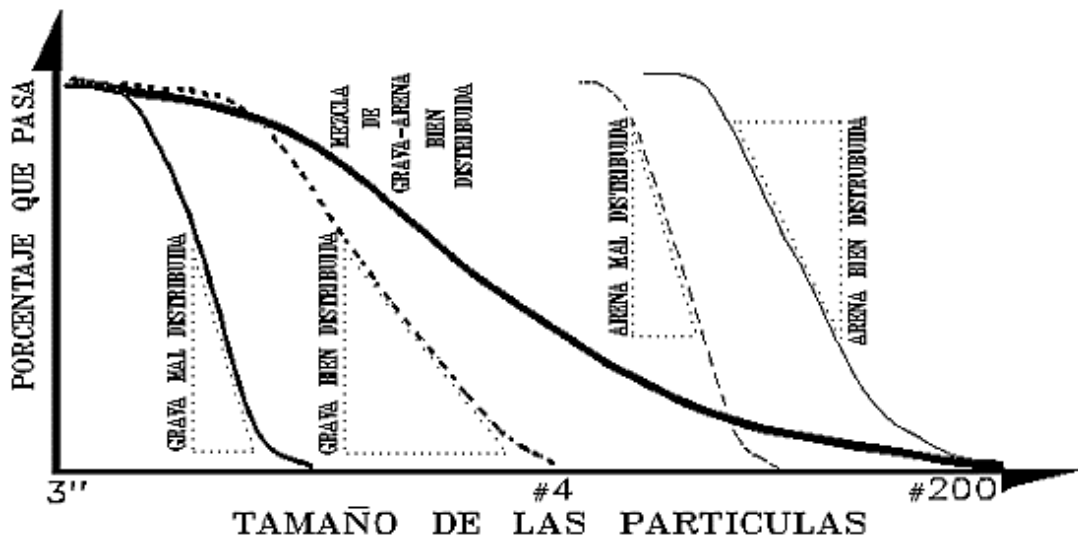


Figura 10. Pendiente Granulométrica

Fuente: Mecánica de suelos de Juárez Badillo

▪ LÍMITE LÍQUIDO

La determinación del Límite líquido es un procedimiento por el cual las coordenadas entre el número de golpes de la Copa de Casagrande y el contenido de Humedad permiten graficar en un panel semilogarítmico la Curva de escurrimiento. [12]

La curva de escurrimiento representa la relación de su contenido de humedad y su correspondiente número de golpes, la escala logarítmica representa el número de golpes y la escala natural el contenido de humedad. Se traza una línea recta entre los tres o más puntos marcados. [12]

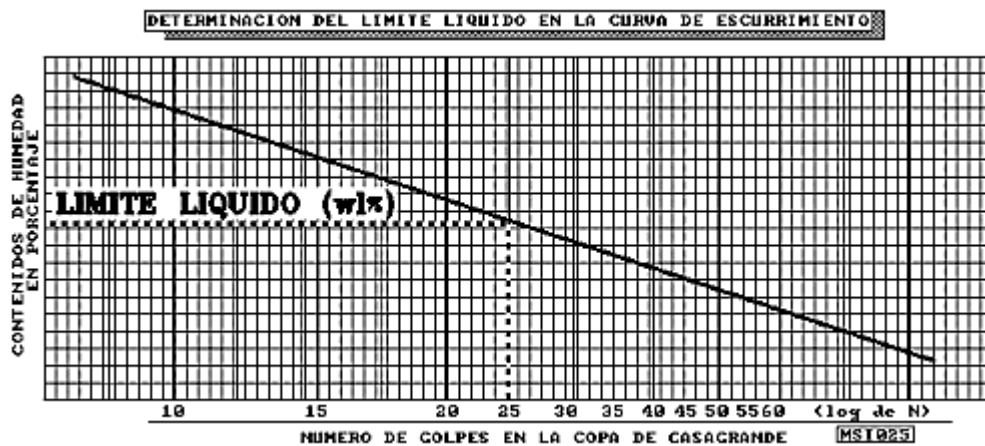


Figura 11. Determinación del Límite Líquido en la Curva de Escurrimiento

La intersección de la curva de escurrimiento con la ordenada de 25 golpes y el contenido de humedad, considera como límite líquido del suelo. [12]

▪ LÍMITE PLÁSTICO

Es la frontera para pasar del estado plástico al estado semisólido. Hay suelos en los cuales no puede determinarse el límite plástico, entonces, se los denomina suelos no plásticos (NP). [15]

▪ ÍNDICE PLÁSTICO

Se calcula el índice plástico de un suelo cohesivo como la diferencia numérica entre su Límite Líquido y su Límite Plástico: [12]

$$I_p = LL - LP$$

En ciertos casos el Índice plástico presenta valores negativos o no se podrá determinar en los siguientes casos: [12]

- Cuando el LL o LP no pueden ser determinados, se reconocerá como (NP)
- Cuando el suelo es muy arenoso, el LP deberá determinarse antes del LL. Si el LP no puede ser determinado, indíquese tanto el LL como el LP como NP. [12]
- Cuando el LP es igual o mayor que le LL, indíquese el IP como NP. [12]

▪ ÍNDICE LÍQUIDO [13]

La relación entre contenido natural de humedad de un suelo y sus límites de consistencia, esto es, su consistencia natural está dada por el índice de liquidez IL : [13]

$$IL = \frac{W_{nat} - LP}{IP}$$

Donde: W_{nat} = humedad natural

LP = límite plástico

IP = índice plástico

$IL < 0$ el suelo está en estado sólido-semiplástico o en estado sólido

$0 < IL < 1$ el suelo está en estado plástico

$IL > 1$ el suelo está en estado líquido

▪ **ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo, la prueba Proctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a veces como la prueba Proctor modificada (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180). Para la realización de la prueba Proctor modificada se utiliza el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm^3 , como en el caso de la prueba Proctor estándar- Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5 N (4.536 kg) y tiene una caída de 457.2 mm . [14]

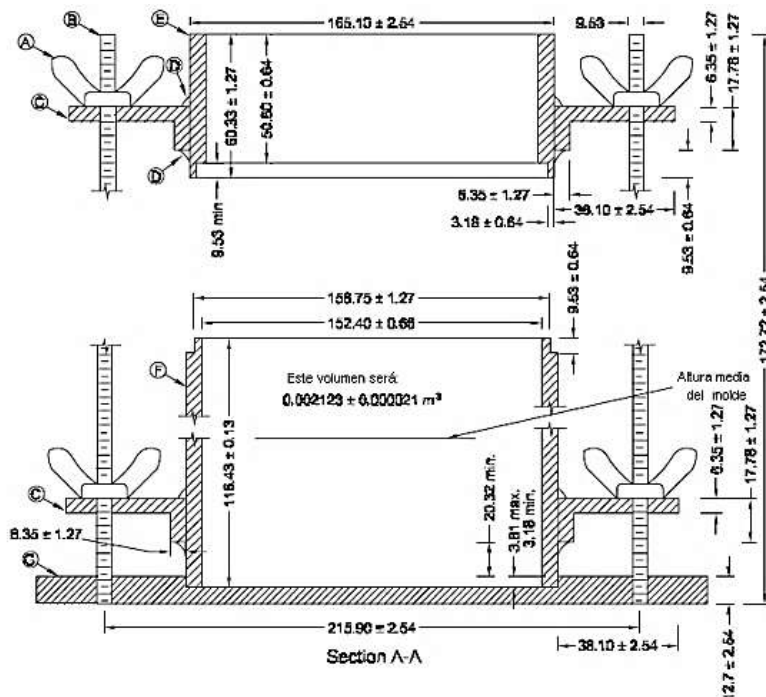


Figura 12. Molde cilíndrico de 152,4 mm (6 in) para el ensayo Proctor Modificado, dimensiones en mm.

Fuente: Norma I.N.V. E-141-07. INVIAS, Colombia

Diferencias entre los ensayos Proctor Estándar y Modificado

En la lámina siguiente se grafican las curvas correspondientes a los ensayos Proctor estándar y modificados, de ellas se pueden destacar que: [12]

1. Las curvas de los ensayos Proctor estándar requieren de un contenido de humedad más alto para alcanzar la humedad óptima y la máxima densidad. [12]
2. Las curvas de los ensayos Proctor Modificados requieren de menor contenido de humedad para alcanzar la humedad óptima y máxima densidad. [12]

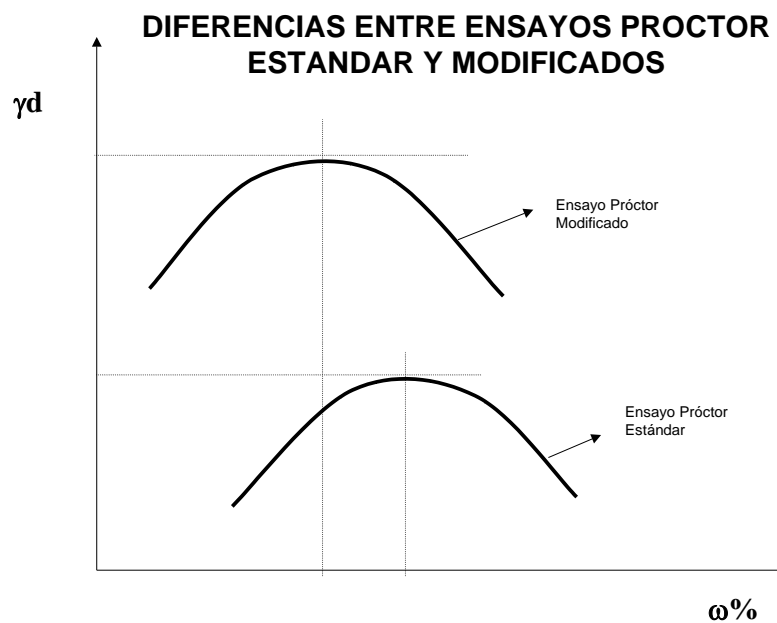


Figura 13. Diferencias entre ensayos Proctor Estándar y Modificados

Fuente: Manual de Mecánica de Suelos I, FICM - UTA.

1.1.3.6. PROPIEDADES MECÁNICAS

Uno de los puntos esenciales en el estudio de las características mecánicas de los suelos es su resistencia al esfuerzo cortante. Como estudio de este proyecto se empleará las propiedades de CBR y DCP. [15]

▪ RESISTENCIA AL CORTANTE DE UN SUELO

Esta resistencia del suelo determina factores como la estabilidad de un talud, la capacidad de carga admisible para una cimentación y el empuje de un suelo contra un muro de contención. [18]

Ecuación de falla de Coulomb

Coulomb observó que, si el empuje de un suelo contra un muro produce un desplazamiento en el muro, en el suelo retenido se forma un plano recto de deslizamiento. Él postuló que LA MÁXIMA RESISTENCIA AL CORTE, τ_f , en el plano de falla, está dada por: [18]

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi$$

Donde:

τ_f : Resistencia al corte

c : Cohesión del suelo

σ : Esfuerzo normal total en el plano de la falla

φ : Ángulo de fricción del suelo

Esta es una relación empírica y se basa en la LEY DE FRICCIÓN DE AMONTON para el deslizamiento de dos superficies planas, con la introducción de un término de cohesión c para tomar en consideración la fricción propia del suelo arcilloso. En los materiales granulares, $c = 0$ y, por lo tanto: [18]

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi \quad \underline{\text{Suelo granular}}$$

Contrariamente, en suelos puramente cohesivos, $\varphi = 0$, luego:

$$\tau_f = c \quad \underline{\text{Suelo cohesivo puro}}$$

▪ RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA – CBR

El ensayo CBR (California Bear Ratio) es una prueba que nació en el Departamento de Rutas de California en los USA de América en el año 1929, con el propósito de comprender los suelos donde diseñará como corresponde los pavimentos, la ASTM denomina el ensayo sencillamente un ensayo de relación de sustento. [15]

Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de consistencia y humedad controladas; pero además puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del lote. [15]

Además, el ensayo facilita considerar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base. Ya que el accionar de los suelos varía según su nivel de variación, con su granulometría y sus propiedades físicas, el procedimiento a continuar para saber el CBR, es diferente en cada caso. De esta forma se tiene: [15]

- C.B.R: Suelos perturbados y remoldeados
- Suelos gravosos y arenosos.
- Suelos cohesivos, poco plásticos y nada plásticos
- Suelos cohesivos y expansivos
- C.B.R. suelos inalterados.
- C.B.R. in-situ.

El número CBR establece una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y la resistencia a la misma que muestra el tipo habitual de piedra triturada. Estas resistencias se detallan en la Tabla 7. [15]

Tabla 7. Valores de Carga Unitaria Patrón

Penetración		Tiempo	Carga Unitaria Patrón	
(pulg)	(mm)		(lb/pulg ²)	(kg/cm ²)
0.025	0.63	0'30''		
0.050	1.27	1'00''		
0.075	1.90	1'30''		
0.100	2.54	2'00''	1000	70
0.150	3.81	3'00''		
0.200	5.08	4'00''	1500	105
0.250	6.35	5'00''		
0.3	7.62	6'00''	1900	133
0.4*	10.16	8'00''	2300	161
0.5*	12.70	10'00''	2600	182

Fuente: Tesis “DETERMINACIÓN DEL CBR DE LABORATORIO Y NATURAL EN SUELOS FINOS Y SU CORRELACIÓN CON EL DCP PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUB-RASANTE, EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA COUDAD DE QUITO” – Angamarca A

Los siguientes ensayos para su determinación del C.B.R. son: [15]

- Determinación de la máxima densidad y la óptima humedad mediante el ensayo de compactación.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración en la prensa del C.B.R.

▪ **PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO - DCP**

Definición

La determinación de la Relación de Soporte California, CBR, parámetro aplicado en el diseño de pavimentos flexibles, generalmente se considera como un desarrollo complejo que complementariamente necesita de muy tiempo para su obtención. [15]

Como respuesta a estas adversidades emergen diferentes herramientas como es el DCP (Penetrómetro de Cono Dinámico) que hacen más fácil y ofrecen más grande practicidad a los ensayos comunes. El DCP es de utilidad servible, fácil y simple que facilita llevar a cabo de una forma expeditiva, un reconocimiento in situ de las capas de suelo, granulares y levemente cementados elementos de un pavimento a lo largo de su creación o en su etapa de servicio dejando claro parámetros de interfaz finales más confiables, y mejorando tiempo, dinero, elementos humanos y mecánicos. [15]

Este electrónico mide la penetración dinámica por golpe, por medio de las diferentes capas elementos de un pavimento. Esta penetración está en relación de la resistencia al corte in-situ de los materiales del paquete estructural. El perfil de resistencias de hondura ofrece una inducción de las características de los materiales de los distintos estratos elementos en las condiciones reales en que éstos están a lo largo del ensayo. [15]

El esfuerzo primordial para traspasar una cubierta es dependiente primordialmente de las propiedades propias del material ingrediente de esa cubierta y de las propiedades del conjunto usado. [15]

Equipo

En la Figura 14. se muestran todos los componentes del DCP: una barra de acero de 15.8 mm (5/8") de diámetro, con una punta – cono recambiable o desechable, un mazo de 8 kg. (17,6 lbs.) el cual es soltado de una altura de 575 mm (22,6"), un ensamblaje de acople y un mango. La punta-cono tiene un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20 mm (0,79"). [15]

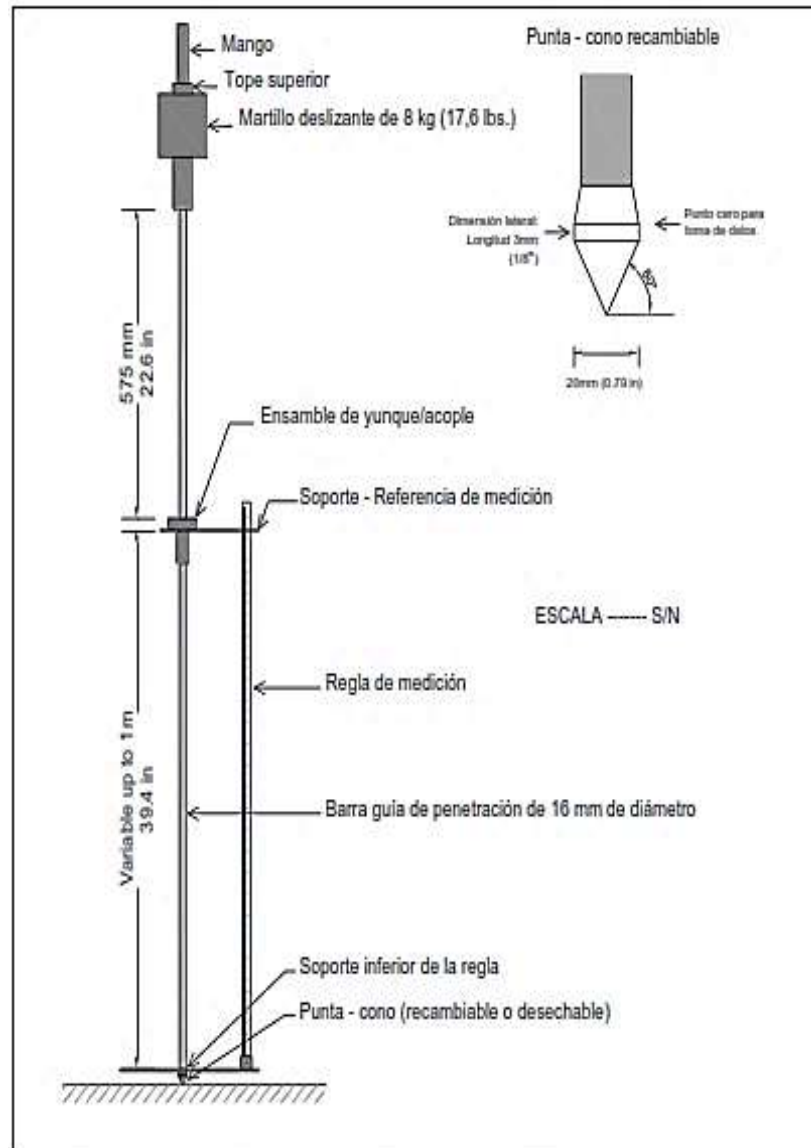


Figura 14. Esquema del Cono Dinámico de Penetración

Fuente: ASTM D 6951 – 03

Curva DCP

Gráfica que representa la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados para los respectivos datos. En este tipo de curvas, como se muestra en la Figura 15. se puede visibilizar el número de capas existentes representadas por rectas de diferentes pendientes, también se puede determinar el espesor de dichas capas. [15]

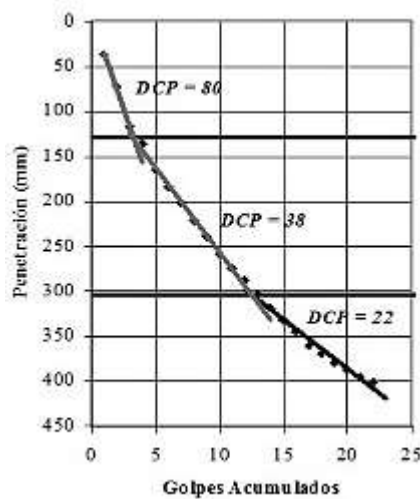


Figura 15. Curva DCP para una serie de valores

Fuente: Manual de pavimento Ing. Milton Torres, E.P.N.

Número DCP o Índice de Penetración (DN)

Este número define la penetración del DCP a través de una capa específica medida en mm/golpe. El DN representa la pendiente de la recta, mientras menor sea la pendiente mayor será la resistencia del suelo. [15]

1.1.3.7. PAVIMENTO

Estructura que descansa sobre un terreno de fundación previamente compactado, con una densidad óptima y un contenido de humedad adecuado, que sirve para soportar el tránsito vehicular; el pavimento se compone por capas superpuestas; construidos con materiales de calidad y compactados adecuadamente. [19]

Según los estudios de Montejo, en el capítulo 1- pág. 1; los pavimentos deben reunir las siguientes características: [19]

- Poseer una resistencia adecuada a las cargas transmitidas por los vehículos
- Ser resistente a los diferentes agentes de la intemperie
- Poseer una textura y conformación adecuada de la capa de rodadura, apta para dar seguridad a la circulación de los vehículos con la velocidad que se diseña la vía
- Presentar pendientes transversales y sobre todo longitudinales aptas para la circulación cómoda de los vehículos
- Ser durable
- Tener obras de drenaje correctamente diseñadas
- Ser económicas

Clasificación de los Pavimentos

▪ Pavimento Flexible

Tipo de pavimento compuesto por la capa base y sub base, de baja rigidez, que poseen una capa de rodadura de carácter bituminoso. [19]

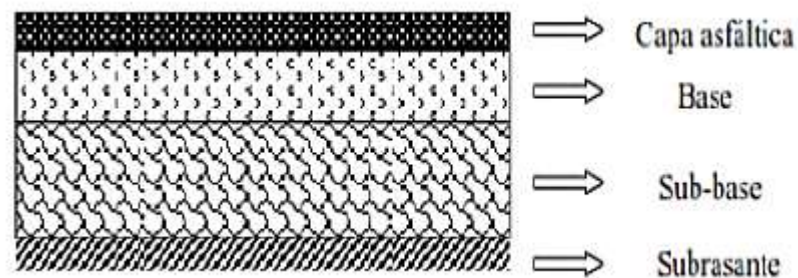


Figura 6. Pavimento Flexible

Fuente: Guía para el diseño de la estructura del pavimento, AASHTO 93

Sub base: Capa del pavimento que debe soportar los esfuerzos producidos por el tránsito y por las capas superiores; y que debe transmitirlos a un nivel adecuado del terreno de fundación. [19]

Además, la sub base tiene la función de drenar el agua que la penetre, a través de su misma capa o de la berma, así como también impide la ascensión capilar; en efecto la sub base granular no permite que las capas superiores se contaminen con el suelo fino del terreno de fundación. [19]

Base: El objetivo primordial de esta capa es transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito vehicular en una mayor intensidad a la cada sub base y al terreno de fundación; además de cumplir una función económica al utilizar materiales resistentes para su conformación de bajo costo. [19]

Capa de rodadura: Capa del pavimento que tiene como función proporcionar al usuario de la vía una superficie de rodamiento cómoda y segura para su circulación. [19]

Otras de sus funciones es el de transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito a sus capas inferiores, la base y la sub base, así como también el de impedir el paso del agua hasta donde sea posible y poseer una tensión adecuada para mejorar la función estructural del pavimento. [19]

- **Pavimento Semirrígido**

Tipo de pavimento que posee características similares al de un pavimento flexible, la diferencia radica en que estos pavimentos son mejorados en alguna de sus capas con materiales artificiales como cemento, cal, asfalto, emulsión y ciertos químicos. Estos materiales artificiales se emplean para proporcionar propiedades mecánicas adecuadas de los materiales que se van a utilizar para la construcción del pavimento. Dicha labor se la realiza cuando los materiales que poseen propiedades adecuadas para construir el pavimento, se encuentran a una distancia considerable de la obra, por lo que es más económico y práctico estabilizar los materiales de construcción del pavimento. [19]

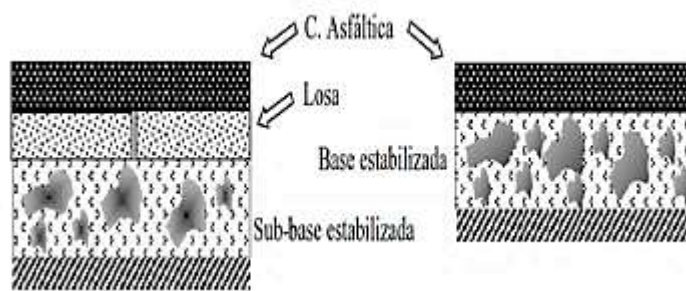


Figura 7. Pavimento Semirrígido

Fuente: Guía para el diseño de la estructura del pavimento, AASHTO 93

▪ **Pavimento Rígido**

Tipo de pavimento que posee como principal estructura una losa de concreto hidráulico, sobre la que se transmiten los esfuerzos producidos por la circulación vehicular al terreno de fundación o a una capa sub base compuesta con un material seleccionado. [19]

Este tipo de pavimento trabaja de gran forma aún cuando el terreno de fundación no es de buena calidad, esto es debido a la resistencia que posee la losa de concreto, por lo que no es de gran importancia el diseño que se le proporcione a las capas o a la capa que se encuentre por debajo de la losa de concreto hidráulico. [19]

▪ **Pavimento Articulado**

La capa de rodadura de este tipo de pavimento está conformada por elementos de hormigón prefabricados llamados adoquines, los mismos que poseen un espesor determinado y son iguales entre sí. La capa sobre la cual se apoyan estos elementos está conformada únicamente por arena, y dependiendo de las condiciones del terreno de fundación y de las cargas que soportará el pavimento, se puede apoyar directamente sobre la subrasante o sobre una capa sub base granular. [19]

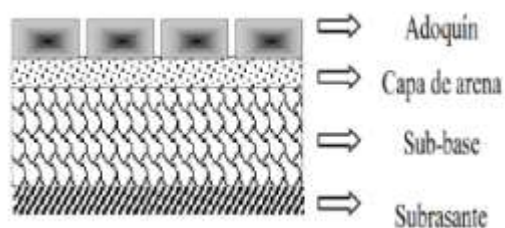


Figura 7. Pavimento Semirrígido

Fuente: Guía para el diseño de la estructura del pavimento, AASHTO 93

ESTUDIO DE TRÁFICO

Determinación del Tráfico Promedio Diario Actual (TPDA) [20]

$$\mathbf{TPDA = Tf + Tg + Ta + Td}$$

Donde:

TPDA = Tráfico Promedio Diario Actual

Tf = Tráfico proyectado

Tg = Tráfico generado

Tat = Tráfico atraído

Td = Tráfico desarrollado

FACTOR DE LA HORA PICO

$$\mathbf{FHP = \frac{\text{Total de vehículos}}{4 * (\text{Mayor volumen registrado en el lapso de la hora pico})}}$$

En caso de que el valor calculado del FHP no corresponde a una uniformidad en el tráfico actual se lo descarta y se toma como valor referencial 1. [20]

TRÁFICO ACTUAL

Para el cálculo del TPDA se debe considerar a la vía de análisis según corresponda como urbana o rural (urbana 8% – 12% y rural 12% – 18%). [20]

$$TPDA = \frac{\text{Total de vehículos} * \text{FHP}}{(\text{urbana o rural})\%}$$

CÁLCULO DEL TRÁFICO ACTUAL EN EL 1º AÑO - [20]

$$TA = TPDA * (1 + i)^n$$

Donde:

i = índice de crecimiento (año 2019)

n = número de años proyectados

Tabla 8. Tasa de crecimiento de tráfico vehicular

TASA DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO (%)			
PERÍODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2010 - 2015	4.47	2.22	2.18
2015 - 2020	3.97	1.97	1.94
2020 - 2025	3.57	1.78	1.74
2025 - 2030	3.25	1.62	1.58

Fuente: Norma de Diseño Geométrico, MOP 2003

- **CÁLCULO DEL TRÁFICO GENERADO - [20]**

$$Tg = 20\% * TA(\text{1er año})$$

- **CÁLCULO DEL TRÁFICO ATRAÍDO - [20]**

$$Tat = 10\% * TA(\text{1er año})$$

- **CÁLCULO DEL TRÁFICO DESARROLLADO - [20]**

$$Td = 5\% * TA(\text{1er año})$$

TRÁFICO PROYECTADO - [20]

$$T_f = T_A * (1 + i)^n$$

Donde:

i = índice de crecimiento (10 y 20 años)

n = número de años proyectados

Para señalar que tipo de vía es según el análisis del proyecto, se describe la siguiente tabla según el cálculo del valor del TPDA proyectado para n años: [20]

Tabla 9. Clasificación de la carretera en función del tráfico proyectado

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO PROYECTADO	
Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

▪ Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible

MÉTODO AASHTO 93

El método de diseño AASHTO, anteriormente llamado AASHO, fue elaborado en los E.E.U.U en los años 60, tomando como referencia un ensayo ejecutado a escala real por un período de 2 años en el Estado de Illinois. [21]

Desde el año de 1986, el método AASHTO empezó a introducir conceptos mecanicistas para redefinir algunos parámetros a condiciones diferentes a las que estaban vigentes en el sitio original de ensayo. [21]

Para los pavimentos flexibles, el método determina que la superficie de rodamiento debe ser constituida únicamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, ya que estima que estos componentes resistirán los niveles significativos de tránsito (superiores a 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 Ton durante el período de diseño), descartando el uso de pavimentos ligeros para tránsitos menores al establecido anteriormente, tales como los caminos revestidos o de terracería. [21]

▪ ECUACIÓN DE DISEÑO MÉTODO AASHTO 93

La ecuación propuesta por la AASHTO referido al diseño de pavimentos flexibles, se sujeta esencialmente en determinar un Número Estructural “SN” el cual pueda soportar el nivel de carga requerido. La ecuación involucra algunos parámetros para el cálculo del SN tales como: [21], [22]

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + \log_{10}(SN + 1) - 20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

SN = Número Estructural

W₁₈ = Número de ejes equivalentes

Z_R = Desviación Estándar Normal

S_o = Desviación Estándar Global

ΔPSI = Cambio en la Servicialidad

M_R = Módulo de Resilencia

TRÁNSITO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS PARA EL PERÍODO DE DISEÑO SELECCIONADO 8.2 TON (W_{18})

Para el cálculo del Tránsito requerido para el diseño de pavimentos flexibles, se debe primero cuantificar el número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 Ton que transitará en el carril de diseño para el período de diseño seleccionado. [21]

Es necesario tomar en consideración para el cálculo del W_{18} el daño según el tipo de vehículo que se considera para el diseño, por lo que se tiene la siguiente tabla: [21], [23]

Tabla 10. Factores de daño según el tipo de vehículo

FACTORES DAÑO SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DAÑO
	Ton	$(P/6.6)^4$	Ton	$(P/8.2)^4$	Ton	$(P/15)^4$	Ton	$(P/23)^4$	
BUS	4	0.13	8	0.91					1.04
C-2-P	3	0.04							0.18
	4	0.13							
C-2-G	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: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Tabla 11. Valores para 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: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Tabla 12. Factores de distribución por carril

NÚMERO DE CARRILES EN UNA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DEL W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO, DL (%)
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Tabla 13. Factor de distribución por dirección

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	LC %
1	50
2	50
3	45
4	45

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Para determinar el Número Acumulado de Ejes Equivalentes (W_{18}) al final del período de diseño, se lo hará por medio de la siguiente ecuación: [24]

$$W_{18} = 365 * TPDA_{Final} * FD * fd$$

Donde:

W_{18} = Número acumulado de ejes equivalentes

$TPDA_{Final}$ = Tráfico Promedio Diario Anual Final

FD = Factor de daño

fd = Factor de distribución por carril

*Nota: Regularmente solo se toma a consideración para el cálculo los valores de los vehículos tipo buses y camiones, no livianos. [21]

▪ **NIVEL DE CONFIABILIDAD “R”**

La confiabilidad en el diseño (R) se le puede denotar como la probabilidad de que la estructura muestre un comportamiento casi real o mejor que el esperado durante el tiempo de vida útil para el que fue diseñado. [21]

Cada uno de los valores de **R** se encuentra numéricamente relacionado con un valor del coeficiente **Zr** (Desviación Estándar Normal). Paralelamente, Zr define conjuntamente con el factor **So** (Desviación Estándar Global), un factor de confiabilidad. [21]

La AASHTO presenta un cuadro con diferentes niveles de confiabilidad “R”, dependiendo del tipo de vía que se analice. [21], [22]

Tabla 14. Nivel de confiabilidad "R" según el tipo de vía

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

▪ **DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)**

La Desviación Estándar engloba la variabilidad respecto a los materiales y su proceso de construcción, se calcula mediante la siguiente tabla utilizando el valor de confiabilidad “R” obtenido previamente: [21], [22]

Tabla 15. Valor de Desviación Estándar Normal, Zr

CONFIABILIDAD (%)	Desviación Estándar Normal, 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: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

▪ **DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (So)**

Este factor se encuentra estrechamente relacionado con la Confiabilidad “R”, para el cálculo de la Desviación Estándar Global (So) se lo debe seleccionar acorde a las condiciones locales particulares, que toma en cuenta cambios en el comportamiento del pavimento y en la estimación del tránsito. [21], [22]

Para pavimentos flexibles: **0,40 < So < 0,50** Se recomienda usar **0,45**

▪ **ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)**

La Serviciabilidad es la característica de un pavimento para ofrecer una conducción segura y cómoda a los usuarios en un determinado momento. [21], [22]

$$\Delta\text{PSI} = \text{PSI inicial} - \text{PSI final}$$

Donde:

$$\Delta\text{PSI} = \text{diferencia entre los índices de servicio inicial y final deseado}$$

PSI inicial = índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles)

PSI final = índice de servicio terminal, la AASHTO 1993 emplea valores de 3.0, 2.5 y 2.0; recomendando 2.5 o 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios

▪ **MÓDULO DE RESILIENCIA “Mr” (Características de la Subrasante)**

Para la determinación del Módulo de Resiliencia “Mr”, la guía AASHTO toma a consideración que muchos países, incluido Ecuador, no disponen de los equipos adecuados para la determinación del Mr, por lo que sugiere la utilización de las conocidas correlaciones con el CBR: [21], [22]

- a) **Mr (psi) = 1500xCBR** para **CBR < 10%** (sugerida por AASHTO)
- b) **Mr (psi) = 3000xCBR^{0.65}** para **CBR de 10% a 20%** (desarrollada en Sudáfrica)
- c) **Mr (psi) = 4326xlnCBR + 241** (sugerida para suelos granulares por la AASHTO)

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para la ecuación de diseño de pavimento flexible, se procede a reemplazar los valores para determinar el Número Estructural (SN) por medio del programa “Ecuación AASHTO 93”. [21]

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 Reliability (R) So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 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
 Calcular SN **W18 =**

Calcular W18

Número Estructural
SN =

Calcular Salir

Figura 16. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93"

Fuente: Software desarrollado por Ing. Vásquez Várela Luis Ricardo

▪ **DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPA**

Después de haber obtenido el Número Estructural (SN) mediante la Ecuación de Diseño Método AASHTO 93 para la determinación del espesor de la sección estructural del pavimento, se usa la siguiente ecuación que calcula cada uno de los espesores por capa, para la superficie de rodamiento, la base y la subbase. [21], [22]

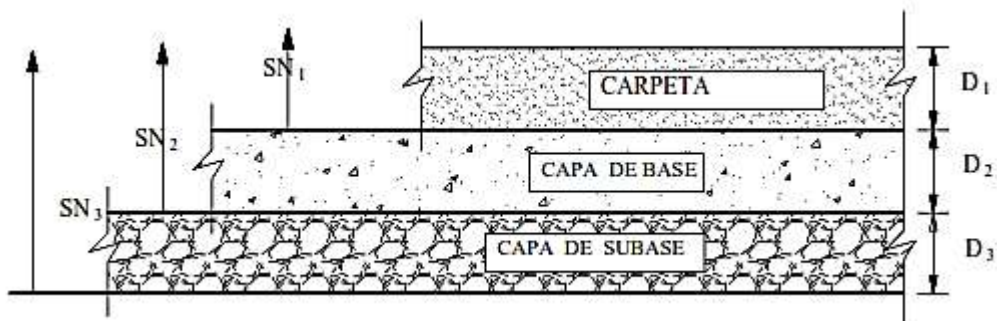


Figura 17. Espesores de cada capa, Ecuación AASHTO 1993

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

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

Donde:

$a_1 a_2 a_3$ = Coeficientes estructurales de la carpeta, base y subbase respectivamente.

$D_1 D_2 D_3$ = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente.

$m_1 m_2$ = Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente

Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a_1)

Para determinar el coeficiente estructural a_1 se debe conocer el Módulo de elasticidad de la muestra en psi o la Estabilidad de Marshall en libras. [25], [23]

Tabla 16. Clasificación del tráfico en función IMDP

TRÁFICO	INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE VEHÍCULOS PESADOS
Liviano	Menos de 50
Medio	50 a 200
Pesado	200 a 1000
Muy Pesado	Más de 1000

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Tabla 17. Estabilidad Marshall de acuerdo IMDP

TIPO DE TRÁFICO	MUY PESADO		PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Estabilidad Marshall (lb)	2200	....	1800	....	1200	....	1000	2400

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

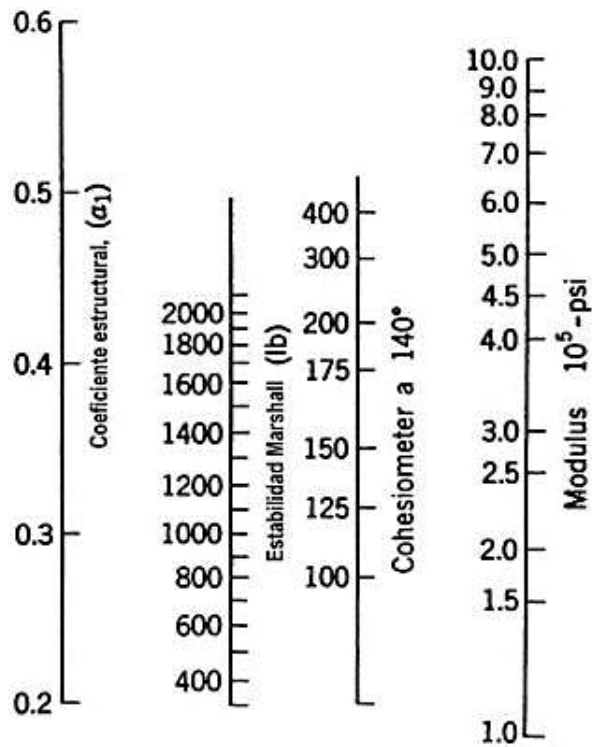


Figura 18. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a_1

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Cabe destacar que esta manera de cálculo del coeficiente estructural es inexacta y solo de manera apreciativa, por lo que para un cálculo más preciso se utiliza los valores de la siguiente tabla que establece la AASHTO 93 para poder determinar el valor exacto de a_1 . [21], [22]

Tabla 18. Módulo elástico de la carpeta asfáltica (a_1)

MÓDULOS ELÁSTICOS		VALORES DE a_1
Psi	MPa	
125000	875	0.220
150000	1050	0.250
175000	1225	0.280
200000	1400	0.295
225000	1575	0.320
250000	1750	0.330
275000	1925	0.350
300000	2100	0.360
325000	2275	0.375

350000	2450	0.385
375000	2625	0.405
400000	2800	0.420
425000	2975	0.435
450000	3150	0.440

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Coefficiente estructural de la Capa Base (a₂)

Según las normas de diseño del MTOP la Capa Base deberá tener un valor de la Relación de Soporte de California (CBR) igual o mayor al 80%, el Límite Líquido (LL) deberá ser menor de 25%, y el Índice Plástico (IP) menor de 6. [22], [24]

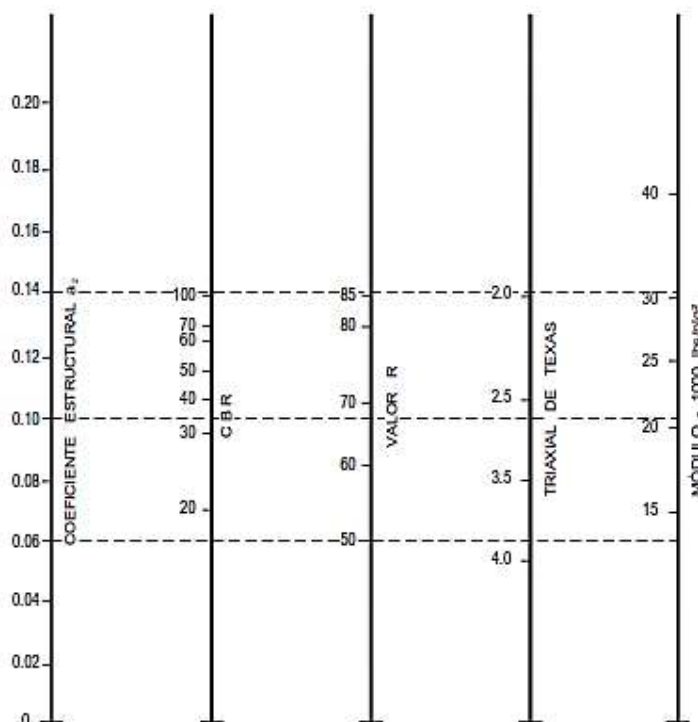


Figura 19. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Cabe destacar que esta manera de cálculo del coeficiente estructural es inexacta y solo de manera apreciativa, por lo que para un cálculo más preciso se utiliza los

valores de la siguiente tabla que establece la AASHTO 93, para determinar el valor exacto de a_2 . [22], [24]

Tabla 19. Coeficientes de la Capa Base (a_2)

BASE DE AGREGADOS	
CBR%	a_2
20	0.070
25	0.085
30	0.095
35	0.100
40	0.105
45	0.112
50	0.115
55	0.120
60	0.125
70	0.130
80	0.133
90	0.137
100	0.140

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Coefficiente estructural de la Capa Sub-base (a_3)

Según las normas de diseño del MTOP la Capa Sub-base deberá tener un valor de la Relación de Soporte de California (CBR) igual o mayor al 30%, el Límite Líquido (LL) deberá ser menor de 25%, y el Índice Plástico (IP) menor de 6. [22], [24]

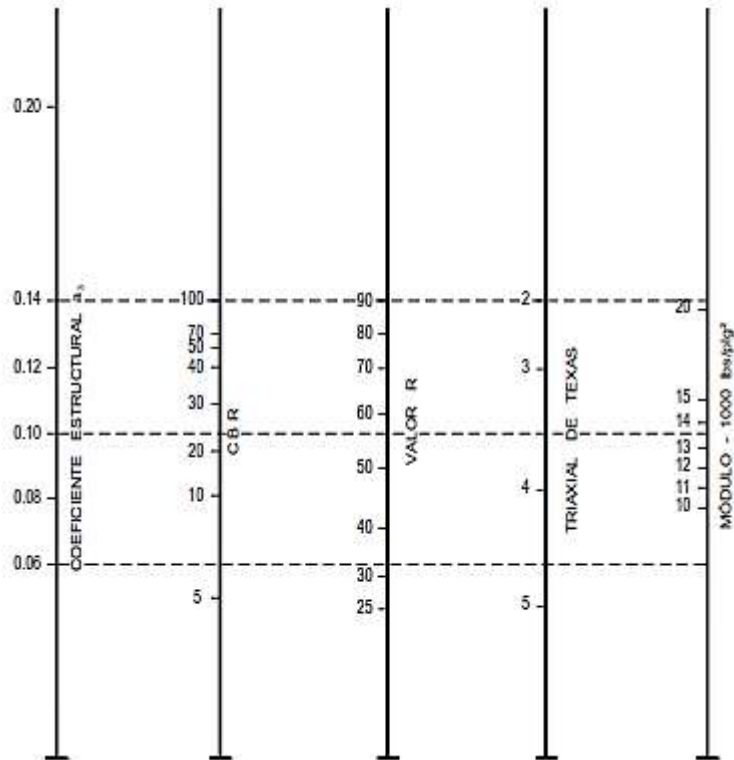


Figura 20. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Sub-base Granular

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Cabe destacar que esta manera de cálculo del coeficiente estructural es inexacta y solo de manera apreciativa, por lo que para un cálculo más preciso se utiliza los valores de la siguiente tabla que establece la AASHTO 93, para determinar el valor exacto de a_3 . [22], [24]

Tabla 20. Coeficientes de la Sub-base granular (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	0.120
50	0.125
60	0.128
70	0.130
80	0.135

90	0.138
100	0.140

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Para el cálculo de los espesores D_1 y D_2 (en plg), el método de cálculo de la AASHTO sugiere tener en cuenta los valores mínimos establecidos en la siguiente tabla, que se encuentran dados acorde al tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados. [21], [22]

Tabla 21. Espesores Mínimos (plg)

Tráfico, W_{18}	Concreto asfáltico, D_1	Capa Base, D_2
< 50 000	1 o (tratan. Superficial)	4
50 001 a 150 000	2.0	4
150 001 a 500 000	2.5	4
500 001 a 2 000 000	3.0	6
2 000 001 a 7 000 000	3.5	6
> 7 000 000	4.0	6

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Para que una carpeta asfáltica tenga una buena estructura debe ser mayor o igual a 3 plg.

▪ **COEFICIENTES DE DRENAJE (m_2 , m_3)**

La calidad del drenaje viene dada en términos del tiempo en que el agua se demora en ser completamente evacuada o eliminada de las capas granulares (capa base y sub-base). [21], [22]

Tabla 22. Capacidad de Drenaje

Calidad del drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

La siguiente tabla, se exponen valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y sub-bases granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año. [21], [22]

Tabla 23. Valores para modificar los coeficientes estructurales de capa de base y sub-base sin tratamiento, en pavimentos flexibles

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta 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	1,20
Buena	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Deficiente	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

1.1.3.8. TEORÍA DE LA CORRELACIÓN

Si X y Y son las dos variables en análisis, un diagrama de dispersión ayuda a indicar la ubicación de los puntos (X, Y) en sistema de coordenadas de dos ejes. Si en este diagrama de dispersión todos los puntos mostrados se acercan o relacionan a una recta trazada, la correlación se le denomina *lineal*. Para este tipo de cuestión en general, lo ideal es la utilización de una ecuación lineal con el objetivo de regresión o estimación. [26]

Si Y aumenta a razón de que X también lo hace, se define que la correlación es una *correlación positiva o directa*. Si Y empieza a disminuir mientras X aumenta, se define como una *correlación negativa o inversa*. [26]

Si todos los puntos se muestran cercanos a una curva, este efecto se denomina como *no lineal*, lo que significaría la utilización de una ecuación no lineal. Es concreto que la correlación no lineal puede ser en ocasiones positiva o también negativa. [26]

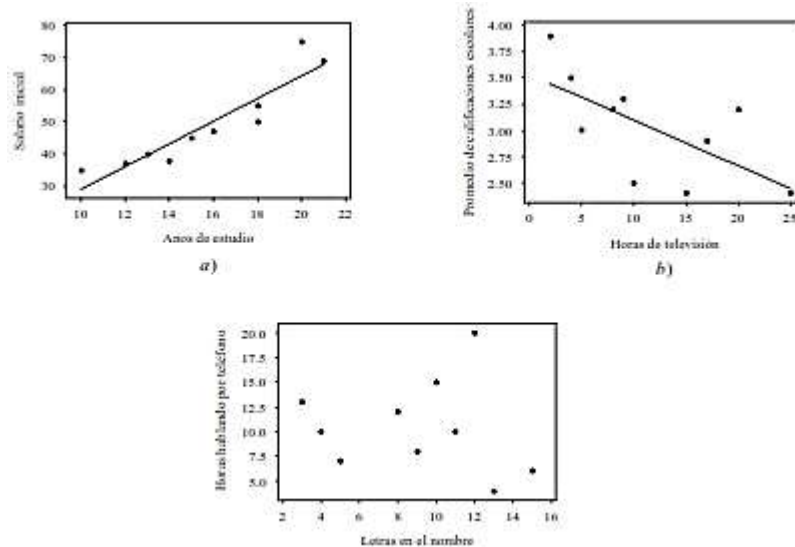


Figura 21. Ejemplos de correlación positiva, correlación negativa y ninguna correlación

Fuente: Estadística. Serie Schaum – 4ta edición

CORRELACIÓN MÚLTIPLE

Se le conoce al grado de relación mostrada entre tres o más variables. [26]

MÉTODOS DE MÍNIMOS CUADRADOS

Para evitar el empleo del criterio personal para la construcción de rectas, parábolas u otras curvas de aproximación que se ajusten a un conjunto de datos, es necesario ponerse de acuerdo en una definición de la “recta de mejor ajuste”, la “parábola de mejor ajuste”, etcétera. [26]

Con objeto de dar una definición, considérese la Figura 8, en la que los datos son los puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$. Dado un valor de X , por ejemplo, X_1 , entre el valor Y_1 y el valor correspondiente determinado de acuerdo con la curva C habrá una diferencia. Como se muestra en la figura, esta diferencia se denota D_1 y se llama la desviación, el error o el residual y puede ser positivo, negativo o cero. De manera semejante se obtienen las desviaciones X_2, \dots, X_N correspondientes a cada valor D_2, \dots, D_N . [26]

Una medida de la “bondad de ajuste” de la curva C a los datos dados es la cantidad $D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_N^2$. Si esta cantidad es pequeña, el ajuste es bueno; si es grande, el ajuste es malo. De esta manera se llega a la definición siguiente: [26]

Definición: De todas las curvas que se aproximan a un conjunto dado de puntos, a la curva que tiene la propiedad de que $D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_N$ sea la mínima se le llama curva de mejor ajuste. [26]

Una curva que tiene esta propiedad se dice que se ajusta a los datos en el sentido de mínimos cuadrados y se le llama curva de mínimos cuadrados. De manera que una recta que tiene esta propiedad se dice que es una recta de mínimos cuadrados, una parábola que tiene esta propiedad es una parábola de mínimos cuadrados, etcétera. [26]

La definición anterior suele emplearse cuando X es la variable independiente y Y es la variable dependiente. Si X es la variable dependiente, la definición se modifica considerando desviaciones horizontales en lugar de desviaciones verticales, lo que equivale a intercambiar los ejes X y Y . Por lo general, estas dos definiciones llevan a curvas distintas de mínimos cuadrados. En este proyecto, a menos que se especifique otra cosa, se considerará que X es la variable independiente y que Y es la variable dependiente. [26]

También pueden definirse otras curvas de mínimos cuadrados considerando las distancias perpendiculares del punto a la curva en lugar de las distancias verticales u horizontales. Sin embargo, esto no suele usarse. [26]

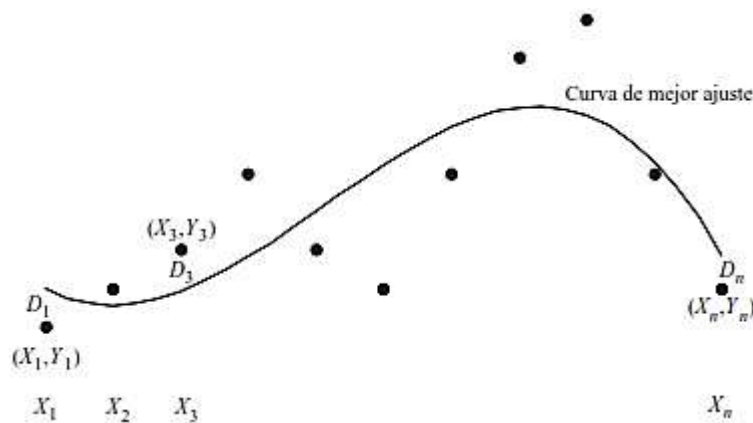


Figura 8. D_1 es la distancia del punto (X_1, Y_1) a la curva de mejor ajuste, ..., D_n es la distancia del punto (X_n, Y_n) a la curva de mejor ajuste

Fuente: Estadística. Serie Schaum – 4ta edición

ECUACIONES NORMALES PARA LOS PLANOS DE REGRESIÓN DE MÍNIMOS CUADRADOS

De igual manera que se encuentran rectas de regresión de mínimos cuadrados que se asemejan a un conjunto de puntos (X, Y) en un diagrama de dispersión bidimensional, de igual forma hay *planos de regresión de mínimos cuadrados* que se asemejan a un conjunto de N puntos (X_1, X_2, X_3) en un diagrama de dispersión tridimensional. [26]

$$\Sigma X_1 = b_{123}N + b_{123}\Sigma X_2 + b_{132}\Sigma X_3$$

$$\Sigma X_1X_2 = b_{123}\Sigma X_2 + b_{123}\Sigma X_2^2 + b_{132}\Sigma X_2X_3$$

$$\Sigma X_1X_3 = b_{123}\Sigma X_3 + b_{123}\Sigma X_2X_3 + b_{132}\Sigma X_3^2$$

Si no se indica otra cosa, siempre que se hable de una ecuación de regresión se dará por hecho que se está indicando a la ecuación de regresión de mínimos cuadrados. [26]

Si $x_1 = X_1 - \bar{X}_1$, $x_2 = X_2 - \bar{X}_2$ y $x_3 = X_3 - \bar{X}_3$, la ecuación de regresión de X_1 sobre X_2 y X_3 puede expresarse de forma más simple como: [26]

$$x_1 = b_{123}x_2 + b_{132}x_3$$

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE

El coeficiente de correlación múltiple para la forma de dos variables independientes, viene dado por: [26]

$$R_{123} = \sqrt{1 - \frac{S_{123}^2}{S_1^2}}$$

Donde s_1 es la desviación estándar de la variable X_1 . La magnitud de R_{123}^2 se le define como *coeficiente de determinación múltiple*. [26]

Cuando se usa una ecuación de regresión lineal, al coeficiente de correlación múltiple se lo conoce como *coeficiente de correlación lineal múltiple*. Si es que no

se determina otra cosa, la definición correlación múltiple se empleará para correlación lineal múltiple. [26]

La ecuación anterior también puede expresarse en términos de r_{12} , r_{13} y r_{23} como:

$$R_{123} = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}}$$

El valor de un coeficiente de correlación múltiple, como R_{123} , está entre 0 y 1. [26]

1.1.4. Hipótesis

La correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín, cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, tendrán un alto grado de confiabilidad que permitirá obtener valores de las propiedades del suelo muy cercanos a los determinados en el laboratorio de manera puntual, necesarias para el diseño de la estructura de un pavimento.

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 Juan Benigno Vela y Pilahuín del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín 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.
- Diseñar la estructura de un pavimento flexible utilizando los valores de las correlaciones obtenidas para suelos de subrasante

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Nivel de Investigación

- **Exploratorio**

El proyecto se ejecutó con un criterio de nivel exploratorio por requerir establecer las características del suelo de análisis y determinar las propiedades de las muestras a través de ensayos de campo y laboratorio.

- **Descriptivo**

Se necesitó conocer las características del lugar del proyecto para establecer las condiciones a las cuales están sujetas las diferentes vías de análisis, además de dar soluciones factibles y de importancia para el mejoramiento en la estructura de los pavimentos existentes en la zona.

- **Explicativo**

Para la recolección de datos necesarios en el análisis y ejecución del proyecto investigativo, fue de mucha importancia socializar con los moradores de las parroquias estudiadas y así darles a conocer el trabajo que se haría y los posteriores beneficios que implicaría la culminación y presentación del proyecto a la colectividad.

2.1.2. Tipos de Investigación

- **Experimental**

La investigación que se empleó en este proyecto fue de tipo experimental, razón por la cual durante la ejecución del proyecto se llevó a cabo ensayos en el laboratorio y en campo, para la determinación de las propiedades índice y mecánicas de los suelos analizados. Este trabajo busca ampliar el método de diseño de pavimento al determinar las características de cada uno de los diversos tipos de suelo examinados.

- **De Campo**

Es de campo porque la exploración se llevó a cabo in situ, al hacer el ensayo DCP para conseguir el número de golpes para una penetración en mm.

- **De Laboratorio**

Es de laboratorio por la ejecución de ensayos y de esta forma conseguir las características granulométricas, plásticas, densidades, de los suelos para saber las propiedades y tipos de suelo.

- **Analítica**

La investigación fue de tipo analítica, dado que fue necesario recurrir a la teoría adquirida durante la carrera, principalmente lo estudiado en la cátedra de mecánica de suelos I, mecánica de suelos II y Pavimentos. Los resultados que se obtuvieron servirán como guía para expertos y alumnos de la carrera de ingeniería civil.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Debido a que este proyecto es de tipo experimental, las muestras recolectadas para ser ensayadas fueron de suelos de la Sierra.

La primera parroquia en la que se estudió los suelos adyacentes a las vías de análisis fue Juan Benigno Vela. Esta es una parroquia que de acuerdo al mapa climático del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del GAD Municipal de Ambato, tiene una temperatura que va desde los 4 a 14°C, con un promedio estimado de 12,5 °C. Las precipitaciones que se presentan en esta parroquia oscilan entre los 600 a 1000 mm, y su porcentaje de humedad estimado es del 76%. [27]

La segunda parroquia de análisis es Pilahuín. Esta es una parroquia que de acuerdo al Ministerio del Ambiente (MAE), tiene una temperatura que va desde los 0 a 14°C. Las precipitaciones que se presentan en esta parroquia oscilan entre los 129 a 2213 mm, teniendo como un promedio anual una precipitación de 1142 mm. Además, su porcentaje de humedad estimado para un piso climático Montano Alto es del 5%, para un Montano Alto Superior es de 70%, y para un Subnival es de 25%. [28]

En la sierra, Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato; se recolectó 12 tipos diferentes de muestras de suelo, en los cuales se efectuó los diferentes ensayos para la obtención del CBR de laboratorio y también se realizó el DCP en el campo. Las muestras de suelo fueron extraídas de diferentes vías de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín, se escogieron 3 vías importantes de cada parroquia de las cuales se obtuvieron 2 muestras por cada carretera seleccionada.

Considerando que este es un proyecto macro la totalidad de las muestras que se analizaron fueron 102, que se recolectaron de las principales vías asfaltadas de las 18 parroquias más importantes que conforman el cantón Ambato de la provincia de Tungurahua.

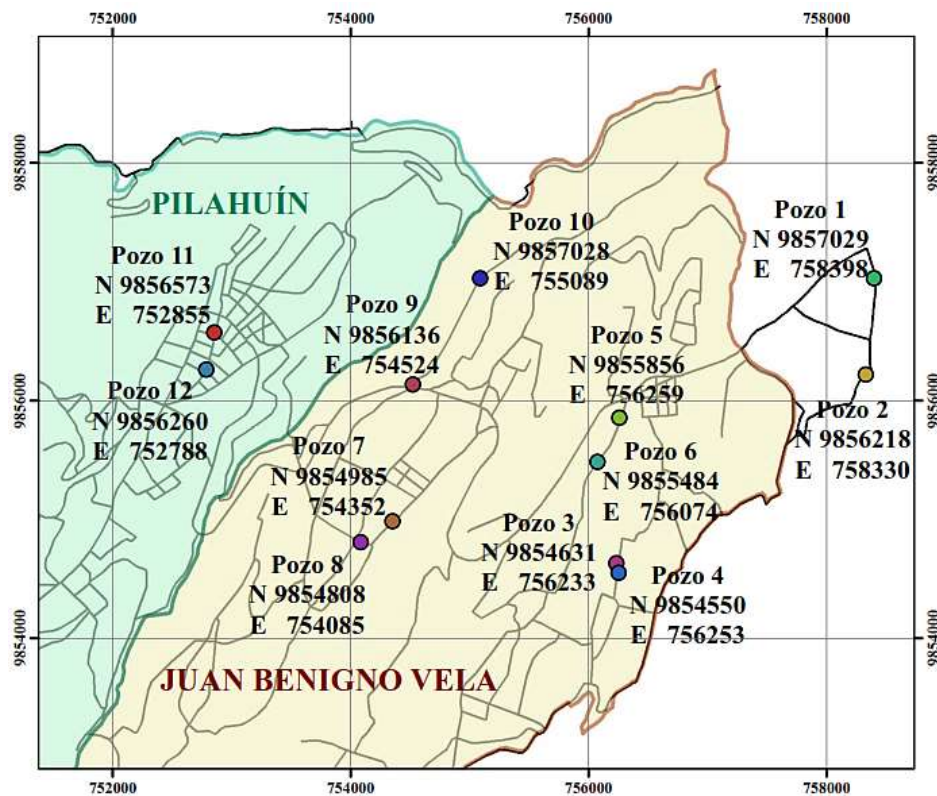


Figura 22. Mapa Georreferenciado de cada uno de los pozos realizados con sus respectivas coordenadas

Autor: Christian González

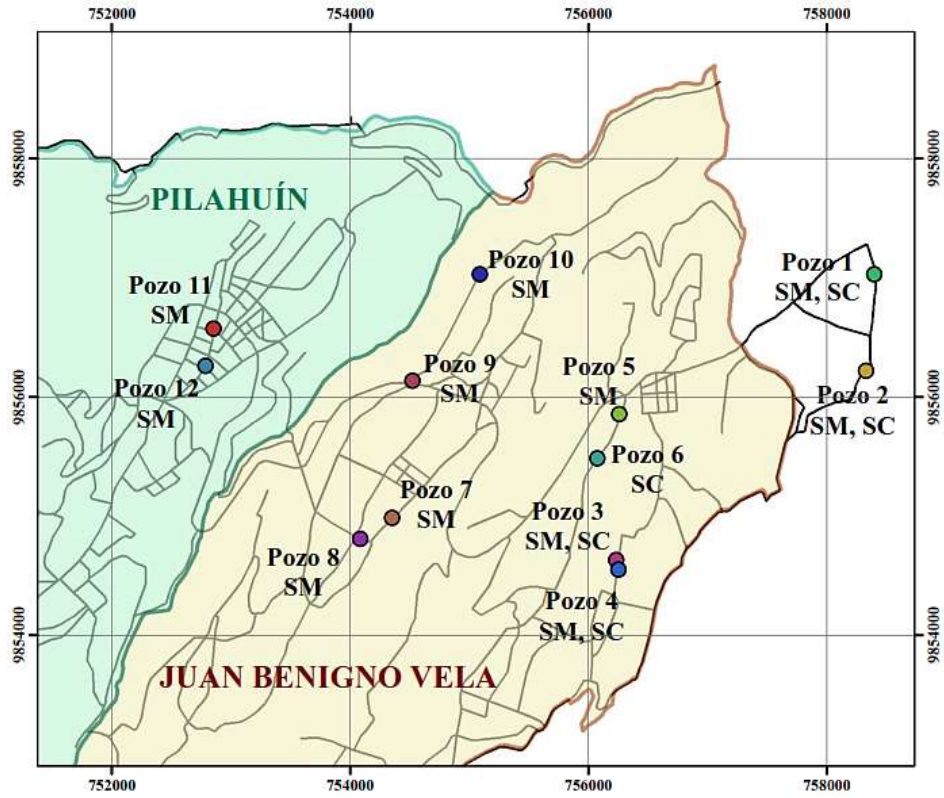


Figura 23. Mapa georreferenciado de los tipos de suelos en cada pozo según la SUCS

Autor: Christian González

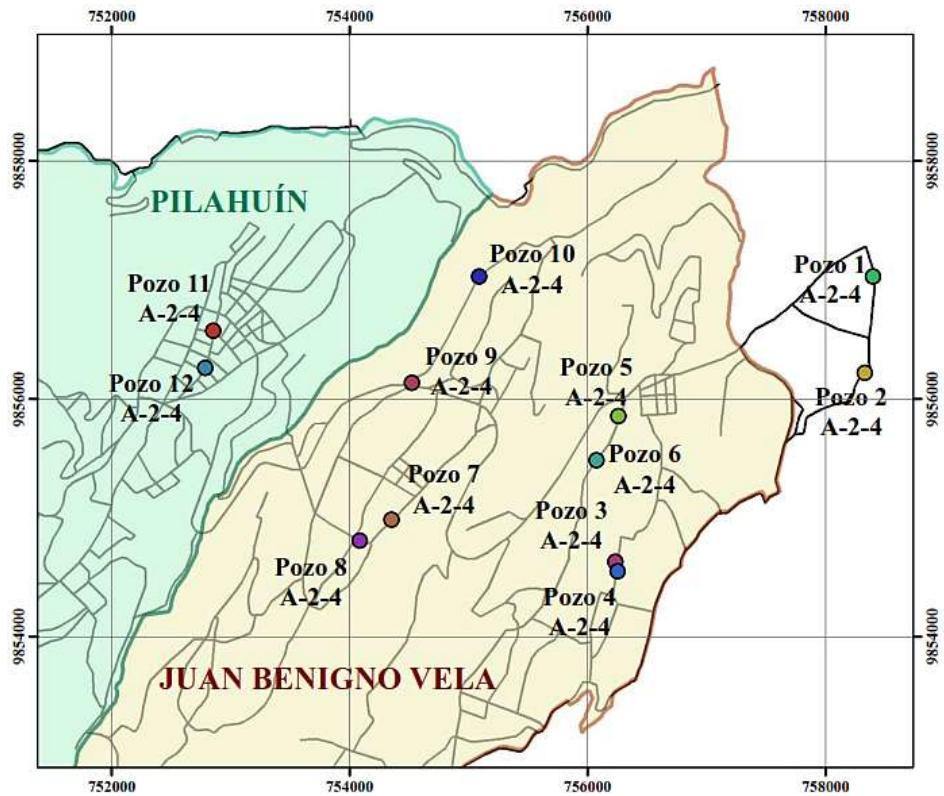


Figura 24. Mapa georreferenciado de los tipos de suelos en cada pozo según la AASHTO

Autor: Christian González

2.3.MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1. Materiales y Equipos

Tabla 24. Materiales y equipos usados para la realización de los ensayos en campo y laboratorio

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Pozo a Cielo Abierto	Muestras in situ	Pala, Pico, Barra, Flexómetro	AASHTO T 87-70
Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras in situ	Cono, Cíncel, Cuchareta, Placa metálica, Balanza, Clavos, Martillo	AASHTO T 191 2014
Dinamic Cone Penetrometer (DCP)	Muestras in situ	Equipo DCP, Libreta de anotación	ASTMD 6951-03
Gravedad Específica de sólidos	50 gr de suelo que pasa tamiz # 4	Tamiz #4, Picnómetro, Embudo, Termómetro, Recipiente metálico, Pipeta, Baño María	AASHTO T 100 2015
Granulometría	Muestra cuarteada	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
Límite Plástico	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Placa de vidrio, Mortero de porcelana, Pistillo de	AASHTO T 90 2016

		caucho, Calibrador pie de rey	
Proctor Modificado tipo B	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	Bandeja metálica cuadrada, Martillo de compactación, Molde Ø 6" con extensión y base, Probeta graduada, Palustre, Regleta Metálica	AASHTO T 180 2018
California Bearing Ratio (CBR)	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	MULTISPEED 34-V1172	AASHTO T 193 2013

Autor: Christian González

2.3.2. Anexo fotográfico de cada ensayo

Pozo a Cielo Abierto



Figura 25. Excavación del Pozo a Cielo Abierto



Figura 26. Medición de 1 m de profundidad de Pozo a Cielo Abierto

Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)



Figura 27. Excavación del orificio de 10 cm para colocación del Cono de Arena



Figura 28. Colocación del Cono con la arena de Ottawa para determinar la densidad del suelo

Dinamic Cone Penetrometer (DCP)



Figura 29. Realización del ensayo con el equipo DCP



Figura 30. Perforación con el equipo DCP alcanzó profundidades de 70 cm en tres diferentes puntos

Gravedad Específica de sólidos



Figura 31. Colocación de 50 gr de muestra de suelo con agua dentro del Picnómetro



Figura 32. Muestra de suelo seca después de pasar 24 h en el horno

Granulometría



Figura 33. Colocación de la muestra de suelo en los tamices para ser procesada durante 15 min



Figura 34. Toma de pesos parciales de cada muestra de suelo retenida en los tamices

Límite Líquido (Copa Casagrande)



Figura 35. Muestra de suelo húmeda dividida en dos partes para posterior contabilización de golpes

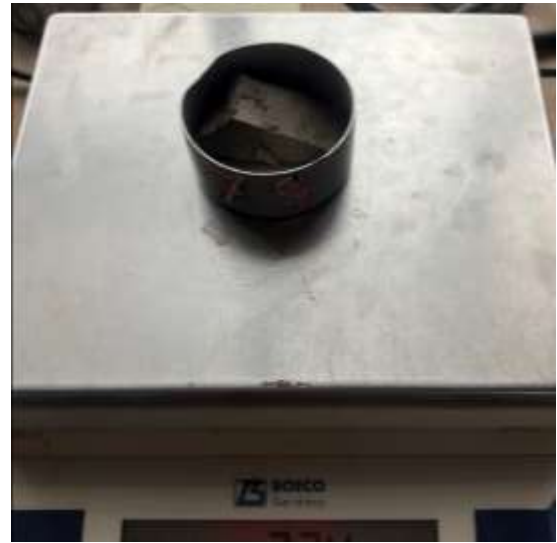


Figura 36. Recolección de una parte de la muestra de suelo después de ser ensayada en la Copa Casagrande

Límite Plástico



Figura 37. Realización de tiras de 3 mm de diámetro de la muestra de suelo



Figura 38. Peso de la tira de la muestra de suelo para obtener su contenido de humedad

Proctor Modificado tipo B



Figura 39. Compactación de la muestra de suelo en 5 capas diferentes por medio del martillo



Figura 40. Peso de la muestra compactada con variación de humedad en un cilindro metálico

California Bearing Ratio (CBR)



Figura 41. Colocación de pesas sobre los moldes con muestras de suelo para posterior sumersión durante 24 h



Figura 42. Ensayo de los cilindros de tierra posterior remojo durante 24 h

2.4.MÉTODOS

2.4.1. Plan de recolección de datos

Tabla 25. Plan de recolección de datos para la realización del proyecto

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Correlacionar las propiedades índices y mecánicas de diferentes suelos con su respectivo valor de CBR obtenido en laboratorio.
¿A quiénes?	En las muestras de suelo de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín tomadas in situ.
¿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.
¿Cuándo?	Ensayos de campo del 24 de junio al 23 de julio. Ensayos de laboratorio del 26 de julio al 02 de octubre. Procesamiento y análisis de información desde octubre a noviembre.
¿Dónde?	Laboratorio de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Técnicas de Recolección?	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 in situ. 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>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 #4.</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: Christian González

2.4.2. Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Plan de procesamiento de información

- Análisis crítico de la información recogida sobre las muestras de suelo a ser estudiadas, revisión de la información errada, contradictoria o incompleta, que muestren un exagerado grado de dispersión con el resto de muestras.
- Determinación de las cantidades de suelo necesarias para la realización de los ensayos en laboratorio.
- Representación de los datos obtenidos en los ensayos ejecutados en laboratorio para posterior procesamiento y presentación mediante tablas y gráficas que

ayuden al planteamiento de las correlaciones entre propiedades y el diseño de pavimento.

Plan de análisis e interpretación de resultados

- Analizar e interpretar los resultados alcanzados de las correlaciones efectuadas entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos por medio del uso de análisis estadístico con el método de mínimos cuadrados, verificando el grado de correlación entre las variables y la confiabilidad que presenten para realizar uso y obtención de propiedades necesarias en el cálculo correspondiente al diseño de un pavimento flexible según las normas y especificaciones del MTOP y la Guía para Diseño de Pavimentos de la AASHTO 1993.

2.4.3. Formatos de tablas para la determinación de las diferentes correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas

- **Correlación Lineal**

Tabla 26. Formato de tabla de la Correlación Lineal

X	Y	Z	X ²	XY	YZ	Y ²	XZ	Z ²
ΣX	ΣY	ΣZ	ΣX^2	ΣXY	ΣYZ	ΣY^2	ΣXZ	ΣZ^2

Autor: Christian González

$$\Sigma Z = a_0 N + a_1 \Sigma X + a_2 \Sigma Y$$

$$\Sigma XZ = a_0 \Sigma X + a_1 \Sigma X^2 + a_2 \Sigma XY$$

$$\Sigma YZ = a_0 \Sigma Y + a_1 \Sigma XY + a_2 \Sigma Y^2$$

$$\boxed{Z = a_0 + a_1 X + a_2 Y}$$

- Correlación Logarítmica

Tabla 27. Formato de tabla de la Correlación Logarítmica

$X'=\log(X)$	Y	Z	X'^2	$X'Y$	YZ	Y^2	$X'Z$	Z^2
$\sum X'$	$\sum Y$	$\sum Z$	$\sum X'^2$	$\sum X'Y$	$\sum YZ$	$\sum Y^2$	$\sum X'Z$	$\sum Z^2$

Autor: Christian González

$$\sum Z = a_0N + \sum X' + a_2\sum Y$$

$$\sum X'Z = a_0\sum X' + a_1\sum X'^2 + a_2\sum X'Y$$

$$\sum YZ = a_0\sum Y + a_1\sum X'Y + a_2\sum Y^2$$

$$\boxed{Z = a_0 + a_1X' + a_2Y}$$

- **Correlación Potencial**

Tabla 28. Formato de tabla de la Correlación Potencial

$X'=\log(X)$	$Y'=\log(Y)$	$Z'=\log(Z)$	X'^2	$X'Y'$	$Y'Z'$	Y'^2	$X'Z'$	Z'^2
$\Sigma X'$	$\Sigma Y'$	$\Sigma Z'$	$\Sigma X'^2$	$\Sigma X'Y'$	$\Sigma Y'Z'$	$\Sigma Y'^2$	$\Sigma X'Z'$	$\Sigma Z'^2$

Autor: Christian González

$$\Sigma Z' = a_0N + \Sigma X' + a_2\Sigma Y'$$

$$\Sigma X'Z' = a_0\Sigma X' + a_1\Sigma X'^2 + a_2\Sigma X'Y'$$

$$\Sigma Y'Z' = a_0\Sigma Y' + a_1\Sigma X'Y' + a_2\Sigma Y'^2$$

$$Z' = a_0 * X'^{a1} * Y'^{a2}$$

- **Correlación Exponencial**

Tabla 29. Formato de tabla de la Correlación Exponencial

X	Y	Z'=log(Z)	X ²	XY	YZ'	Y ²	XZ'	Z' ²
ΣX	ΣY	$\Sigma Z'$	ΣX^2	ΣXY	$\Sigma YZ'$	ΣY^2	$\Sigma XZ'$	$\Sigma Z'^2$

Autor: Christian González

$$\Sigma Z' = a_0N + a_1\Sigma X + a_2\Sigma Y$$

$$\Sigma XZ' = a_0\Sigma X + a_1\Sigma X^2 + a_2\Sigma XY$$

$$\Sigma YZ' = a_0\Sigma Y + a_1\Sigma XY + a_2\Sigma Y^2$$

$$Z' = a_0 * e^{a_1X} * e^{a_2Y}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS SUELOS ANALIZADOS

Los valores indicados a continuación representan aproximadamente los rangos de resultados obtenidos para las 12 muestras de suelo analizadas.

- El color característico un poco café que varía entre oscuro para los más húmedos y claro para los secos.
- El Contenido de Humedad Natural varía entre 7 y 34%.
- El porcentaje de grava en general varía entre 0 y 12%.
- El porcentaje de arena varía del 68 al 93%.
- El porcentaje de material fino varía del 7 al 32%.
- Los valores del Coeficiente de Uniformidad varían de 3 a 19.
- Los valores del Coeficiente de Curvatura varían de 0.3 a 1.
- Los valores de la Relación de Vacíos varían de 0.49 a 1.16.
- Los valores de la Porosidad varían de 32 a 54%.
- Los valores del Grado de Saturación de Agua varían de 27 a 88%.
- Los valores del Grado de Saturación de Aire varían de 12 a 73%.
- Los valores de Límite Líquido obtenidos mediante ensayo de la Copa de Casagrande varían de 18 a 29%.
- Los valores de Límite Plástico varían de 10 a 37%.
- Los valores de Índice Plástico varían de 0 a 8%.
- Los valores de Índice Líquido varían de 0 a 0.5%.
- En conclusión, estos suelos son del tipo SM y SC (SUCS) y A-2-4 (AASHTO).
- La Gravedad Específica de Sólidos varía de 2.155 a 2.693, valores característicos para suelos granulares.
- Los valores de Densidad Húmeda in-situ, de la mayoría de muestras, varían de 1.416 a 2.066 gr/cm³
- Los valores de Densidad Seca in-situ, de la mayoría de muestras, varían de 1.229 a 1.780 gr/cm³.

- Los valores de Densidad Seca Máxima, de la mayoría de muestras, varían de 1.537 a 1.820 gr/cm³.
- Los valores de Humedad Óptima varían de 13 a 24%.
- El Grado de Compactación en estado natural varía de 70 a 108%.
- Los valores CBR mayores tomados para el 95% de la densidad seca máxima (corregidos) varían de 5 a 26%.
- El Índice de Penetración (DN) para 700 mm, varía de 2 a 42 mm/golpe.

3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS ANALIZADOS

Tabla 30. Clasificación de los suelos según la SUCS y la AASHTO

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS		
POZO	SUCS	AASHTO
1	SM, SC	A-2-4
2	SM, SC	A-2-4
3	SM, SC	A-2-4
4	SM, SC	A-2-4
5	SM	A-2-4
6	SC	A-2-4
7	SM	A-2-4
8	SM	A-2-4
9	SM	A-2-4
10	SM	A-2-4
11	SM	A-2-4
12	SM	A-2-4

Autor: Christian González

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)
G_c	= Grado de Compactación	(%)
G_s	= Gravedad Específica de Sólidos	
G_w	= Grado de Saturación de Agua	(%)
G_a	= Grado de Saturación de Aire	(%)
e	= Relación de vacíos	
n	= Porosidad	(%)
IL	= Índice Líquido	(%)
IP	= Índice Plástico	(%)
LL	= Límite Líquido	(%)
LP	= Límite Plástico	(%)
N° 200	= Pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm)	(%)
C_u	= Coeficiente de Uniformidad	
C_c	= Coeficiente de Curvatura	
W_{nat}	= Contenido de Humedad Natural	(%)
W_{ópt}	= Contenido de Humedad Óptima	(%)
γ_{h in-situ}	= Densidad Humedad In-Situ	(gr/cm ³)
γ_{d in-situ}	= Densidad Seca In-Situ	(gr/cm ³)
γ_{d máx}	= Densidad Seca Máxima	(gr/cm ³)

Tabla 31. Propiedades del suelo

N°	Ubicación	Tramo	W _{nat} (%)	Granulometría							
				SUCS					AASHTO		
				G (%) Grava	S (%) Arena	F (%) Fino	Cu D ₆₀ /D ₁₀	Cc D ₃₀ ² /(D ₁₀ ×D ₆₀)	G (%) Grava	S (%) Arena	F (%) Fino
1	JBV - San Pablo	Inicial	18.33	0.00	74.39	25.61	3.56	1.00	0.00	74.39	25.61
2		Final	10.33	0.00	79.77	20.23	14.47	0.44	8.98	70.80	20.23
3	JBV - Chacapungo	Inicial	22.60	0.00	92.05	7.95	10.00	0.55	12.08	79.97	7.95
4		Final	16.17	0.00	68.34	31.66	3.34	0.90	0.12	68.22	31.66
5	JBV - Pataló Alto	Inicial	12.35	4.74	74.63	20.63	18.53	0.34	15.44	63.93	20.63
6		Final	14.06	0.20	77.80	22.00	3.60	0.98	0.97	77.03	22.00
7	Chibuleo - La Merced	Inicial	29.72	7.75	77.28	14.97	13.89	0.56	17.44	67.59	14.97
8		Final	15.08	1.84	78.05	20.11	4.20	0.86	5.88	74.01	20.11
9	Pilahuín - Complejo Aguaján	Inicial	7.28	3.25	73.14	23.62	9.55	0.49	10.34	66.04	23.62
10		Final	19.42	0.00	78.16	21.84	8.89	0.80	3.98	74.18	21.84
11	Pilahuín - Palugsha	Inicial	16.07	7.16	80.19	12.65	18.55	0.51	20.81	66.55	12.65
12		Final	33.75	11.01	81.01	7.98	18.89	0.76	29.68	62.35	7.98

Autor: Christian González

N°	Ubicación	Tramo	Cono y Arena				Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Índice Líquido (%)	Gravedad Específica (Gs)
			Gw (%)	Ga (%)	e	n (%)					
1	JBV - San Pablo	Inicial	45.13	54.87	1.07	51.58	21.58	15.45	6.14	0.47	2.642
2		Final	29.38	70.62	0.99	49.69	27.29	22.84	4.45	0.00	2.485
3	JBV - Chacapungo	Inicial	55.16	44.84	1.06	51.53	26.43	21.03	5.41	0.29	2.397
4		Final	45.41	54.59	0.95	48.73	18.72	14.02	4.70	0.46	2.207
5	JBV - Pataló Alto	Inicial	59.21	40.79	0.56	36.07	26.99	27.42	0.00	0.00	2.155
6		Final	42.69	57.31	0.87	46.56	19.43	11.57	7.86	0.32	2.672
7	Chibuleo - La Merced	Inicial	74.57	25.43	1.06	51.43	28.92	36.18	0.00	0.00	2.662
8		Final	34.92	65.08	1.16	53.64	20.78	20.90	0.00	0.00	2.649
9	Pilahuín - Complejo Aguaján	Inicial	27.59	72.41	0.70	41.09	23.69	23.08	0.60	0.00	2.693
10		Final	62.68	37.32	0.83	45.29	21.30	26.98	0.00	0.00	2.606
11	Pilahuín - Palugsha	Inicial	87.48	12.52	0.49	32.88	26.47	30.36	0.00	0.00	2.601
12		Final	85.33	14.67	0.64	38.91	27.47	30.74	0.00	0.00	2.618

Autor: Christian González

N°	Ubicación	Tramo	Clasificación		Densidad de Campo		Compactación		
			SUCS	AASHTO	γ_h in-situ (gr/cm ³)	γ_d in-situ (gr/cm ³)	γ_d máx (gr/cm ³)	$W_{\text{ópt}}$ (%)	G_c (%)
1	JBV - San Pablo	Inicial	SM, SC	A-2-4	1.516	1.282	1.673	16.48	77
2		Final	SM, SC	A-2-4	1.479	1.340	1.644	15.87	82
3	JBV - Chacapungo	Inicial	SM, SC	A-2-4	1.569	1.279	1.820	13.01	70
4		Final	SM, SC	A-2-4	1.580	1.359	1.661	18.63	82
5	JBV - Pataló Alto	Inicial	SM	A-2-4	1.908	1.698	1.586	20.64	107
6		Final	SC	A-2-4	1.615	1.415	1.711	15.54	83
7	Chibuleo - La Merced	Inicial	SM	A-2-4	1.671	1.288	1.537	23.28	84
8		Final	SM	A-2-4	1.416	1.229	1.687	16.25	73
9	Pilahuín - Complejo Aguaján	Inicial	SM	A-2-4	1.674	1.563	1.665	18.33	94
10		Final	SM	A-2-4	1.734	1.451	1.605	19.05	90
11	Pilahuín - Palugsha	Inicial	SM	A-2-4	2.066	1.780	1.719	16.74	104
12		Final	SM	A-2-4	1.951	1.617	1.606	21.14	101

Autor: Christian González

N°	Ubicación	Tramo	CBR (%)			DCP
			95% V_d máx			
			0.1"	0.2"	MAYOR	DN (mm/golpe)
1	JBV - San Pablo	Inicial	25.30	24.10	25.30	34.55
2		Final	23.60	22.70	23.60	2.91
3	JBV - Chacapungo	Inicial	6.20	5.80	6.20	4.41
4		Final	13.80	13.10	13.80	19.26
5	JBV - Pataló Alto	Inicial	11.30	10.25	11.30	5.65
6		Final	16.90	16.00	16.90	41.12
7	Chibuleo - La Merced	Inicial	14.60	13.85	14.60	14.97
8		Final	17.00	16.50	17.00	5.65
9	Pilahuín - Complejo Aguaján	Inicial	18.50	16.60	18.50	7.23
10		Final	11.70	11.20	11.70	12.76
11	Pilahuín - Palugsha	Inicial	9.40	7.70	9.40	3.53
12		Final	13.50	11.30	13.50	4.37

Autor: Christian González

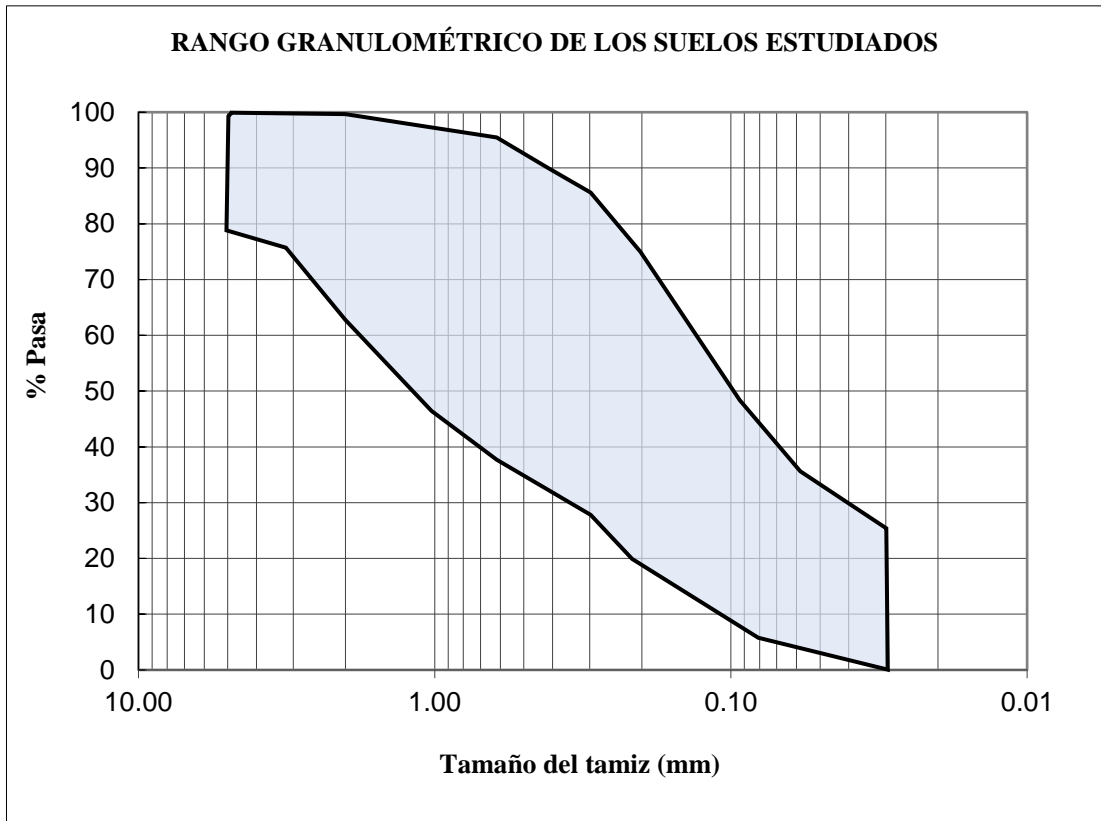


Figura 43. Rango granulométrico de los suelos analizados

Autor: Christian González

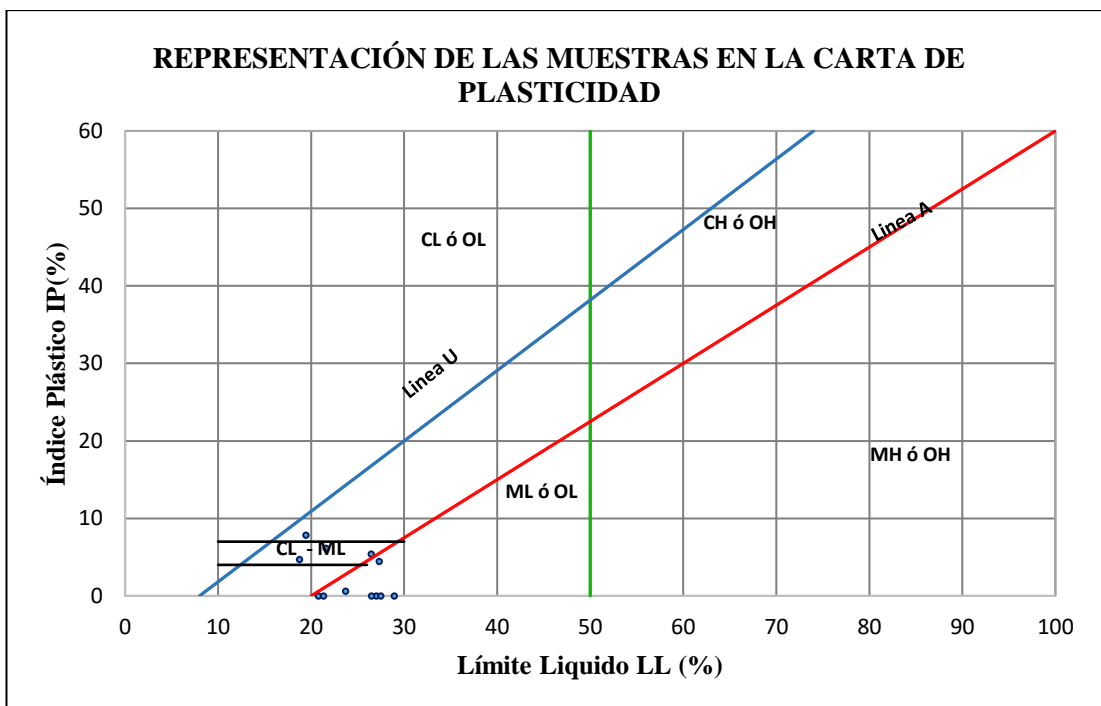


Figura 44. Representación de las muestras en la carta de plasticidad

Autor: Christian González

3.1.3. CORRELACIONES

3.1.3.1. Tabla de correlación de 2 y 3 variables

Tabla 32. Tabla resumen de correlaciones de 2 y 3 variables

N°	Ecuación	Coefficiente Correlación r (%)	N° Muestras	Figura
CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE				
1	$LP = 0.0684(LL)^{1.8238}$	65	12	40
2	$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 0.0072(W_{\text{ópt}})^2 - 0.198(W_{\text{ópt}}) + 2.6552$	73	10	41
3	$Gw = 2.043(W_{\text{nat}}) + 14.121$	80	11	42
4	$Ga = \frac{119.99}{e^{0.054(W_{\text{nat}})}}$	82	11	43
5	$W_{\text{ópt}} = 0.4497(W_{\text{nat}})^2 - 14.964(W_{\text{nat}}) + 139.16$	60	11	44
6	$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{3.4617}{W_{\text{ónt}}^{0.256}}$	86	12	45
7	$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{1.65 * e^{0.01(LL)}}{e^{0.01(LP)}}$	56	11	46
8	$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{5.03}{LL^{0.24} * N^{\circ} 200^{0.12}}$	61	11	47
CORRELACIONES DN vs. PROPIEDADES ÍNDICE				
9	$DN = 0.1454(LP)^2 - 7.8741(W_{\text{nat}}) + 110.44$	80	12	48
10	$DN = \frac{1605.7}{e^{0.222(LL)}}$	67	11	49
11	$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 0.65 + 0.008(DN) + 0.03(LP)$	59	11	50
12	$DN = \frac{5563638}{LL^{3.05} * LP^{1.23}}$	75	11	51
13	$DN = \frac{60.10 * \gamma_{d \text{ in situ}}^{1.14}}{Cu^{1.07}}$	56	12	52
14	$DN = \frac{1.83 * e^{2.80(Cc)}}{e^{0.23(\gamma_{d \text{ in situ}})}}$	53	12	53
15	$DN = \frac{0.36 * W_{\text{ópt}}^{2.14}}{Cu^{1.31}}$	85	11	54
16	$DN = 0.11 * e^{0.13(W_{\text{ópt}})} * e^{3.36(Cc)}$	76	11	55

CORRELACIONES CBR vs. PROPIEDADES ÍNDICE				
17	$CBR_{mayor} = 0.0116(DN)^2 - 0.0299(DN) + 12.013$	55	10	56
18	$CBR_{mayor} = \frac{32.60 * e^{0.08(W_{\acute{o}pt})}}{e^{0.10(LL)}}$	55	10	57
19	$CBR_{mayor} = \frac{60.48}{\gamma_{d \text{ in situ}}^{1.76} * W_{nat}^{0.26}}$	59	11	58
20	$CBR_{mayor} = \frac{138.40}{e^{1.03(\gamma_{d \text{ in situ}})} * e^{0.04(W_{\acute{o}pt})}}$	55	11	59
21	$CBR_{mayor} = 13.23 + 2.70(IP) - 17.76(IL)$	66	10	60
22	$CBR_{mayor} = 20.83 + 1.36(IP) - 0.38(W_{\acute{o}pt})$	55	10	61
23	$CBR_{mayor} = 0.06 * LL^{0.83} * N^{\circ} 200^{0.99}$	58	11	62
24	$CBR_{mayor} = \frac{144.87 * e^{0.66}}{W_{\acute{o}pt}^{0.73}}$	56	11	63
25	$CBR_{mayor} = \frac{1.47 * n^{1.18}}{W_{\acute{o}nt}^{0.74}}$	57	11	64
26	$CBR_{mayor} = \frac{6.77 * W_{\acute{o}pt}^{1.29}}{Gw^{0.77}}$	68	11	65
27	$CBR_{mayor} = 2.06 * e^{0.83(Ga)} * e^{0.99(W_{\acute{o}pt})}$	56	11	66
28	$CBR_{mayor} = \frac{0.28 * W_{\acute{o}pt}^{1.79}}{Cu^{0.58}}$	78	10	67
29	$CBR_{mayor} = 1.74 * e^{1.39(Cc)} * e^{0.06(W_{\acute{o}pt})}$	66	10	68

Autor: Christian González

Tabla 33. Rangos de confiabilidad del Coeficiente de Correlación

Rango		Relación Lineal
± 0,96	± 1,0	Perfecta
± 0,85	± 0,95	Fuerte
± 0,70	± 0,84	Significativa
± 0,50	± 0,69	Moderada
± 0,20	± 0,49	Débil
± 0,10	± 0,19	Muy Débil
± 0,09	± 0,0	Nula

Fuente: “Coeficiente de correlación, ¿qué es y para qué sirve?” Ramos Rodríguez, M – Curso de Probabilidad y Estadística

3.1.3.2. Correlaciones entre las Propiedades Índice

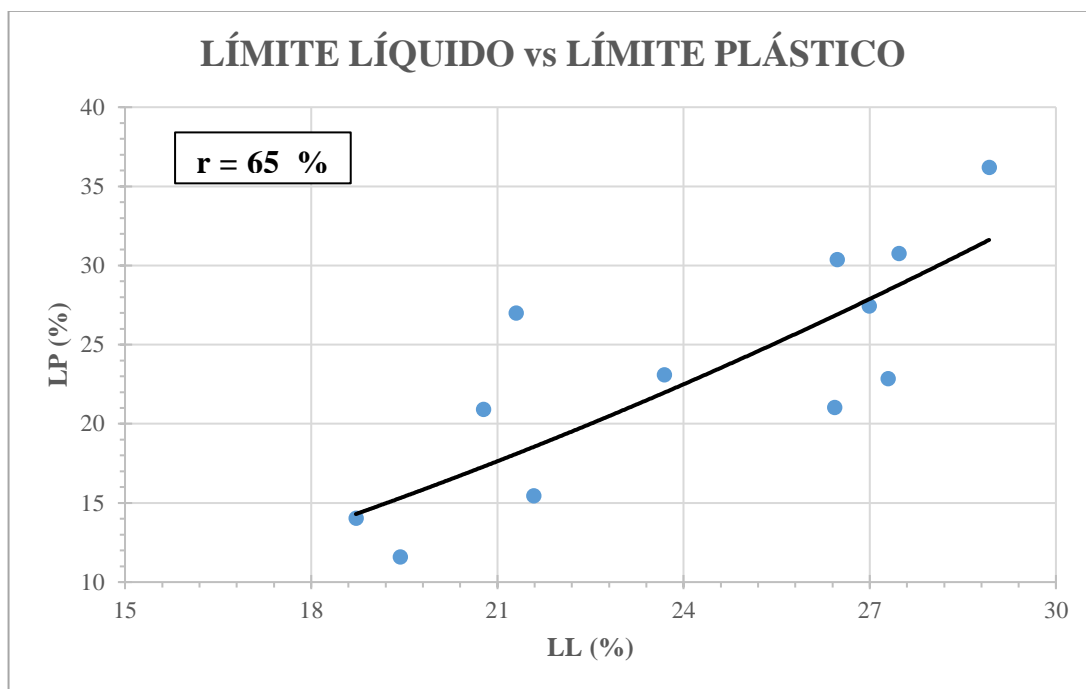


Figura 45. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico

Autor: Christian González

Ecuación

$$LP = 0.0684(LL)^{1.8238}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 65 \%$$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 12 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia buena entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP) de manera gradual, ya que los porcentajes presentes del LL tienen una variación no muy marcada con el LP en la mayoría de muestras. Se analiza que los porcentajes presentan cierta concordancia tanto para el estado viscoso-saturado del LL como para la capacidad de moldeado que tienen cada una de las muestras de suelo hasta llegar al agrietamiento según los porcentajes de LP que presenten.

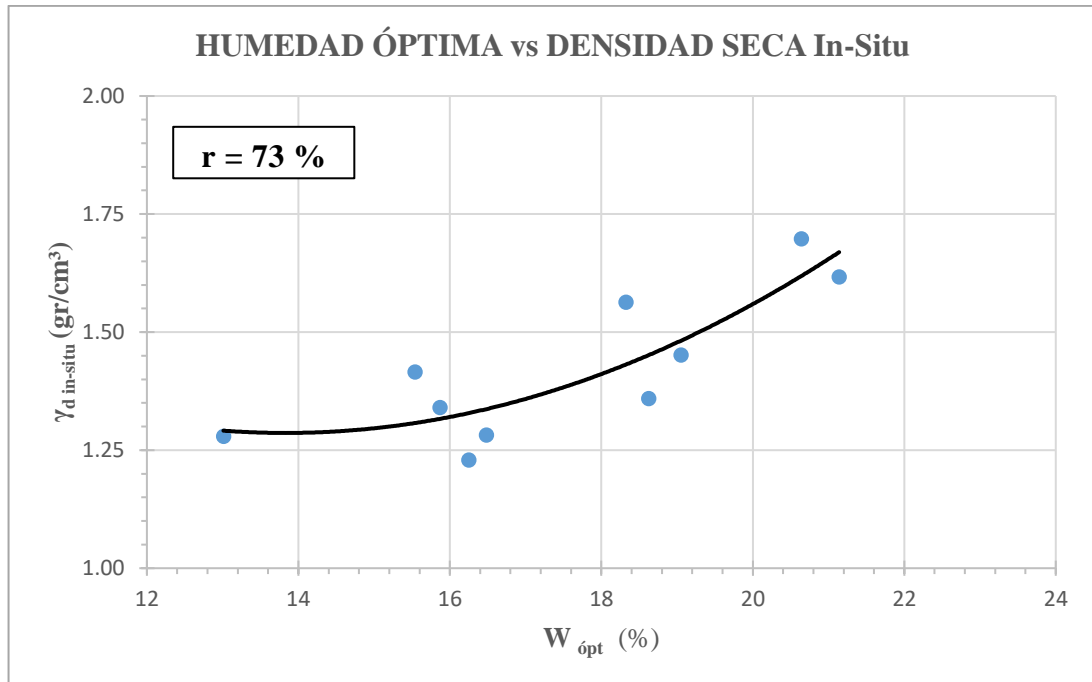


Figura 46. Correlación Humedad Óptima vs Densidad Seca In-Situ

Autor: Christian González

Ecuación

$$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 0.0072(W_{\text{ópt}})^2 - 0.198(W_{\text{ópt}}) + 2.6552$$

Coefficiente de Correlación

$r = 73 \%$

Modelo de correlación: Polinomial

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia aceptable entre la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$) y la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_{d \text{ in-situ}}$), debido a que los porcentajes presentes de $W_{\text{ópt}}$ tienen un efecto no muy representativo en la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$. Se analiza que los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ conforme van creciendo la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ en algunas muestras va disminuyendo y en otras aumenta a la par, esto se debe especialmente a que el suelo está expuesto a diferentes factores externos que influyen en sus características tanto en su relación de vacíos como en su grado de saturación de agua, siendo el contenido de humedad uno de los factores actuantes principales.

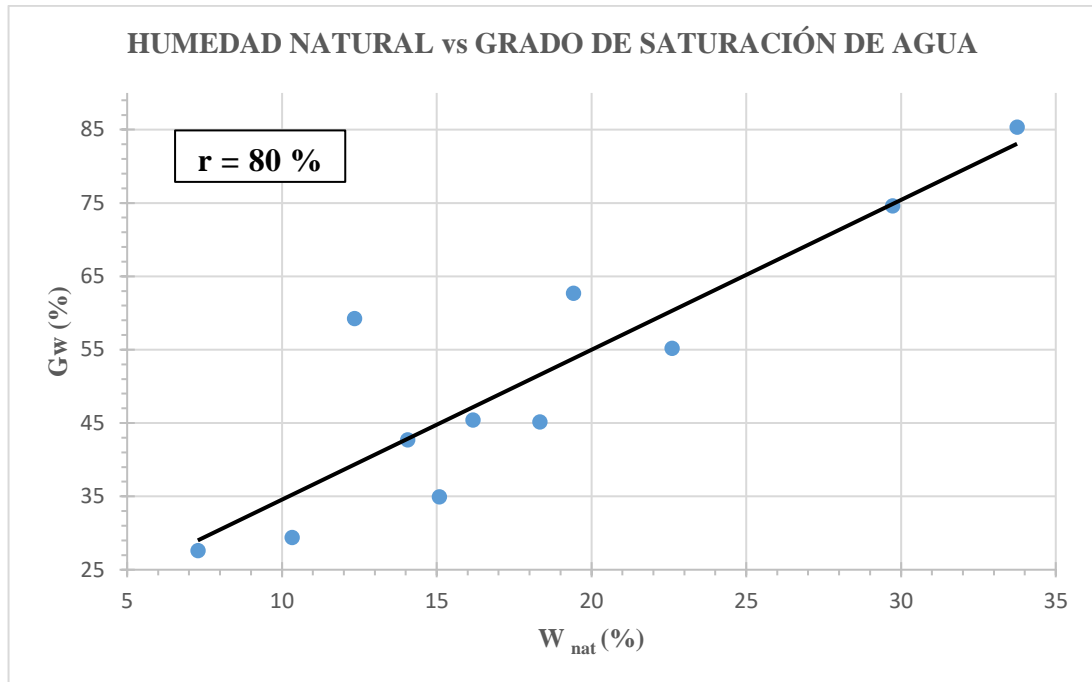


Figura 47. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación de Agua

Autor: Christian González

Ecuación

$$G_w = 2.043(W_{nat}) + 14.121$$

Coefficiente de Correlación

$r = 80 \%$

Modelo de correlación: Lineal

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia muy buena entre la Humedad Natural (W_{nat}) y el Grado de Saturación de Agua (G_w), ya que los porcentajes presentes en W_{nat} tienen un efecto directo con el G_w y crecen en forma proporcional. Se analiza que los porcentajes de W_{nat} conforme van creciendo el G_w también tiende a valores altos notándose una mayor saturación de agua en las muestras de suelo por lo que se da a entender que su porosidad es medianamente alta.

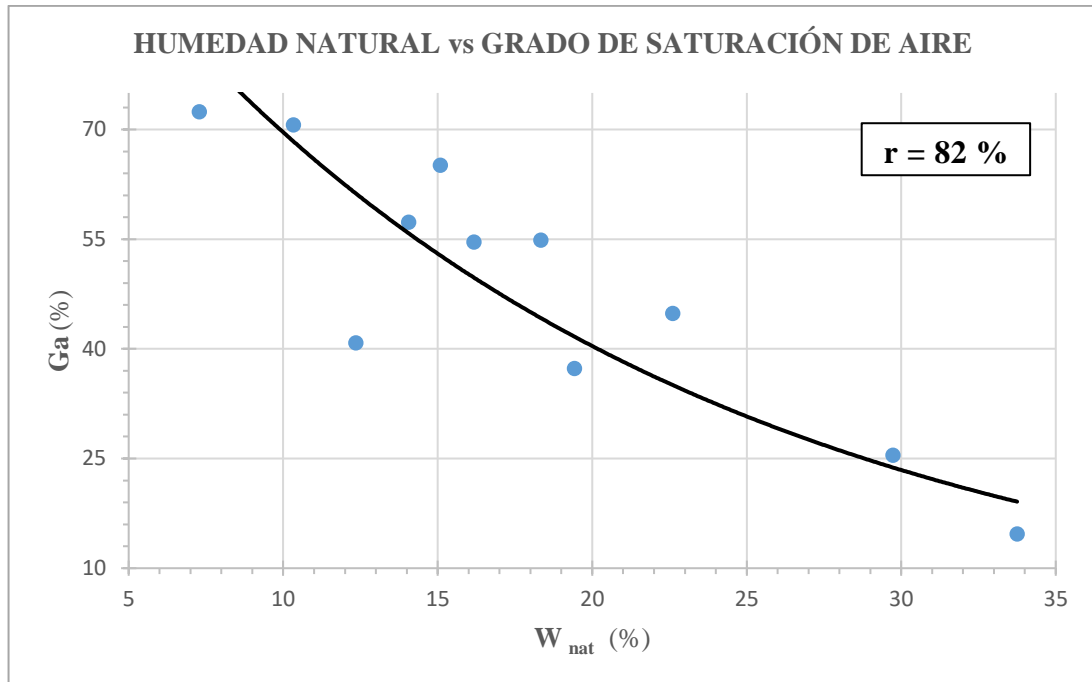


Figura 48. Correlación Humedad Natural vs Grado de Saturación de Aire

Autor: Christian González

Ecuación

Coefficiente de Correlación

$$Ga = \frac{119.99}{e^{0.054(W_{nat})}}$$

$r = 82 \%$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia muy buena entre la Humedad Natural (W_{nat}) y el Grado de Saturación de Aire (Ga), ya que los porcentajes presentes en W_{nat} tienen un efecto directo con el Ga. Se analiza que los porcentajes de W_{nat} conforme van creciendo el Ga disminuye, notándose que la muestra se va saturando de agua lo que represente una porosidad baja, así como la relación de vacíos de la misma.

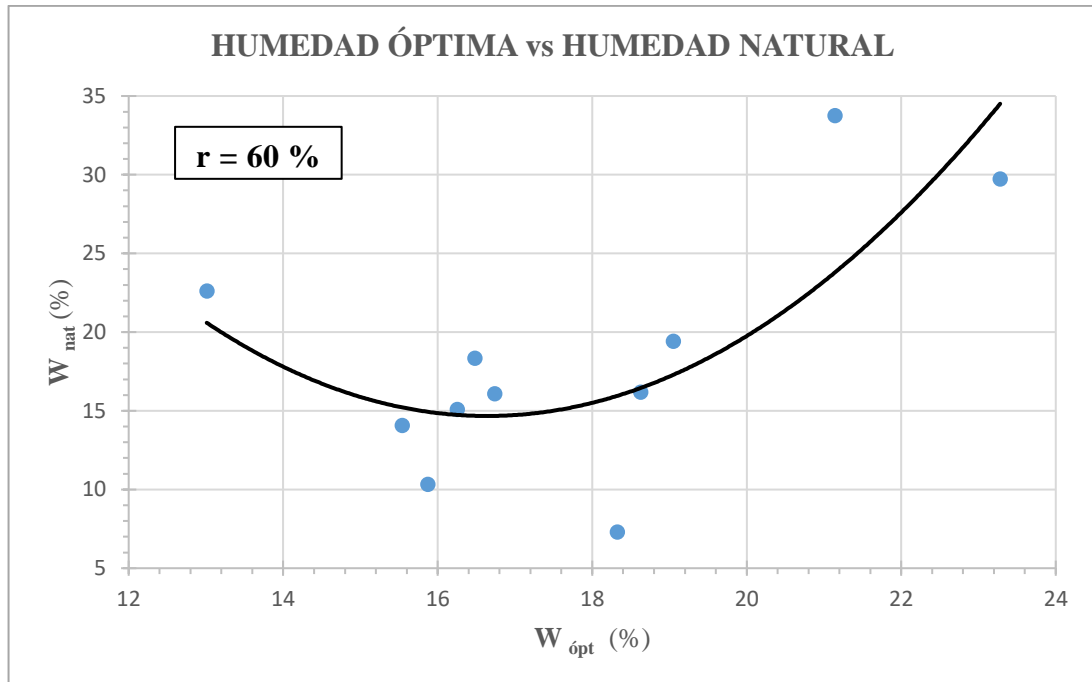


Figura 49. Correlación Humedad Óptima vs Humedad Natural

Autor: Christian González

Ecuación

$$W_{\text{ópt}} = 0.4497(W_{\text{nat}})^2 - 14.964(W_{\text{nat}}) + 139.16$$

Coefficiente de Correlación

$r = 60 \%$

Modelo de correlación: Polinomial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUCIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia aceptable entre la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$) y la Humedad Natural (W_{nat}), ya que los porcentajes presentes de $W_{\text{ópt}}$ tienden a diferir en una medida moderada con W_{nat} . Se analiza que los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ muestran el nivel de saturación de agua indicado para que la muestra de suelo a ser ensayada cumpla con su máxima resistencia seca, además se nota que W_{nat} se asemeja en algunos casos con la $W_{\text{ópt}}$ lo que indicaría que si su porcentaje es alto, el suelo tiende a tener muy poca relación de vacíos y porosidad, contrario a que si su porcentaje es bajo el suelo se mostraría seco y con partículas sueltas.

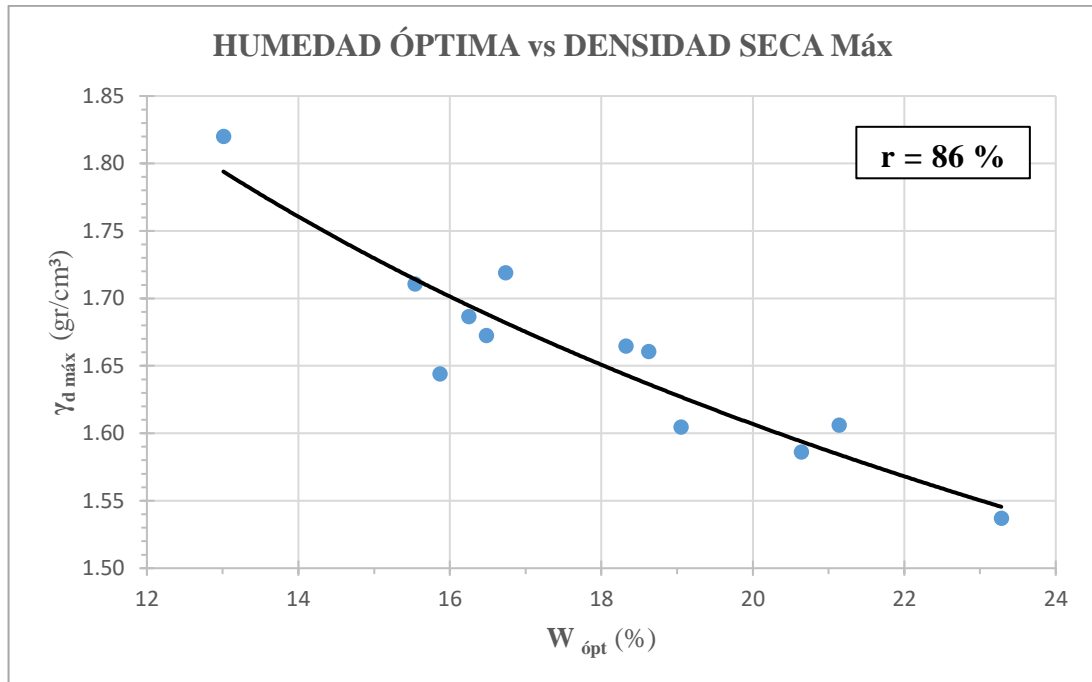


Figura 50. Correlación Humedad Óptima vs Densidad Seca Máxima

Autor: Christian González

Ecuación

$$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{3.4617}{W_{\text{ópt}}^{0.256}}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 86 \%$$

Modelo de correlación: Potencial

N° de muestras analizadas: 12 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia muy buena entre la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$) y la Densidad Seca Máxima ($\gamma_{d \text{ máx}}$), ya que si los porcentajes presentes de $W_{\text{ópt}}$ tienden a aumentar la $\gamma_{d \text{ máx}}$ será inversamente proporcional y presentará valores bajos. Para las condiciones de análisis es preferible tener una $W_{\text{ópt}}$ baja para que la $\gamma_{d \text{ máx}}$ sea mayor pudiendo tener características muy favorables en la muestra de suelo tales como un suelo muy resistente y poco inestable.

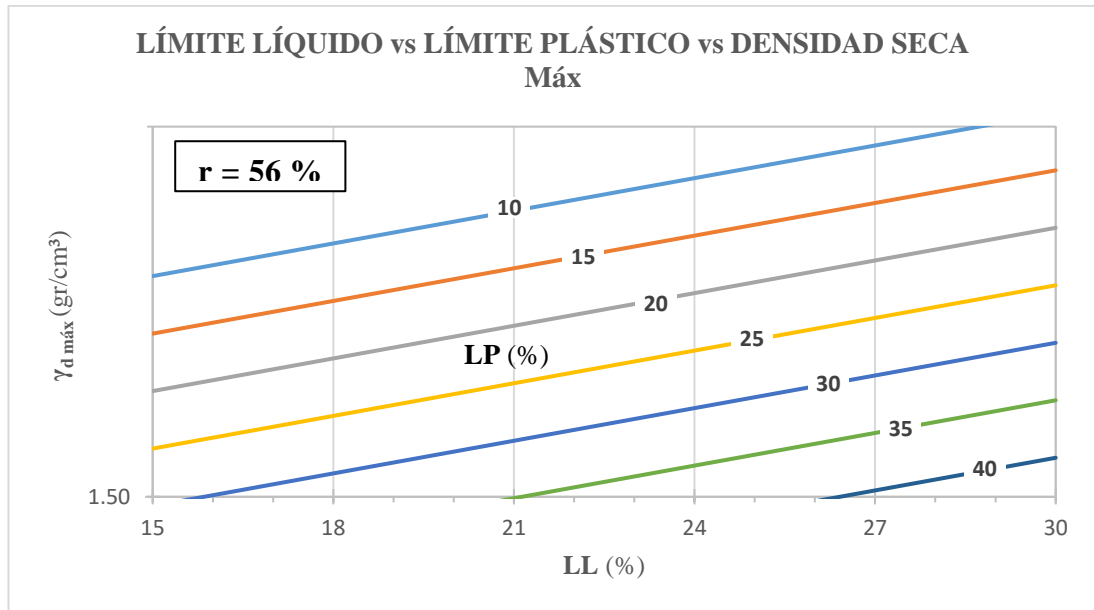


Figura 51. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico vs Densidad Seca Máxima

Autor: Christian González

Ecuación

$$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{1.65 * e^{0.01(LL)}}{e^{0.01(LP)}}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 56 \%$$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre la Densidad Seca Máxima ($\gamma_{d \text{ máx}}$) con el Límite Líquido (LL) indica que son proporcionales, ya que si el LL aumenta el resultado para $\gamma_{d \text{ máx}}$ disminuye, y existe una relación inversamente proporcional entre $\gamma_{d \text{ máx}}$ y el porcentaje del Límite Plástico (LP) por lo que para un alto porcentaje de LP menor va a ser su $\gamma_{d \text{ máx}}$. En una muestra de suelo donde existe menores porcentajes de LP y LL, va a tener de resultado un alto valor de $\gamma_{d \text{ máx}}$ reflejando una muestra de buena resistencia. En resumen, a menor porcentaje de LL, mayor va a ser la $\gamma_{d \text{ máx}}$ debido al poco grado saturación de agua que presentaría la muestra.

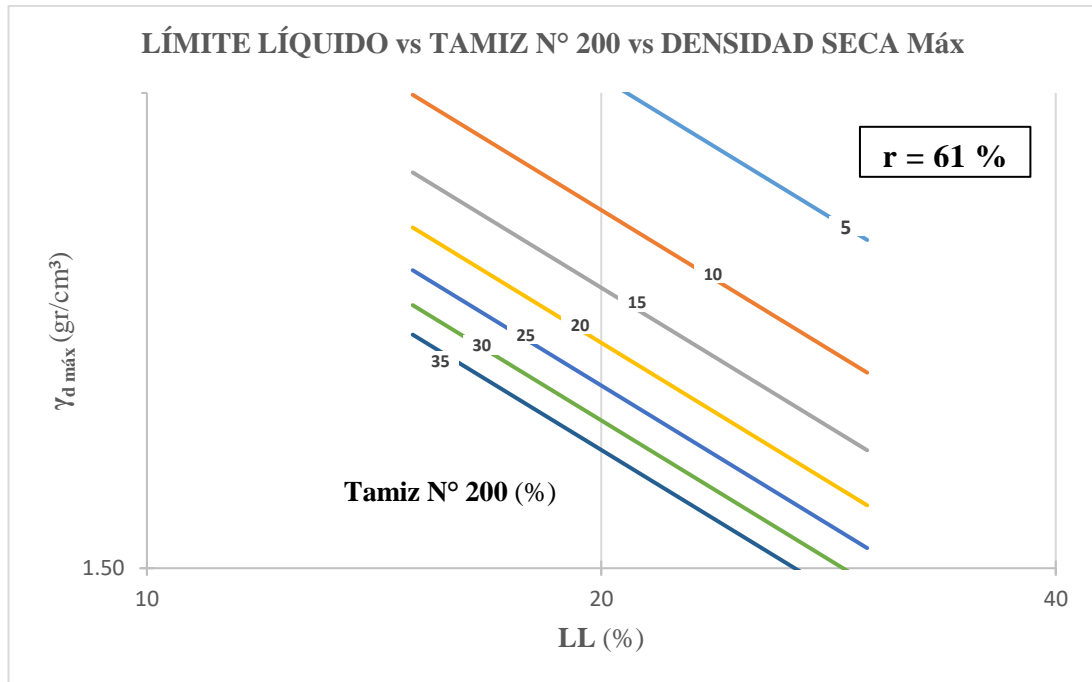


Figura 52. Correlación Límite Líquido vs Tamiz N°200 vs Densidad Seca Máxima

Autor: Christian González

Ecuación

$$\gamma_{d \text{ máx}} = \frac{5.03}{LL^{0.24} * N^{\circ} 200^{0.12}}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 61 \%$$

Modelo de correlación: Potencial

N° de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre la Densidad Seca Máxima ($\gamma_{d \text{ máx}}$) con el Límite Líquido (LL) indica que son inversamente proporcionales, ya que si el LL aumenta el resultado para la $\gamma_{d \text{ máx}}$ disminuye, además existe una relación inversamente proporcional entre la $\gamma_{d \text{ máx}}$ y el porcentaje de partículas que pasan el Tamiz N° 200 (N° 200) por lo que para un alto porcentaje de N° 200 menor va a ser la $\gamma_{d \text{ máx}}$. En una muestra donde existe menor cantidad de partículas de tamaño inferior a los 0.075 mm y poco grado de saturación de agua reflejado en el porcentaje de LL, se tendrá un alto valor de la $\gamma_{d \text{ máx}}$. En resumen, si existe mayor porcentaje de LL, menor va a ser la $\gamma_{d \text{ máx}}$ por ende será un poco resistente.

3.1.3.3. Correlaciones DN vs. Propiedades Índice

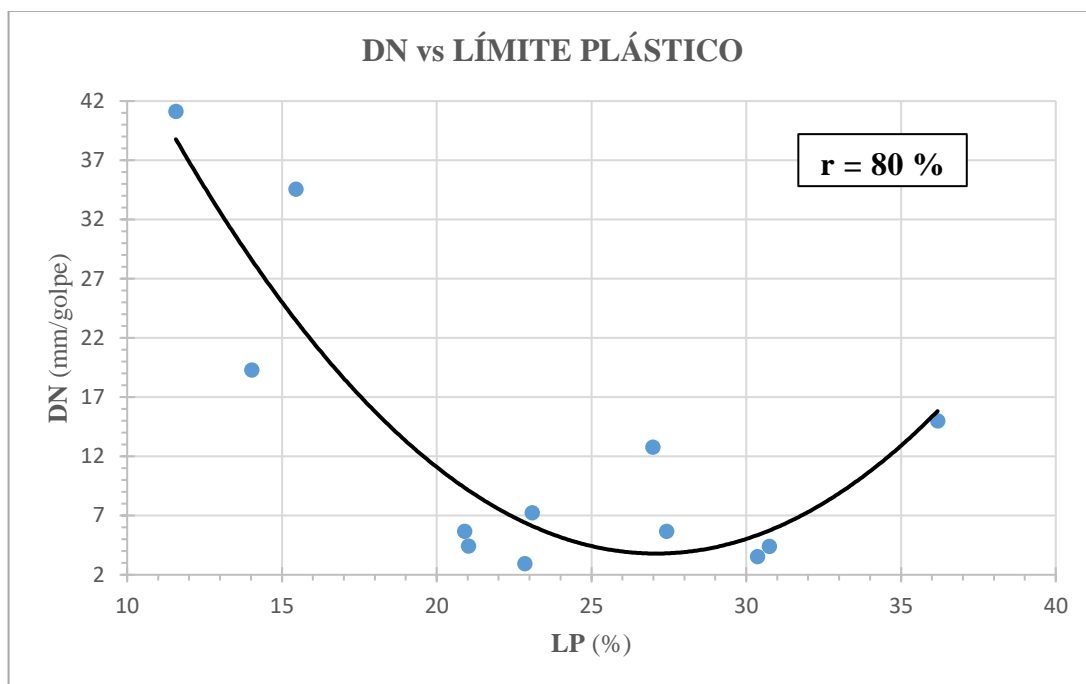


Figura 53. Correlación Índice de Penetración vs Límite Plástico

Autor: Christian González

Ecuación

$$DN = 0.1454(LP)^2 - 7.8741(W_{nat}) + 110.44$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 80 \%$$

Modelo de correlación: Potencial

N° de muestras analizadas: 12 muestras

DISCUCIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia buena en forma inversamente proporcional entre el Límite Plástico (LP) y el Índice de Penetración (DN), ya que si los porcentajes presentes del LP tienden a aumentar el DN va a disminuir. Para las condiciones de análisis es preferible tener un LP alto para que el DN sea menor pudiendo tener características muy favorables en la muestra de suelo tales como un suelo de alta resistencia y con poco grado de saturación de agua.

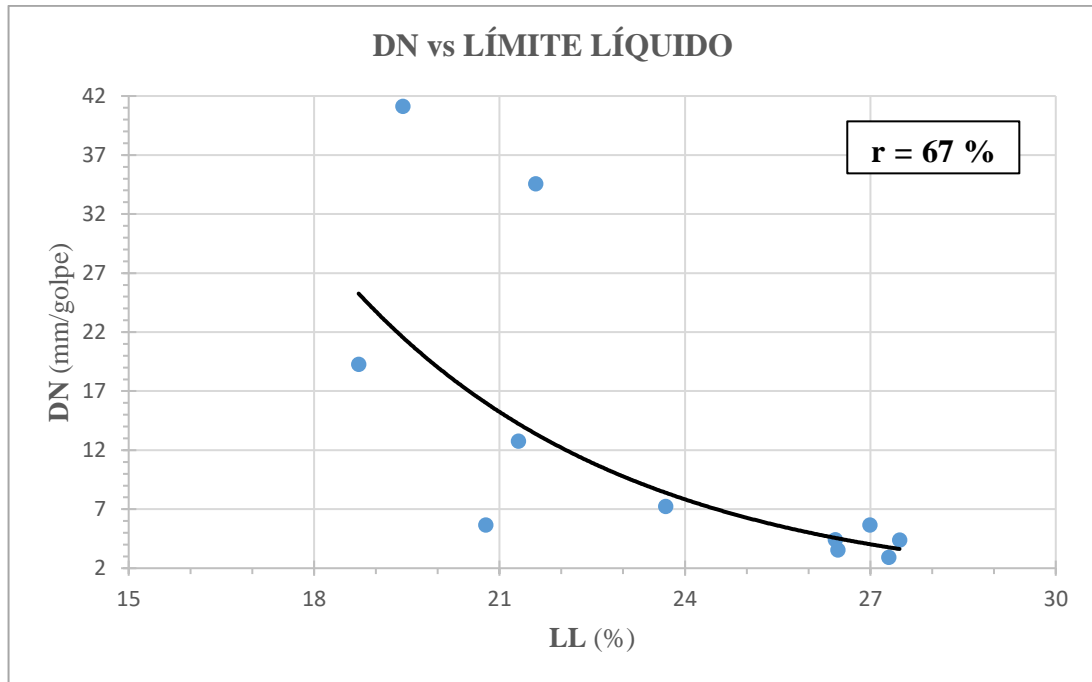


Figura 54. Correlación Índice de Penetración vs Límite Líquido

Autor: Christian González

Ecuación

$$DN = \frac{1605.7}{e^{0.222(LL)}}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 67 \%$$

Modelo de correlación: Exponencial

N° de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia buena de manera inversamente proporcional entre el Límite Líquido (LL) y el Índice de Penetración (DN), ya que si los porcentajes presentes del LL tienden a aumentar el DN va a tener valores más bajos en la mayoría de las muestras exceptuando el caso de una o dos que presentan diferencias mínimas. Para las condiciones de análisis es preferible tener un LL alto para que el DN sea menor pudiendo tener características muy favorables en la muestra de suelo tales como un suelo muy resistente y poco inestable, pero siempre procurando que esta muestra no llegue a tener un alto grado de saturación de agua o que exceda el porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ ya que perdería sus características de análisis.

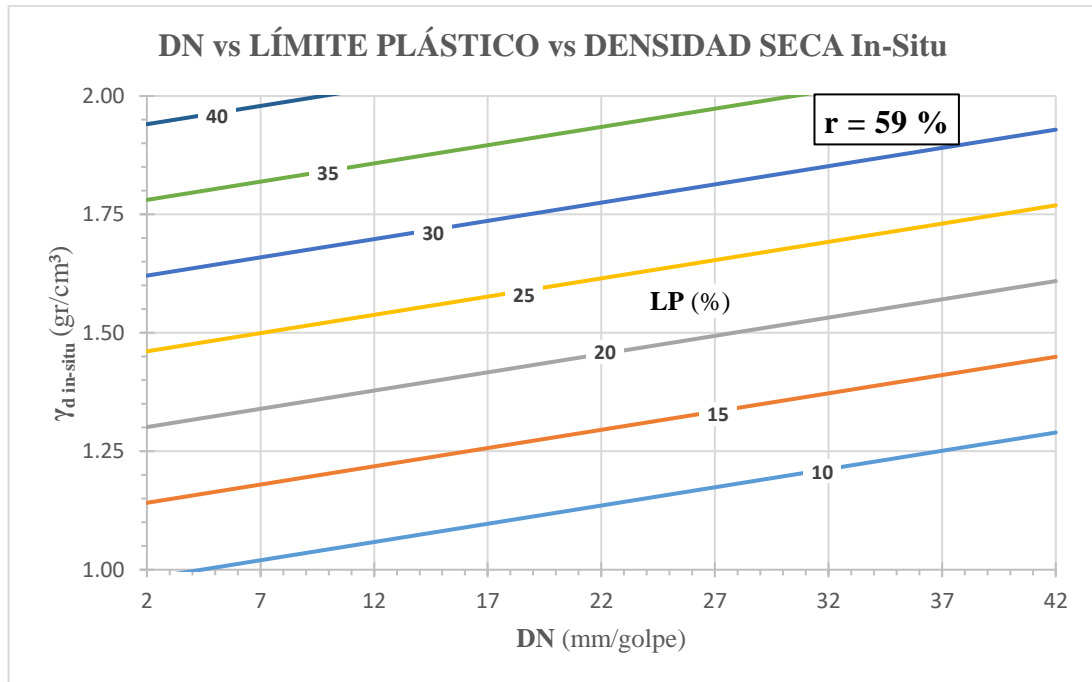


Figura 55. Correlación Índice de Penetración vs Límite Plástico vs Densidad Seca In-Situ

Autor: Christian González

Ecuación

$$\gamma_{d \text{ in-situ}} = 0.65 + 0.008(\text{DN}) + 0.03(\text{LP})$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 59 \%$$

Modelo de correlación: Lineal

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_{d \text{ in-situ}}$) con el Índice de Penetración (DN) indica que son proporcionales, ya que si el DN aumenta el resultado para la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ también aumentará, además existe también una relación proporcional entre la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ y el porcentaje de Límite Plástico (LP), por lo que para un alto porcentaje de LP mayor va a ser la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$. En una muestra donde se tiene gran cantidad de humedad presente en el porcentaje de LP, pero pocos mm de penetración por golpe del DN, el resultado va a tener cierta tendencia de crecimiento con valores superiores para la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$. En resumen, si menor son los mm de penetración del DN, mayor va a ser la $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ procurando que esta no exceda el $\gamma_{d \text{ máx}}$ ni la $W_{\text{ópt}}$.

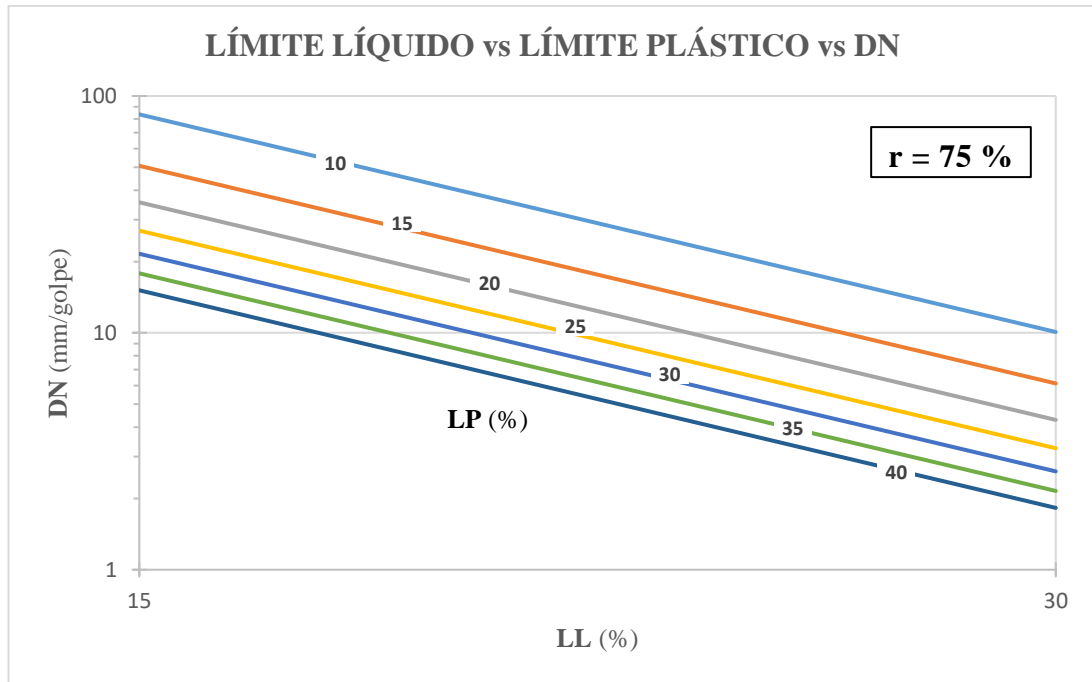


Figura 56. Correlación Límite Líquido vs Límite Plástico vs Índice de Penetración

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$DN = \frac{5563638}{LL^{3.05} * LP^{1.23}}$	$r = 75 \%$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUCIÓN

Un análisis de la correlación entre el Índice de Penetración (DN) con el Límite Líquido (LL) indica que son inversamente proporcionales, ya que si el porcentaje de LL aumenta el resultado para el DN disminuye considerablemente, y existe una relación inversamente proporcional entre el DN y el porcentaje de Límite Plástico (LP), entonces para un alto porcentaje de LP menor va a ser su DN. En una muestra con bajos los porcentajes de LP y LL, se tiene de resultado un alto valor de DN lo que indicaría que el suelo es poco resistente y con una gran relación de vacíos. En resumen, si mayor es el porcentaje de LL, menor va a ser su DN mostrando un alto grado de porosidad de la muestra.

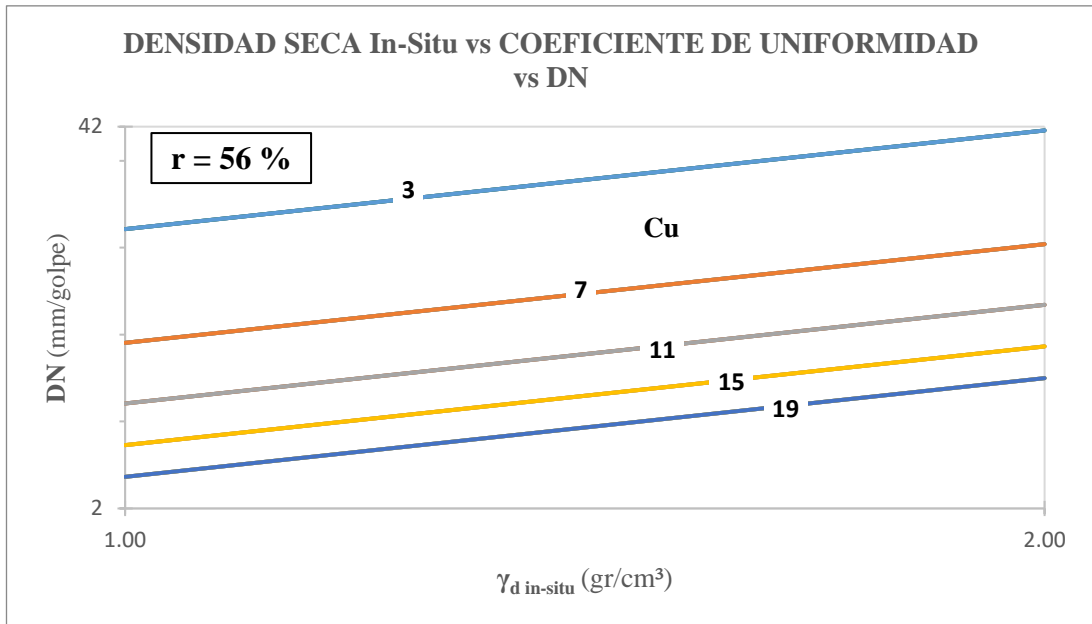


Figura 57. Densidad Seca In-Situ vs Coeficiente de Uniformidad vs Índice de Penetración

Autor: Christian González

Ecuación	Coeficiente de Correlación
$DN = \frac{60.10 * \gamma_{d \text{ in situ}}^{1.14}}{Cu^{1.07}}$	$r = 56\%$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 12 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el Índice de Penetración (DN) con la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_{d \text{ in-situ}}$) indica que son proporcionales, ya que si el valor de $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ aumenta el resultado para el DN también crece, y existe una relación inversamente proporcional entre el DN y el Coeficiente de Uniformidad (Cu), entonces para un alto valor de Cu menor va a ser su DN. En una muestra con valores altos de $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ y un Cu bajo, se tiene de resultado un alto valor de DN lo que indicaría que el suelo es poco resistente y con una gran relación de vacíos. Para condiciones favorables, es recomendable tener valores altos de $\gamma_{d \text{ in-situ}}$ y Cu , así el DN será bajo lo que significa que la muestra es altamente resistente y se encuentra bien graduada.

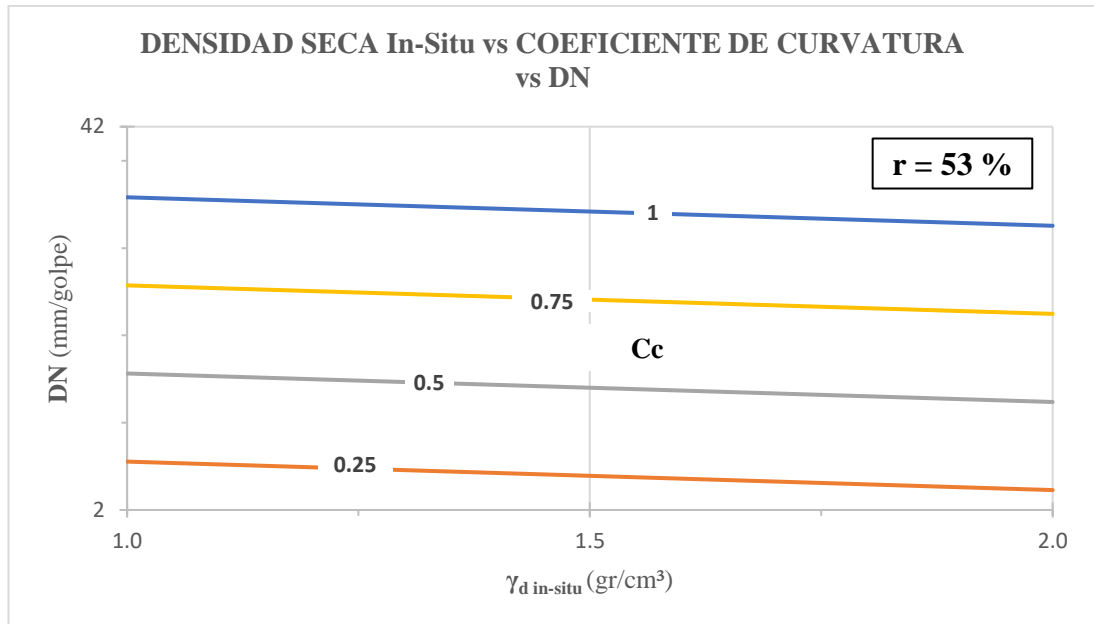


Figura 58. Correlación Densidad Seca In-Situ vs Coeficiente de Curvatura vs Índice de Penetración

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$DN = \frac{1.83 * e^{2.80(Cc)}}{e^{0.23(\gamma_d \text{ in situ})}}$	$r = 53 \%$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 12 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el Índice de Penetración (DN) con la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_d \text{ in-situ}$) indica que son inversamente proporcional, ya que si el valor de $\gamma_d \text{ in-situ}$ aumenta el resultado para el DN disminuye, y existe una relación proporcional entre el DN y el Coeficiente de Curvatura (C_c), entonces para un alto valor de C_c mayor va a ser su DN. En una muestra con valores altos de $\gamma_d \text{ in-situ}$ pero C_c bajos, se tiene de resultado un pequeño valor de DN lo que indicaría que el suelo es resistente y bien graduados. Para condiciones favorables, es recomendable tener valores altos de $\gamma_d \text{ in-situ}$ y bajos de C_c , así el DN será bajo y se podría deducir que el suelo obtendrá un alto valor de CBR.

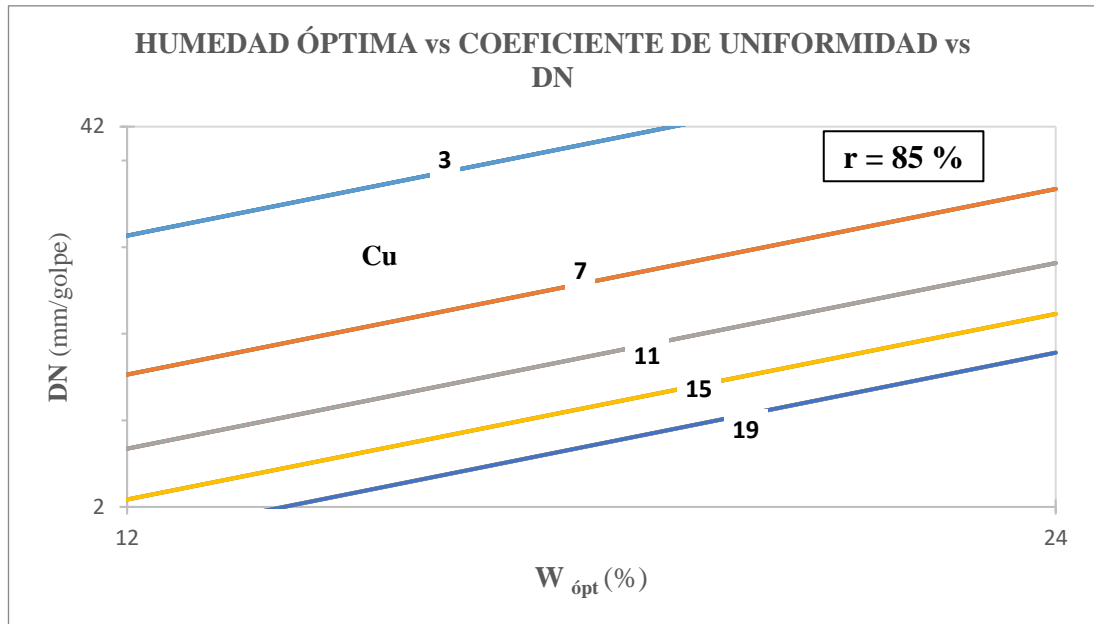


Figura 59. Correlación Humedad Óptima vs Coeficiente de Uniformidad vs Índice de Penetración

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$DN = \frac{0.36 * W_{\text{ópt}}^{2.14}}{Cu^{1.31}}$	$r = 85 \%$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Una relación de la correlación entre el Índice de Penetración (DN) con la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$) indica que son proporcionales, ya que si el porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ aumenta el resultado para el DN también crece, y existe una relación inversamente proporcional entre el DN y el Coeficiente de Uniformidad (Cu), entonces para un alto valor de Cu menor va a ser su DN. En una muestra con porcentajes altos de $W_{\text{ópt}}$ y un valor bajo de Cu , se tiene de resultado un alto valor de DN lo que indicaría que el suelo es poco resistente y con una gran relación de vacíos. Para condiciones favorables, es recomendable tener porcentajes bajos de $W_{\text{ópt}}$ y altos valores de Cu , así el DN será bajo lo que significa que la muestra es altamente resistente y se encuentra bien graduada, además de no verse sobresaturada.

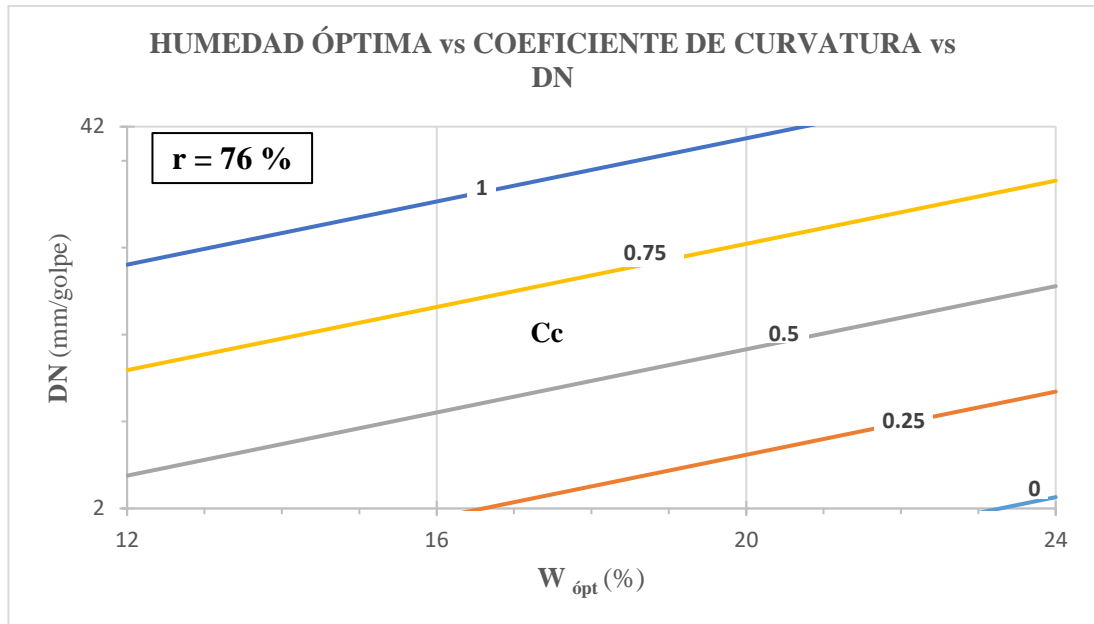


Figura 60. Correlación Humedad Óptima vs Coeficiente de Curvatura vs Índice de Penetración

Autor: Christian González

Ecuación

$$DN = 0.11 * e^{0.13(W_{\text{ópt}})} * e^{3.36(Cc)}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 76 \%$$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUCIÓN

Un análisis de la correlación entre el Índice de Penetración (DN) con la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$) indica que son proporcionales, ya que si el porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ aumenta el resultado para el DN también aumenta, además existe una relación proporcional entre el DN y el Coeficiente de Curvatura (Cc), entonces para un alto valor de Cc mayor va a ser su DN. En una muestra con altos bajos de $W_{\text{ópt}}$ y valores bajos de Cc , se tiene de resultado un pequeño valor de DN lo que indicaría que el suelo es resistente y bien graduado. Para condiciones favorables, es recomendable tener porcentajes bajos de $W_{\text{ópt}}$ y valores bajos de Cc , así el DN será aún más bajo y se podría deducir que el suelo obtendrá un alto valor de CBR.

3.1.3.4. Correlaciones CBR vs. Propiedades Índice

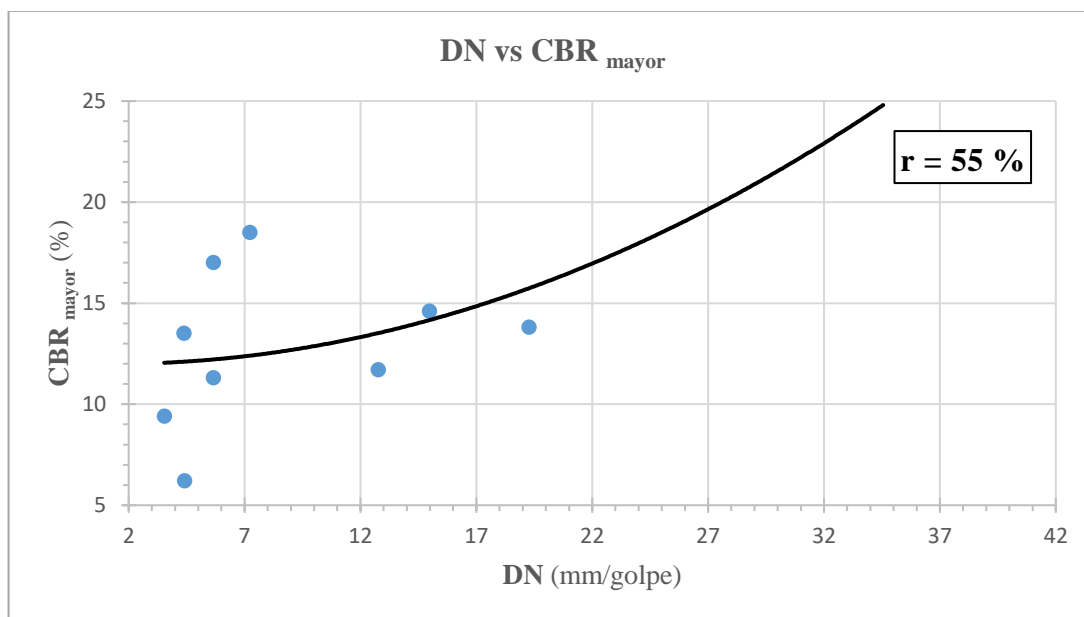


Figura 61. Correlación Índice de Penetración vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$\text{CBR}_{\text{mayor}} = 0.0116(\text{DN})^2 - 0.0299(\text{DN}) + 12.013$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 55 \%$$

Modelo de correlación: Polinomial

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación refleja una concordancia regular de manera diferenciada entre el Índice de Penetración (DN) y la Relación de Soporte de California Mayor (CBR_{mayor}), ya que si los porcentajes presentes del DN tienden a aumentar el CBR_{mayor} en algunas muestras presenta valores bajos, pero no es una constante por causa de que el suelo presenta diferentes tipos de estratos con un marcado grado de saturación de agua y de aire. Para las condiciones de análisis es preferible tener un DN bajo para que el CBR sea mayor pudiendo tener características muy favorables en la muestra de suelo como una gran resistencia y poca inestabilidad. Cabe destacar que la ecuación planteada se refleja de mejor manera las condiciones reales de las muestras de suelos granulares estudiados que la presentada en la ASTM D6951/D6951M – 09, ya que su variación al momento del cálculo es un mucho menor.

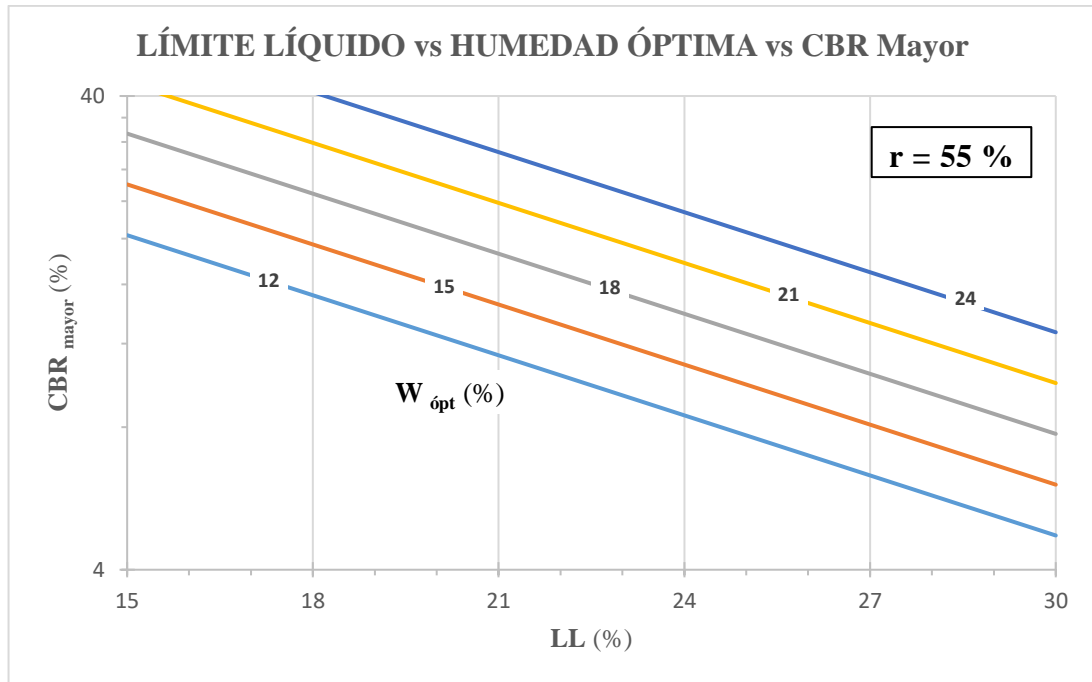


Figura 62. Correlación Límite Líquido vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$\text{CBR}_{\text{mayor}} = \frac{32.60 * e^{0.08(W_{\text{ópt}})}}{e^{0.10(LL)}}$	$r = 55 \%$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Límite Líquido (LL) indica que son inversamente proporcionales, ya que si el porcentaje de LL aumenta el resultado para el CBR_{mayor} se reduce, además existe una relación proporcional entre el CBR_{mayor} y el porcentaje de Humedad Óptima (W_{ópt}), entonces para un alto porcentaje de W_{ópt} también aumentará el valor de CBR_{mayor}. En una muestra donde son bajos los porcentajes de W_{ópt} y LL, se tiene de resultado un valor creciente de CBR_{mayor} aunque aún bajo. En resumen, si menor es el porcentaje de LL, pero mayor es el porcentaje de la W_{ópt}, será mayor el CBR y por ende tendrá una gran resistencia.

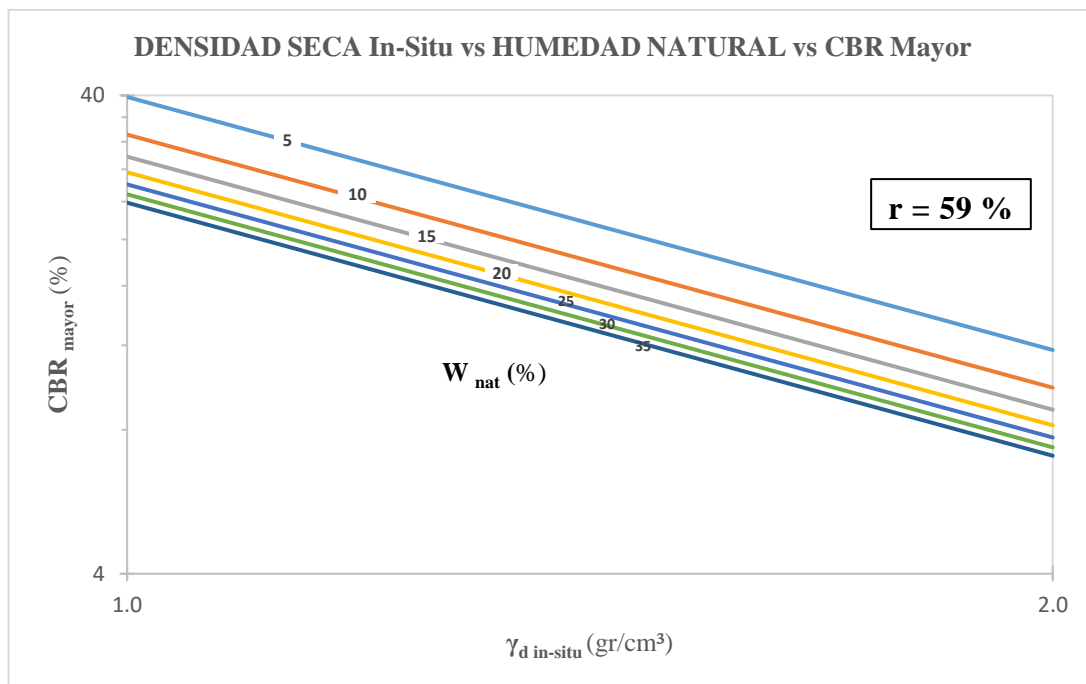


Figura 63. Correlación Densidad Seca In-Situ vs Humedad Natural vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$\text{CBR}_{\text{mayor}} = \frac{60.48}{\gamma_{\text{d in situ}}^{1.76} * W_{\text{nat}}^{0.26}}$	$r = 59 \%$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor ($\text{CBR}_{\text{mayor}}$) con la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_{\text{d in-situ}}$) indica que son inversamente proporcionales, ya que si la $\gamma_{\text{d in-situ}}$ aumenta el resultado para el $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ se reduce, y existe una relación inversamente proporcional entre el $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ y el porcentaje de Humedad Natural (W_{nat}), por lo que para un alto porcentaje de W_{nat} el valor de $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ será bajo. En una muestra con un bajo porcentaje de W_{nat} y un bajo valor de la $\gamma_{\text{d in-situ}}$, se podrá nota un valor alto de CBR. Cabe destacar que se podrá tener un valor medianamente alto de CBR si la W_{nat} es menor pero la $\gamma_{\text{d in-situ}}$ es mayor, lo que significaría una gran resistencia del suelo.

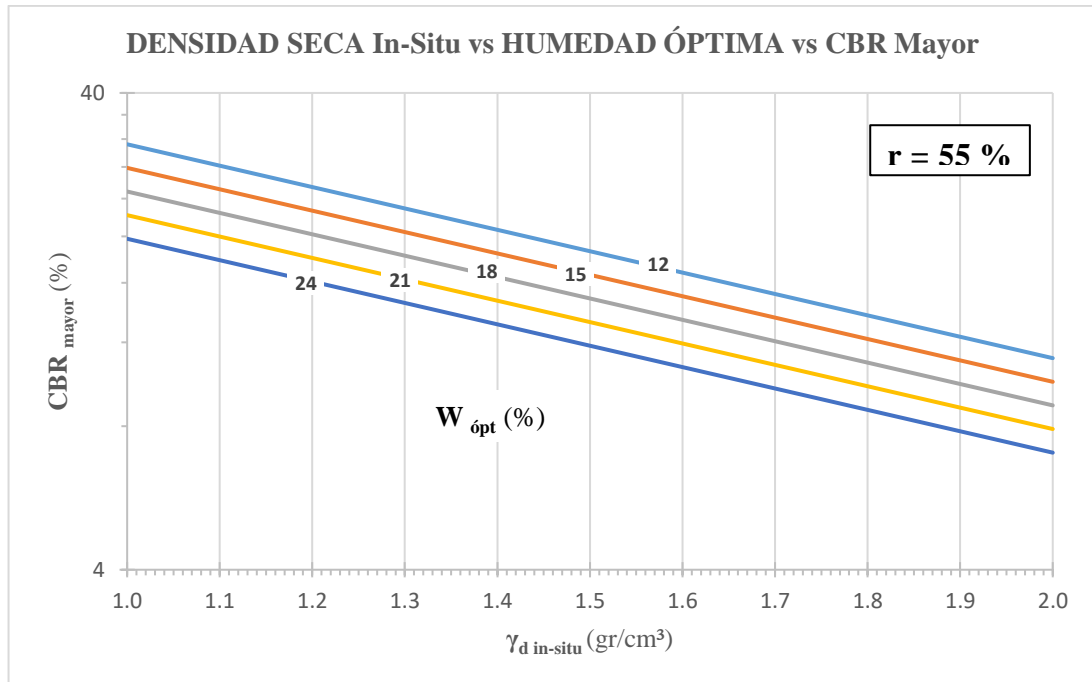


Figura 64. Correlación Densidad Seca In-Situ vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$\text{CBR}_{\text{mayor}} = \frac{138.40}{e^{1.03(\gamma_d \text{ in situ})} * e^{0.04(W_{\text{ópt}})}}$	$r = 55 \%$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor ($\text{CBR}_{\text{mayor}}$) con la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_d \text{ in-situ}$) indica que son inversamente proporcionales, ya que si la $\gamma_d \text{ in-situ}$ aumenta el resultado para el $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ se reduce, y también existe una relación inversamente proporcional entre el $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ y el porcentaje de la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un alto porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ el valor de $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ será bajo. En una muestra con bajo porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ y baja $\gamma_d \text{ in-situ}$, se tendrá un valor alto de CBR. Cabe destacar que se podrá tener un valor medianamente alto de $\text{CBR}_{\text{mayor}}$ si la $W_{\text{ópt}}$ es menor pero la $\gamma_d \text{ in-situ}$ es mayor, lo que reflejaría que el suelo tiene poco grado de saturación de agua y gran resistencia.

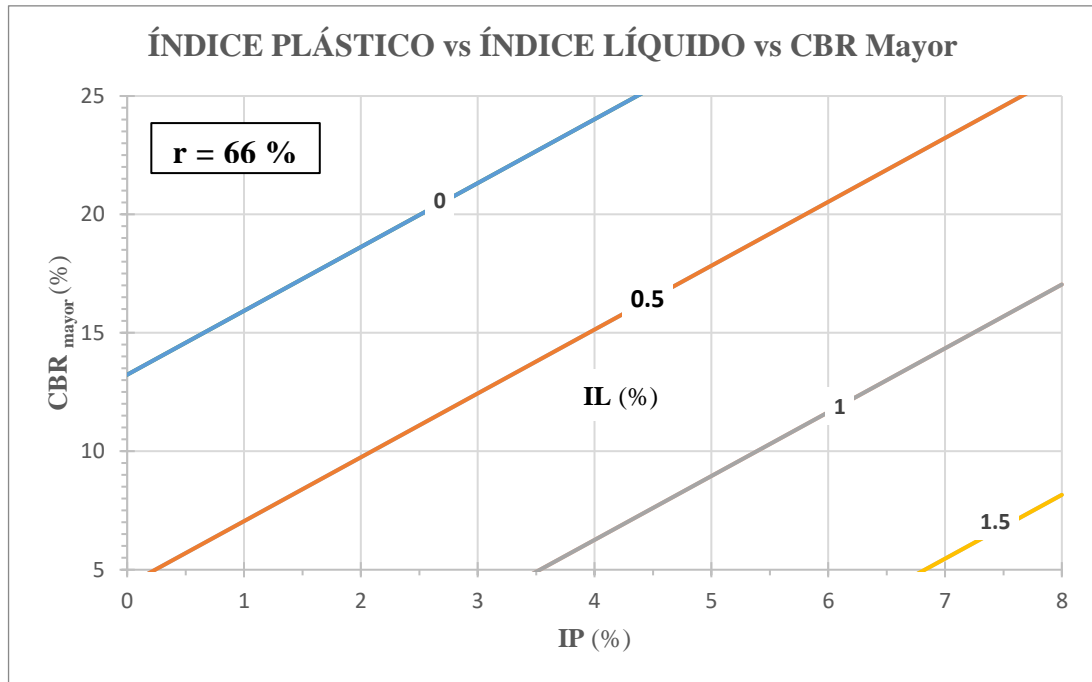


Figura 65. Correlación Índice Plástico vs Índice Líquido vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$CBR_{\text{mayor}} = 13.23 + 2.70(IP) - 17.76(IL)$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 66 \%$$

Modelo de correlación: Lineal

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Índice Plástico (IP) indica que son proporcionales, ya que si el IP aumenta el resultado para el CBR mayor también aumenta, y existe una relación inversamente proporcional entre el CBR mayor y el porcentaje del Índice Líquido (IL), entonces para un alto porcentaje de IL se tendrá un bajo valor de CBR mayor. En una muestra con bajo porcentaje del IL pero alto porcentaje de IP, se obtiene un valor alto de CBR. Se puede notar que el IP crece, el CBR también, ya que mostraría que la muestra tiene buena plasticidad no permitiéndole que se pueda agrietar o desmoronar y se podría complementar aún más esto si el IL es cero, lo que significaría que el suelo se encuentra en un estado semi-plástico o sólido. En resumen, si menor es el porcentaje de IL, pero mayor el IP, será mayor el CBR.

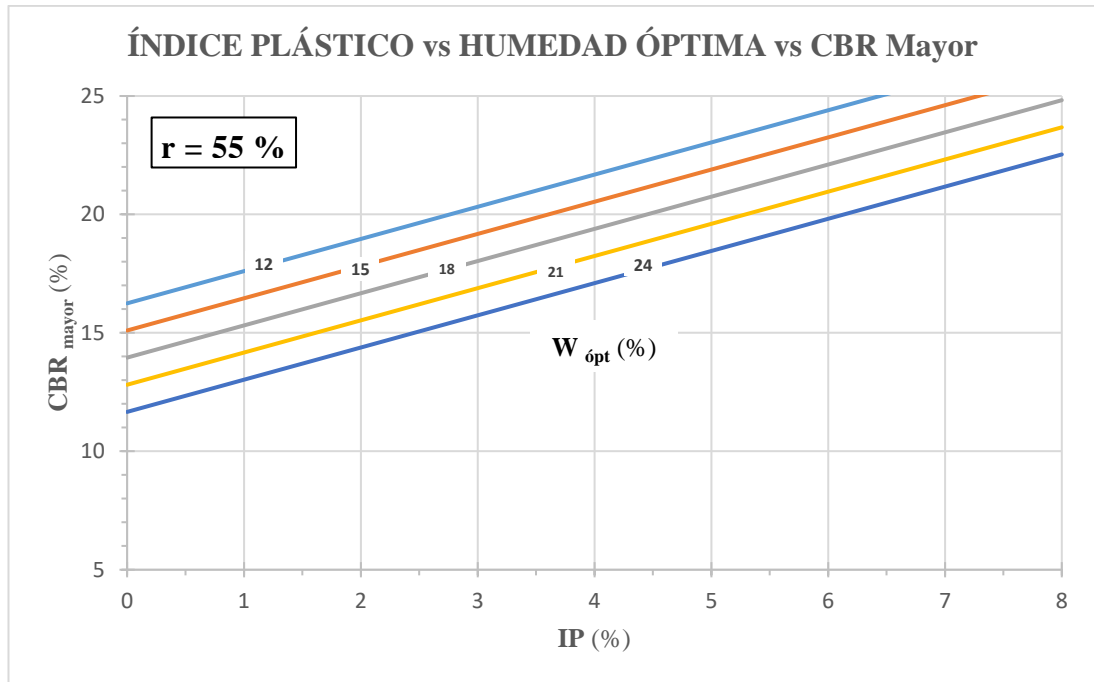


Figura 66. Correlación Índice Plástico vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$CBR_{\text{mayor}} = 20.83 + 1.36(IP) - 0.38(W_{\text{ópt}})$$

Coefficiente de Correlación

$r = 55 \%$

Modelo de correlación: Lineal

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Índice Plástico (IP) indica que son proporcionales, ya que si el IP aumenta el resultado para el CBR mayor también va a aumentar, y existe una relación inversamente proporcional entre el CBR mayor y el porcentaje de la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un alto porcentaje de la $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un bajo valor de CBR_{mayor} . Se analiza que para obtener valores altos de CBR que muestren un suelo resistente y poco inestable, es necesario tener valores altos del IP, pero de igual manera valores bajos para la $W_{\text{ópt}}$. En resumen, si mayor es el porcentaje de LL pero menor la $W_{\text{ópt}}$, el CBR será alto.

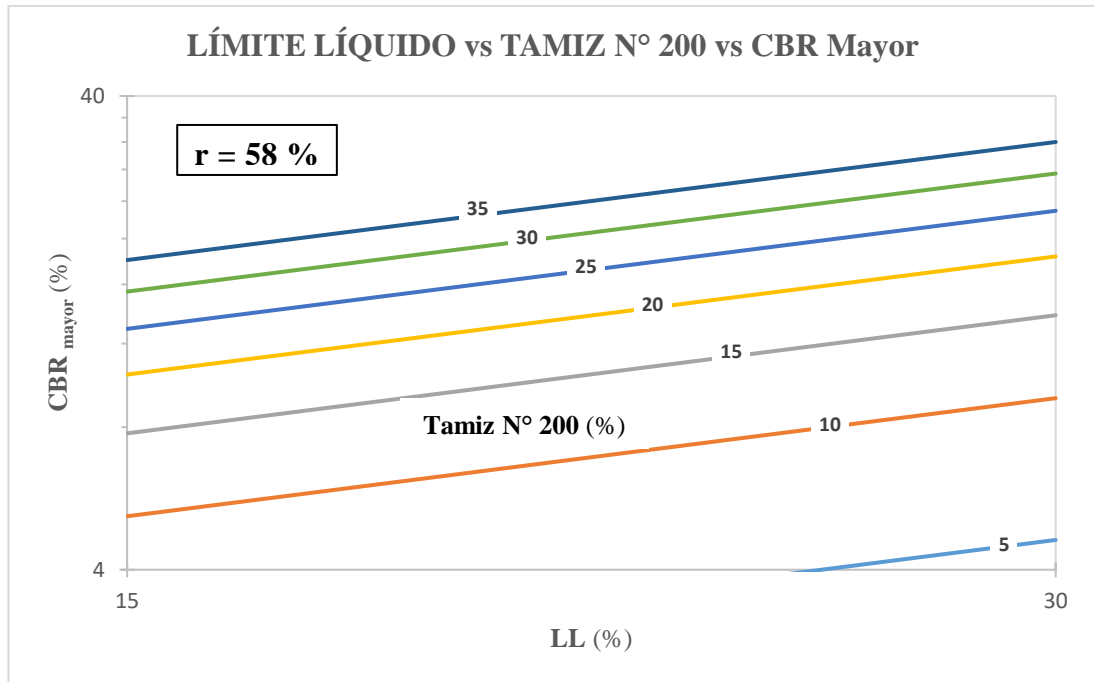


Figura 67. Correlación Límite Líquido vs Tamiz N°200 vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$CBR_{\text{mayor}} = 0.06 * LL^{0.83} * N^{\circ} 200^{0.99}$$

Coefficiente de Correlación

$r = 58 \%$

Modelo de correlación: Potencial

N° de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Límite Líquido (LL) indica que son proporcionales, ya que si el LL aumenta el resultado para el CBR_{mayor} también va a aumentar, además también existe una relación proporcional entre el CBR_{mayor} y el porcentaje de partículas que pasan el Tamiz N° 200 ($N^{\circ} 200$), entonces para un alto porcentaje del $N^{\circ} 200$ se tendrá un alto valor de CBR_{mayor} . En una muestra con altos porcentajes del LL y de partículas que pasen el Tamiz N° 200, mayor va a ser su CBR aunque no deberá existir mucha presencia de suelo fino ya que lo óptimo es tener un mayor porcentaje de gravas que conseguir excelentes características de cimentación y drenaje.

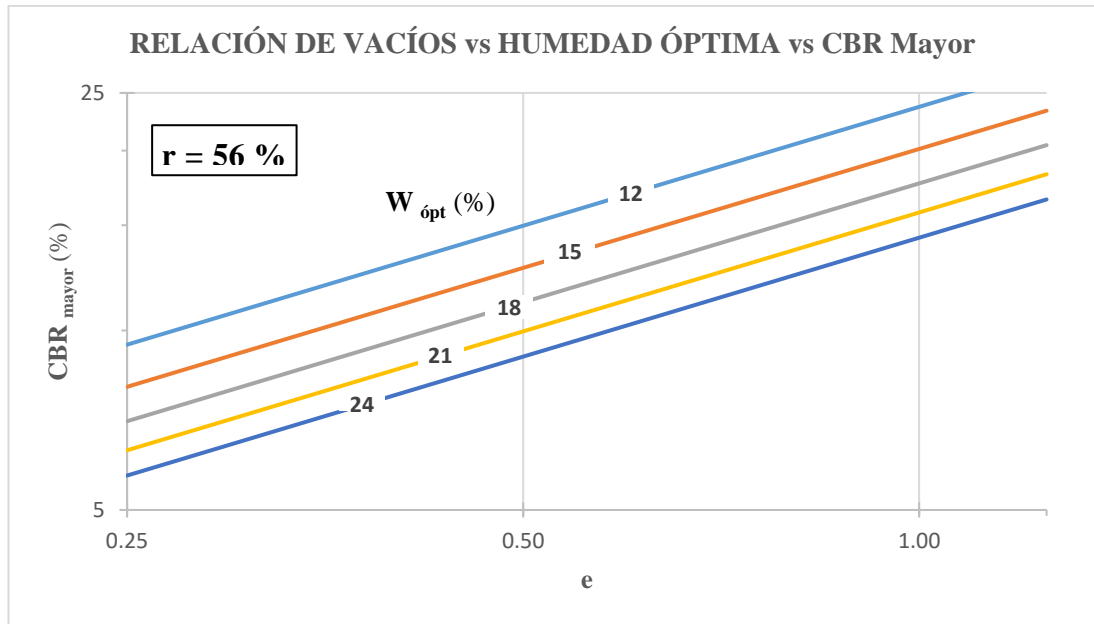


Figura 68. Correlación Relación de Vacíos vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$CBR_{\text{mayor}} = \frac{144.87 * e^{0.66}}{W_{\text{ópt}}^{0.73}}$	$r = 56\%$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con la Relación de Vacíos (e) indica que son proporcionales, ya que si e aumenta el resultado para el CBR también va a aumentar, y existe una relación inversamente proporcional entre el CBR_{mayor} y la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un alto porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un bajo valor de CBR. En una muestra donde el porcentaje del $W_{\text{ópt}}$ es menor pero la e está en aumento, el resultado va a ser un valor mayor para el CBR lo que significaría tener un suelo semi-plástico o sólido que tendrá una buena resistencia y poca inestabilidad. En resumen, si mayor es el valor de la e mayor va a ser su CBR, pero la $W_{\text{ópt}}$ debe tender a la baja, es decir, la muestra debe estar poco saturada de agua.

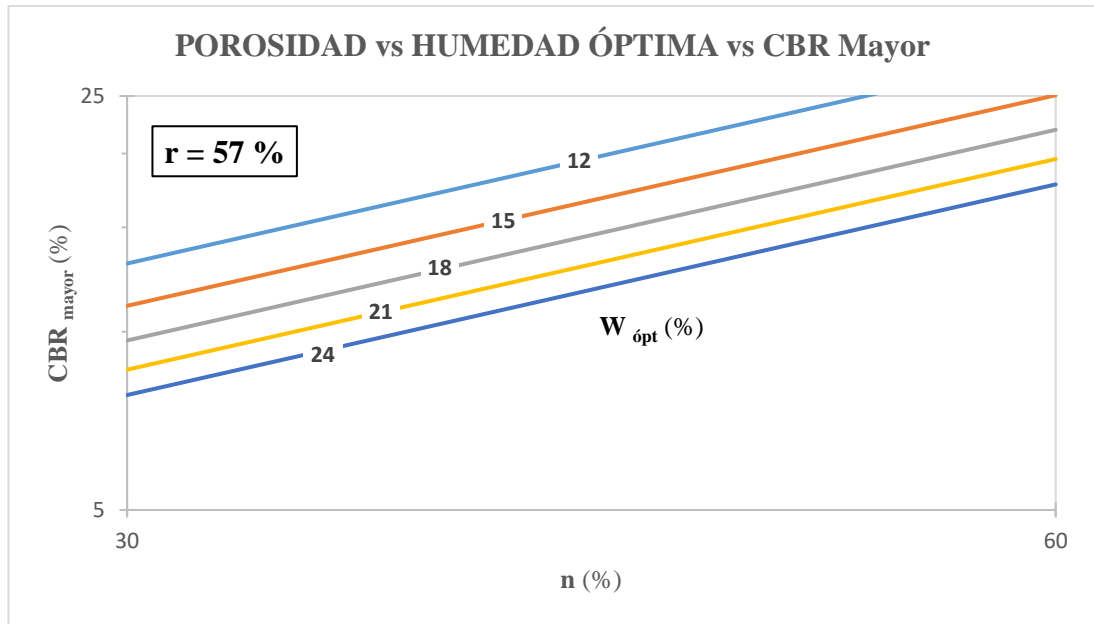


Figura 69. Correlación Porosidad vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$CBR_{\text{mayor}} = \frac{1.47 * n^{1.18}}{W_{\text{ópt}}^{0.74}}$$

Coefficiente de Correlación

$r = 57 \%$

Modelo de correlación: Potencial

N° de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con la Porosidad (n) indica que son proporcionales, ya que si la n aumenta el resultado para el CBR también va a aumentar, y existe una relación inversamente proporcional entre el CBR_{mayor} y la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un alto porcentaje de $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un bajo valor de CBR. En una muestra donde el porcentaje del $W_{\text{ópt}}$ es menor pero la n está en aumento, el resultado va a ser un valor mayor para el CBR lo que significaría tener un suelo semi-plástico o sólido que tendrá una buena resistencia y poca inestabilidad. En resumen, si mayor es el valor de la n mayor va a ser su CBR, pero la $W_{\text{ópt}}$ debe tender a la baja, es decir, la muestra debe estar poco saturada de agua.

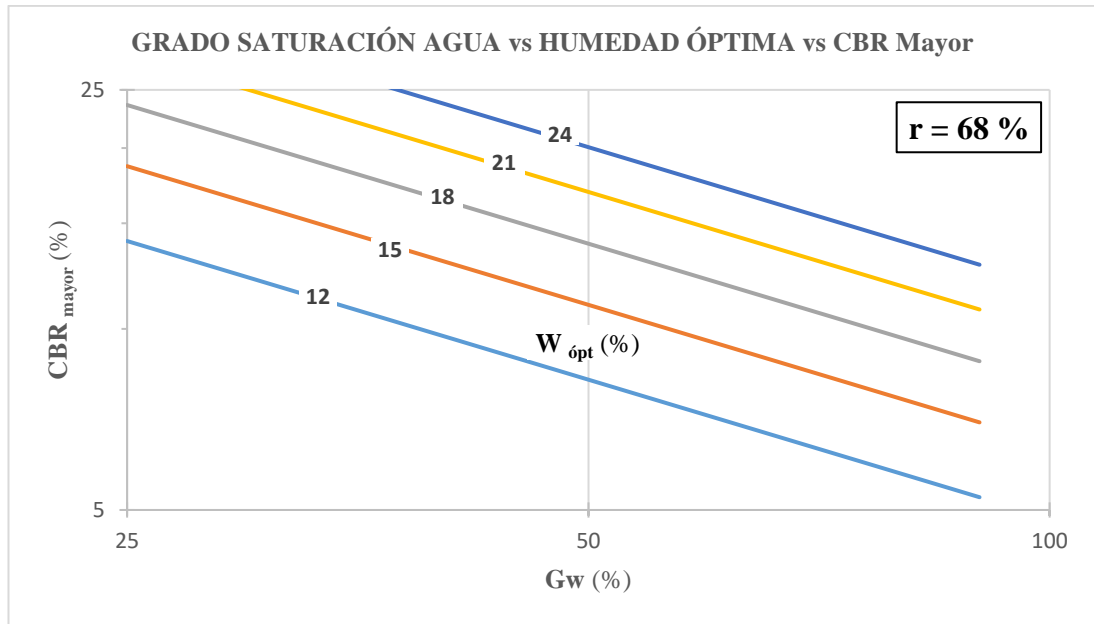


Figura 70. Correlación Grado de Saturación de Agua vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$CBR_{\text{mayor}} = \frac{6.77 * W_{\text{ópt}}^{1.29}}{Gw^{0.77}}$$

Coefficiente de Correlación

$$r = 68 \%$$

Modelo de correlación: Potencial

N° de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Grado de Saturación de Agua (Gw) indica que son inversamente proporcionales, ya que si Gw aumenta el resultado para el CBR disminuye, y existe una relación proporcional entre el CBR_{mayor} y la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un porcentaje moderado de $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un valor aceptable de CBR. En una muestra donde el porcentaje del $W_{\text{ópt}}$ es alto, pero Gw es bajo, el resultado va a ser un valor mayor para el CBR lo que significaría tener un suelo semi-plástico o sólido que tendrá una buena resistencia y poca inestabilidad. En resumen, si los valores de Gw y $W_{\text{ópt}}$ son uniformes o parecidos entre sí, mayor va a ser su CBR ya que la muestra estaría estar poco o con moderada saturación.

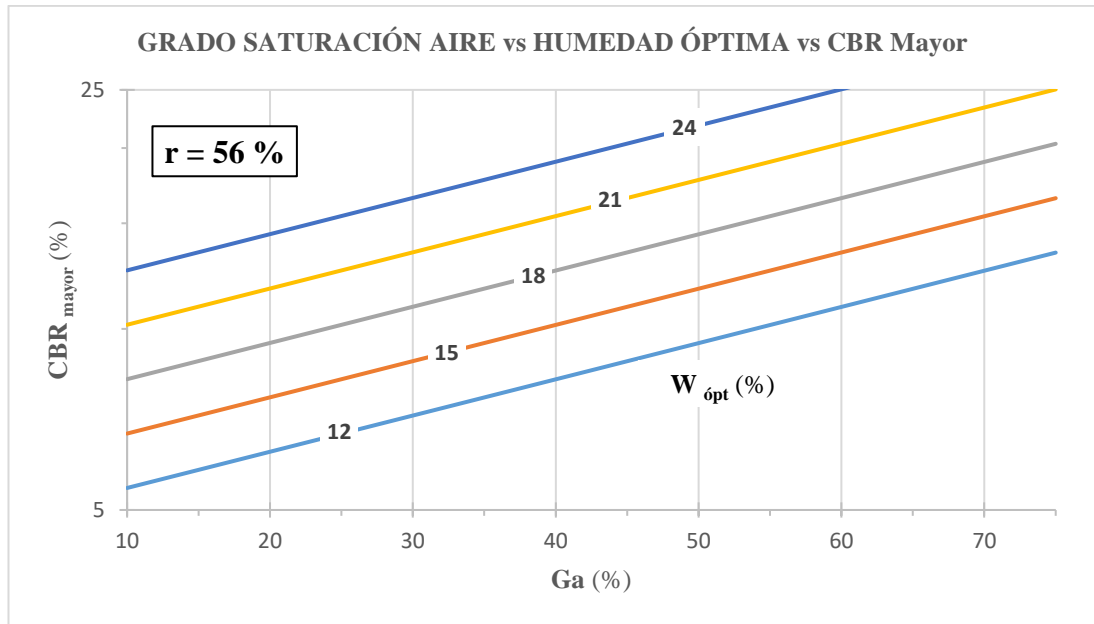


Figura 71. Correlación Grado de Saturación de Aire vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$CBR_{\text{mayor}} = 2.06 * e^{0.83(Ga)} * e^{0.99(W_{\text{ópt}})}$	$r = 56 \%$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 11 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Grado de Saturación de Aire (Ga) indica que son proporcionales, ya que si Ga aumenta el resultado para el CBR también aumenta, y existe una relación proporcional entre el CBR_{mayor} y la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un porcentaje moderado de $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un valor aceptable de CBR. En una muestra donde los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ y Ga son altos, el resultado va a ser un valor mayor para el CBR lo que significaría tener un suelo poco saturado que tendrá una buena resistencia y excelentes características de carga. En resumen, si los valores de Ga y $W_{\text{ópt}}$ son medianamente altos, mayor va a ser su CBR ya que la muestra tendría una buena capacidad portante.

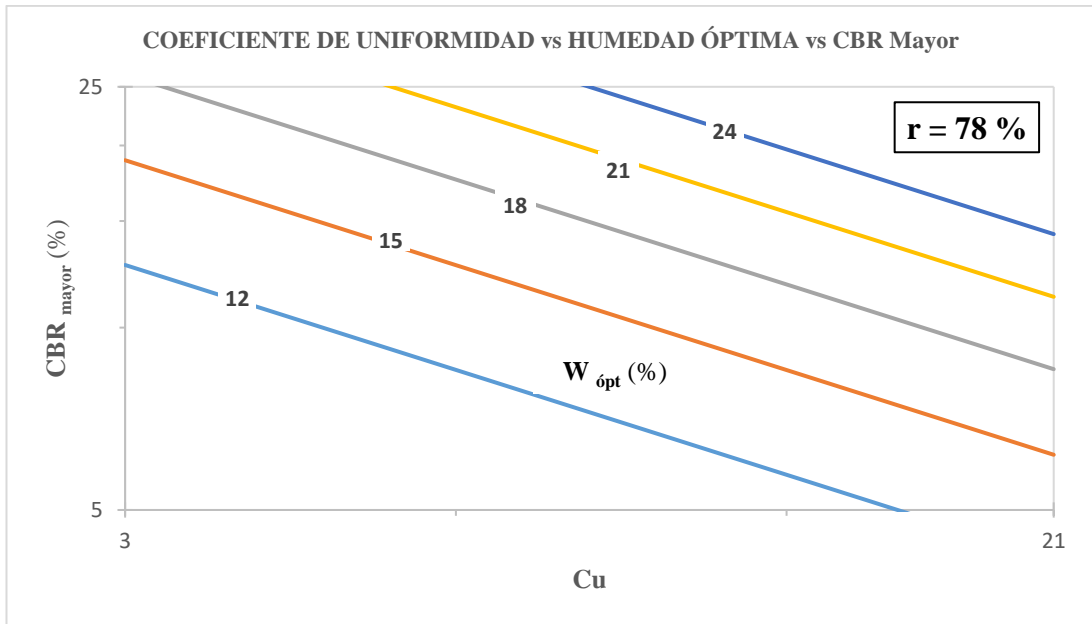


Figura 72. Correlación Coeficiente de Uniformidad vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación	Coefficiente de Correlación
$CBR_{\text{mayor}} = \frac{0.28 * W_{\text{ópt}}^{1.79}}{Cu^{0.58}}$	$r = 78 \%$

Modelo de correlación: Potencial

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Coeficiente de Uniformidad (Cu) indica que son inversamente proporcional, ya que si Cu aumenta el resultado para el CBR disminuye, y existe una relación proporcional entre el CBR_{mayor} y la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un porcentaje moderado de $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un valor aceptable de CBR. En una muestra donde los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ y los valores de Cu son bajos, el resultado va a ser un valor mayor para el CBR lo que significaría tener un suelo poco moderadamente saturado que tendrá una buena resistencia y estará bien graduado. En resumen, si los valores de Cu son bajos y los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ son medianamente altos, mayor va a ser su CBR ya que la muestra tendría una buena capacidad portante por las buenas características presentes en el suelo.

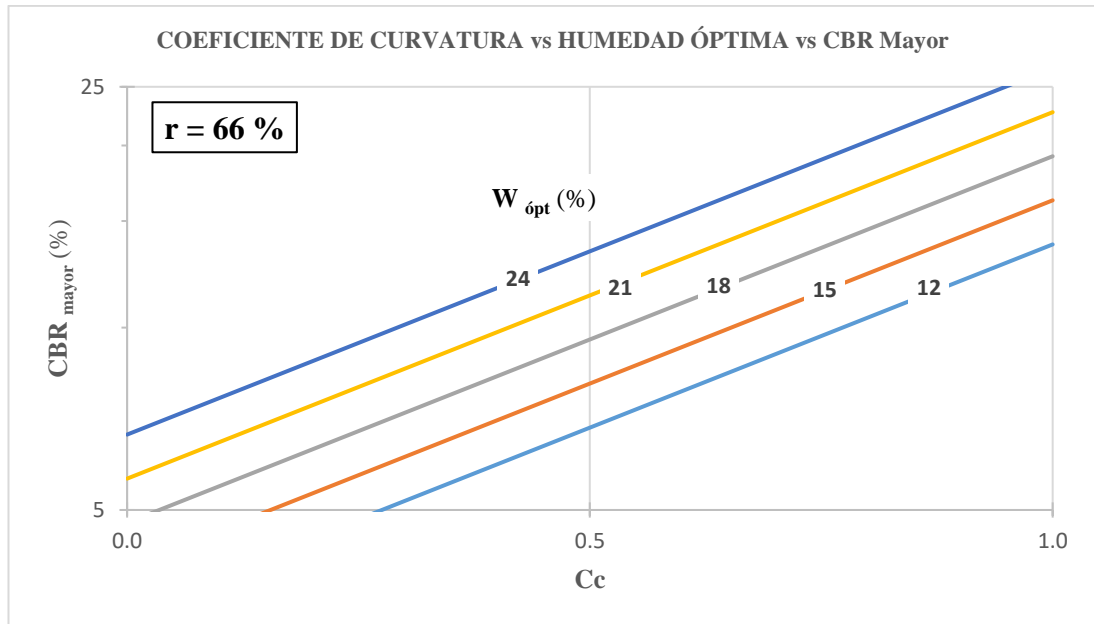


Figura 73. Correlación Coeficiente de Curvatura vs Humedad Óptima vs CBR Mayor

Autor: Christian González

Ecuación

$$CBR_{\text{mayor}} = 2.06 * e^{0.83(Ga)} * e^{0.99(W_{\text{ópt}})}$$

Coefficiente de Correlación

$r = 66\%$

Modelo de correlación: Exponencial

Nº de muestras analizadas: 10 muestras

DISCUSIÓN

Un análisis de la correlación entre el CBR Mayor (CBR_{mayor}) con el Coeficiente de Curvatura (Cc) indica que son proporcionales, ya que si Cc aumenta el resultado para el CBR disminuye, y existe una relación proporcional entre el CBR_{mayor} y la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), entonces para un porcentaje moderado de $W_{\text{ópt}}$ se tendrá un valor aceptable de CBR. En una muestra donde los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ y los valores de Cc son altos, el resultado va a ser un valor mayor para el CBR lo que significaría tener un suelo poco moderadamente saturado que tendrá una buena resistencia y estará bien graduado. En resumen, si los valores de Cc son altos, entre 1 y 3, y los porcentajes de $W_{\text{ópt}}$ son medianamente altos, mayor va a ser su CBR ya que la muestra tendría una buena capacidad portante por las buenas características presentes en el suelo.

3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

La correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín, cantón Ambato. Provincia de Tungurahua, tuvo valores aceptables y altos con respecto a la confiabilidad de la correlación, esto significa que para ciertas propiedades de análisis que cumplen con los criterios de “buena correlación”, se podrá usar sus gráficas y ecuaciones planteadas para establecer valores que se determinan normalmente con ensayos de campo y laboratorio, permitiendo obtener así de manera directa los valores de las propiedades de los suelos necesarias en el diseño de la estructura de un pavimento para este tipo de suelos, en este caso, granulares.

- **Hipótesis Nula**

La correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín, cantón Ambato. Provincia de Tungurahua, NO tendrán un alto grado de confiabilidad que permitirá obtener valores de las propiedades del suelo muy cercanos a los determinados en laboratorio de manera puntual, necesarias para el diseño de la estructura de un pavimento.

- **Hipótesis Estadística**

La correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Juan Benigno Vela y Pilahuín, cantón Ambato. Provincia de Tungurahua, tendrán un grado de confiabilidad mayor al 80% que permitirá obtener valores de las propiedades del suelo muy cercanos a los determinados en laboratorio de manera puntual, necesarias para el diseño de la estructura de un pavimento.

3.3. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

3.3.1. ESTUDIO DE TRÁFICO

Se realiza un conteo de tráfico actual presente en la vía analizada Pilahuín – Complejo Aguaján para determinar el Tráfico Promedio Diario Actual (TPDA)

$$TPDA = T_f + T_g + T_a + T_d$$

Tabla 34. Hora pico de número de vehículos en la vía Pilahuín – Complejo Aguaján - Proyecto

HORA PICO	TIPOS DE VEHÍCULOS						TOTAL
	LIVIANOS			BUSES	PESADOS		
	AUTOS	CAMIONETAS	MOTOS		CAMIONES 2 EJES P.	CAMIONES 2 EJES G.	
11:45 - 12:00	3	3	0	0	2	0	8
12:00 - 12:15	2	2	0	0	0	0	4
12:15 - 12:30	3	3	0	0	1	0	7
12:30 - 12:45	4	1	0	0	0	0	5
TOTAL TIPO VEHÍCULOS	12	9	0	0	3	0	24
DISTRIBUCIÓN (%)	50%	38%	0%	0%	13%	0%	100%

Autor: Christian González

FACTOR DE LA HORA PICO

$$FHP = \frac{\text{Total de vehículos}}{4 * (\text{Mayor volumen registrado en el lapso de la hora pico})}$$

$$FHP = \frac{24}{4 * (8)}$$

$$FHP = 0,75$$

Dado el caso en que el valor calculado del FHP no corresponde a una uniformidad en el tráfico actual se lo descarta y se toma como valor referencial 1.

$$FHP = 1$$

TRÁFICO ACTUAL

Para el cálculo del TPDA se considera a la vía de análisis como rural, por lo que se toma un porcentaje del 15% para su cálculo. Además, se toma en cuenta los datos el total de datos tomados en los dos sentidos de la vía en lo que respecta al conteo de tráfico.

$$TPDA = \frac{\text{Total de vehículos} * FHP}{15\%}$$

Tabla 35. Resumen de estaciones de conteo vehicular - Proyecto

ESTACIÓN DE CONTEO	TIPOS DE VEHÍCULOS		
	LIVIANOS	BUSES	PESADOS
Vía Pilahuín - Palugsha	21	0	3
TOTAL	21	0	3

Autor: Christian González

Vehículos Livianos

$$TPDA = \frac{21}{0.15}$$

$$TPDA = 140 \text{ veh/día}$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$TPDA = \frac{3}{0.15}$$

$$TPDA = 20 \text{ veh/día}$$

CÁLCULO DEL TRÁFICO ACTUAL EN EL 1° AÑO

$$TA = TPDA * (1 + i)^n$$

Tabla 36. Tasa de crecimiento de tráfico vehicular - Proyecto

TASA DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO (%)			
PERÍODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2010 - 2015	4.47	2.22	2.18
2015 - 2020	3.97	1.97	1.94
2020 - 2025	3.57	1.78	1.74
2025 - 2030	3.25	1.62	1.58

Fuente: Norma de Diseño Geométrico, MOP 2003

Vehículos Livianos

$$TA = 140 * (1 + 0.0397)^1$$

$$TA = 146 \text{ veh/día}$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$TA = 20 * (1 + 0.0194)^1$$

$$TA = 21 \text{ veh/día}$$

$$TA_{total} = 167 \text{ veh/día}$$

▪ CÁLCULO DEL TRÁFICO GENERADO

$$Tg = 20\% * TA(1er \text{ año})$$

Vehículos Livianos

$$Tg = 0.20 * 146$$

$$Tg = 30 \text{ veh/día}$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$Tg = 0.20 * 21$$

$$Tg = 5 \text{ veh/día}$$

$$Tg_{total} = 35 \text{ veh/día}$$

▪ **CÁLCULO DEL TRÁFICO ATRAÍDO**

$$Tat = 10\% * TA(1er \text{ año})$$

Vehículos Livianos

$$Tat = 0.10 * 146$$

$$Tat = 15 \text{ veh/día}$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$Tat = 0.10 * 21$$

$$Tat = 3 \text{ veh/día}$$

$$Tat_{total} = 18 \text{ veh/día}$$

▪ **CÁLCULO DEL TRÁFICO DESARROLLADO**

$$Td = 5\% * TA(1er \text{ año})$$

Vehículos Livianos

$$Td = 0.05 * 146$$

$$Td = 8 \text{ veh/día}$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$T_d = 0.05 * 21$$

$$T_d = 2 \text{ veh/día}$$

$$T_{d_{total}} = 10 \text{ veh/día}$$

Tabla 37. Cálculo Total del Tráfico Actual - Proyecto

CÁLCULO DEL TRÁFICO ACTUAL							
TIPO DE VEHÍCULOS	TPDA ACTUAL	i= índice de crecimiento	TPDA 1 AÑO	Tg	Tat	Td	TA _{TOTAL}
LIVIANOS	140	3.97%	146	30	15	8	199
BUSES	0	1.97%	0	0	0	0	0
CAMIONES	20	1.94%	21	5	3	2	31

Autor: Christian González

TRÁFICO PROYECTADO

$$T_f = TA * (1 + i)^n$$

Se considera que se va proyectar el diseño de la vía para un período de 10 y 20 años respectivamente.

▪ CÁLCULO PARA PRIMER PERÍODO DE DISEÑO n=10 años (2029)

Vehículos Livianos

$$T_f = 199 * (1 + 0.0325)^{10}$$

$$T_f = 275 \text{ veh/día}$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$T_f = 31 * (1 + 0.0158)^{10}$$

$$T_f = 37 \text{ veh/día}$$

$$Tf_{total\ 10\ años} = 312\ veh/día$$

▪ **CÁLCULO PARA PRIMER PERÍODO DE DISEÑO n=20 años (2039)**

Vehículos Livianos

$$Tf = 199 * (1 + 0.0325)^{20}$$

$$Tf = 378\ veh/día$$

Vehículos Pesados (Camiones de 2 ejes P)

$$Tf = 31 * (1 + 0.0158)^{20}$$

$$Tf = 43\ veh/día$$

$$Tf_{total\ 20\ años} = 421\ veh/día$$

Tabla 38. Tráfico Promedio Anual proyectado a los 10 y 20 años - Proyecto

AÑOS	% CRECIMIENTO			TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL			
	Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Camiones	TOTAL
2019	3.97	1.97	1.94	199	0	31	230
2020	3.97	1.97	1.94	207	0	32	239
2021	3.57	1.78	1.74	214	0	32	246
2022	3.57	1.78	1.74	222	0	33	255
2023	3.57	1.78	1.74	230	0	33	263
2024	3.57	1.78	1.74	238	0	34	272
2025	3.57	1.78	1.74	247	0	34	281
2026	3.25	1.62	1.57	255	0	35	290
2027	3.25	1.62	1.57	263	0	36	298
2028	3.25	1.62	1.57	271	0	36	307
2029	3.25	1.62	1.57	275	0	37	312
2030	3.25	1.62	1.57	284	0	38	322
2031	3.25	1.62	1.57	293	0	38	331
2032	3.25	1.62	1.57	303	0	39	341
2033	3.25	1.62	1.57	313	0	39	352
2034	3.25	1.62	1.57	323	0	40	363
2035	3.25	1.62	1.57	333	0	41	374
2036	3.25	1.62	1.57	344	0	41	385
2037	3.25	1.62	1.57	355	0	42	397
2038	3.25	1.62	1.57	367	0	43	409
2039	3.25	1.62	1.57	378	0	43	421

Autor: Christian González

Para señalar que tipo de vía es según el análisis del proyecto, se utiliza la siguiente tabla según el cálculo del valor del TPDA proyectado para 20 años:

Tabla 39. Clasificación de la carretera en función del tráfico proyectado

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO PROYECTADO	
Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Según la tabla del MTOP se puede considerar a la vía analizada como una **CARRETERA DE CLASE III**, ya que presenta un valor de TPDA= 421 *veh/día*.

3.3.2. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

3.3.2.1. Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible

MÉTODO AASHTO 93

TRÁNSITO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS PARA EL PERÍODO DE DISEÑO SELECCIONADO 8.2 TON (W_{18})

Es necesario tomar en consideración para el cálculo del W_{18} el daño según el tipo de vehículo que se considera para el diseño, por lo que se tiene la siguiente tabla:

Tabla 40. Factores de daño según el tipo de vehículo - Proyecto

FACTORES DAÑO SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO									
TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		TRIDEM		FACTOR DAÑO
	Ton	$(P/6.6)^4$	Ton	$(P/8.2)^4$	Ton	$(P/15)^4$	Ton	$(P/23)^4$	
BUS	4	0.13	8	0.91					1.04
C-2-P	3	0.04							0.18
	4	0.13							
C-2-G	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: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Tabla 41. Valores para Período de Análisis - Proyecto

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: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Se considera que la vía analizada presenta dos carriles existentes, uno en cada dirección, por lo que se estima un 50% del tránsito para el carril de diseño (Fd), indistintamente de cual carril se escoja para el análisis.

Tabla 42. Factores de distribución por carril - Proyecto

NÚMERO DE CARRILES EN UNA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DEL W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO, DL (%)
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Tabla 43. Factor de distribución por dirección - Proyecto

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	LC %
1	50
2	50
3	45
4	45

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Para determinar el Número Acumulado de Ejes Equivalentes (W_{18}) al final del período de diseño, se lo hará por medio de la siguiente ecuación:

$$W_{18} = 365 * TPDA_{Final} * FD * fd$$

Donde:

W_{18} = Número acumulado de ejes equivalentes

$TPDA_{Final}$ = Tráfico Promedio Diaria Anual Final

FD = Factor de daño

fd = Factor de distribución por carril

*Nota: Para el cálculo los valores de los vehículos sólo se considera tipo buses y camiones, no livianos, pero para nuestro proyecto si se le toma a consideración los vehículos livianos ya que existe una gran intensidad de tráfico de estos en la vía, es así que, su Factor de Daño (FD) se considerará como de 2 ejes y será 0.18.

Para una representación práctica se calcula el W_{18} para el año 2039:

$$W_{18} = 365 * TPDA_{Final} * FD * fd$$

$$W_{18} = (365 * 378 * 0.18 * 1) + (365 * 0 * 1.04 * 1) + (365 * 28 * 0.18 * 1)$$

$$W_{18 \text{ ACUMULADO}} = 26296$$

Por Carril de Diseño

$$W_{18 \text{ DISEÑO}} = W_{18} * 0.50$$

$$W_{18 \text{ DISEÑO}} = (26296) * 0.50$$

$$W_{18 \text{ DISEÑO}} = 13148$$

Tabla 44. Cálculo del número de Ejes Equivalentes a 8.2 Tons -Proyecto

AÑOS	% CRECIMIENTO			TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL				CAMIONES					W ₁₈	W ₁₈
	Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Camiones	TOTAL	C-2P	C-2G	C-3	C-4	C-5	Acumulado	Carril Diseño
2019	3.97	1.97	1.94	199	0	31	230	20	0	0	0	0	14197	7099
2020	3.97	1.97	1.94	207	0	32	239	20	0	0	0	0	14735	7368
2021	3.57	1.78	1.74	214	0	32	246	21	0	0	0	0	15236	7618
2022	3.57	1.78	1.74	222	0	33	255	21	0	0	0	0	15756	7878
2023	3.57	1.78	1.74	230	0	33	263	21	0	0	0	0	16293	8147
2024	3.57	1.78	1.74	238	0	34	272	22	0	0	0	0	16849	8425
2025	3.57	1.78	1.74	247	0	34	281	22	0	0	0	0	17425	8713
2026	3.25	1.62	1.57	255	0	35	290	23	0	0	0	0	17967	8984
2027	3.25	1.62	1.57	263	0	36	298	23	0	0	0	0	18526	9263
2028	3.25	1.62	1.57	271	0	36	307	23	0	0	0	0	19103	9552
2029	3.25	1.62	1.57	275	0	37	312	24	0	0	0	0	19361	9681
2030	3.25	1.62	1.57	284	0	38	322	24	0	0	0	0	19964	9982
2031	3.25	1.62	1.57	293	0	38	331	24	0	0	0	0	20587	10294
2032	3.25	1.62	1.57	303	0	39	341	25	0	0	0	0	21230	10615
2033	3.25	1.62	1.57	313	0	39	352	25	0	0	0	0	21892	10946
2034	3.25	1.62	1.57	323	0	40	363	26	0	0	0	0	22577	11289
2035	3.25	1.62	1.57	333	0	41	374	26	0	0	0	0	23282	11641
2036	3.25	1.62	1.57	344	0	41	385	26	0	0	0	0	24011	12006
2037	3.25	1.62	1.57	355	0	42	397	27	0	0	0	0	24762	12381
2038	3.25	1.62	1.57	367	0	43	409	27	0	0	0	0	25538	12769
2039	3.25	1.62	1.57	378	0	43	421	28	0	0	0	0	26296	13148

Autor: Christian González

- **NIVEL DE CONFIABILIDAD “R”**

Tabla 45. Nivel de confiabilidad "R" según el tipo de vía - Proyecto

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

La vía objeto del estudio se clasificaba como Vía Colectora de clase III, por lo que se toma el valor de 85% de nivel de confiabilidad.

- **DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_r)**

Tabla 46. Valor de Desviación Estándar Normal, Z_r - Proyecto

CONFIABILIDAD (%)	Desviación Estandar Normal, 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: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Por lo que para un valor de confiabilidad $R = 85\%$, se determina una Desviación Estándar Normal, Z_R de:

$$Z_R = -1.037$$

▪ **DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (S_o)**

Para el diseño del pavimento de pavimento flexible de este proyecto se utilizará un valor de $S_o = 0.45$

▪ **ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)**

Para el análisis de la vía del proyecto se escoge el índice de serviciabilidad final **PSI final = 2**, que es el indicado para caminos de tránsito menor.

$$\Delta PSI = PSI \text{ inicial} - PSI \text{ final}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.20$$

▪ **MÓDULO DE RESILIENCIA “Mr” (Características de la Subrasante)**

EL CBR de diseño determinado con la previa realización de estudios de suelos en la vía de análisis Pilahuín – Complejo Aguaján, correspondiente a al Pozo N° 9 del tramo inicial fue de **18,5%**, además cabe recalcar que la muestra de suelo es de tipo granular por lo que se calculará el Módulo de Resiliencia Mr utilizando la ecuación “c”.

$$Mr = 4326x \ln CBR + 241$$

$$Mr = 4326x \ln(18.5) + 241$$

$$Mr = 12863 \text{ psi}$$

$$Mr = 12.86 \text{ Ksi}$$

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para la ecuación de diseño de pavimento flexible, procedemos al reemplazo de los valores para determinar el

Número Estructural (SN) por medio del programa “Ecuación AASHTO 93”, obteniendo un SN= 1.27, para pavimento flexible.

Figura 74. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93" - Proyecto

Fuente: Software desarrollado por Ing. Vásquez Várela Luis Ricardo

▪ DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPA

Coefficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a_1)

Para determinar el coeficiente estructural a_1 se debe conocer el Módulo de elasticidad de la muestra en psi o la Estabilidad de Marshall en libras.

Tabla 47. Clasificación del tráfico en función IMDP - Proyecto

TRÁFICO	INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE VEHÍCULOS PESADOS
Liviano	Menos de 50
Medio	50 a 200
Pesado	200 a 1000
Muy Pesado	Más de 1000

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Tabla 48. Estabilidad Marshall de acuerdo IMDP - Proyecto

TIPO DE TRÁFICO	MUY PESADO		PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Estabilidad Marshall (lb)	2200	....	1800	....	1200	....	1000	2400

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Para este caso de análisis del proyecto se escoge la estabilidad mínima de Marshall para tráfico pesado de **1800 lb**, según se indica en las Especificaciones Generales para Caminos y Puentes del MTOP.

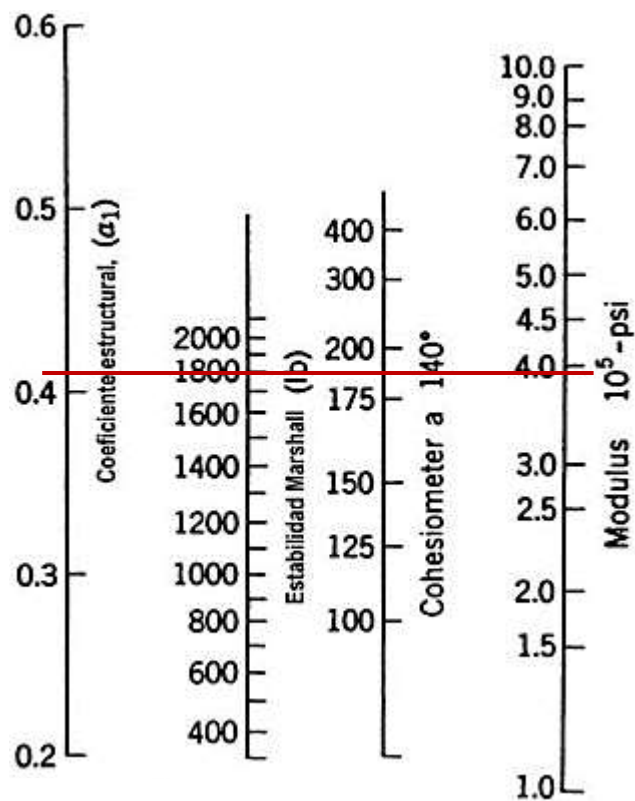


Figura 75. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a_1 - Proyecto

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

A través de la gráfica anterior se pudo determinar de manera apreciativa el valor del coeficiente estructural (a_1) igual a 0.41 por medio del valor de la Estabilidad de Marshall para tráfico pesado de 1800 lb, que significaba un Módulo de Elasticidad de **398 000 psi**.

Tabla 49. Módulo elástico de la carpeta asfáltica (a_1) - Proyecto

MÓDULOS ELÁSTICOS		VALORES DE a_1
Psi	MPa	
125000	875	0.220
150000	1050	0.250
175000	1225	0.280
200000	1400	0.295
225000	1575	0.320
250000	1750	0.330
275000	1925	0.350
300000	2100	0.360
325000	2275	0.375
350000	2450	0.385
375000	2625	0.405
400000	2800	0.420
425000	2975	0.435
450000	3150	0.440

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

- Interpolación

Módulo Elástico	Valor de a_1
375000	0.405
400000	0.420
<hr/>	
25000	0.015
23000	$x = 0.014$

$$a_1 = 0.405 + 0.014$$

$$a_1 = \mathbf{0.419}$$

Coefficiente estructural de la Capa Base (a_2)

Al igual que el anterior coeficiente, es necesario el uso de un nomograma para la determinación del Coeficiente Estructural de la Capa Base (a_2) y el Módulo de

Elasticidad. Se debe tomar a consideración que se asumirá un valor de CBR igual 80% por ser el mínimo para el diseño.

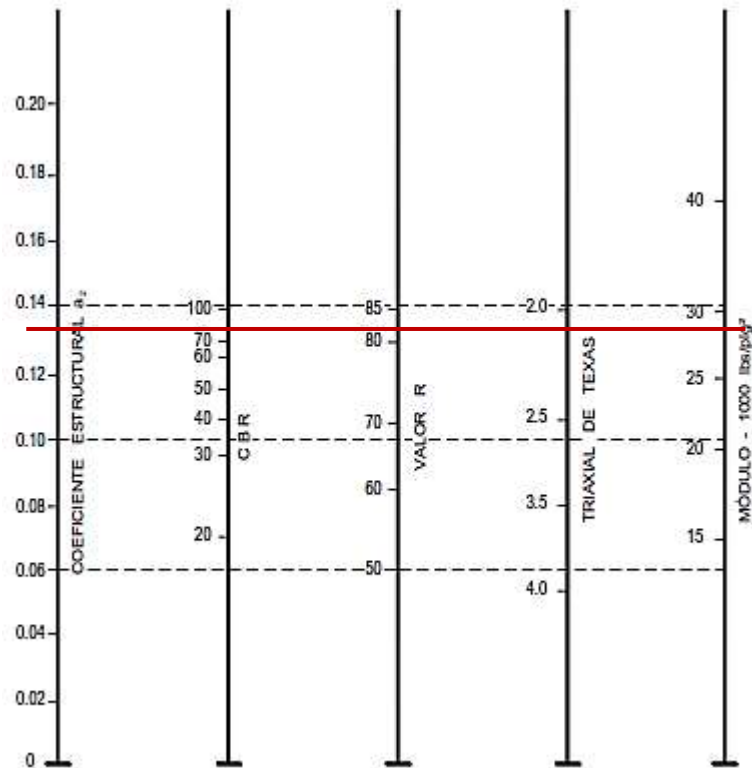


Figura 76. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular - Proyecto

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

A través de la gráfica anterior se pudo determinar de manera apreciativa el valor del coeficiente estructural (a_2) igual a 0.135 por medio del valor de CBR de 80%.

Tabla 50. Coeficientes de la Capa Base (a_2) - Proyecto

BASE DE AGREGADOS	
CBR%	a_2
20	0.070
25	0.085
30	0.095
35	0.100
40	0.105
45	0.112
50	0.115
55	0.120
60	0.125
70	0.130

80	0.133
90	0.137
100	0.140

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Se determina que el valor exacto del Coeficiente Estructural de la Capa Base (a_2) para un CBR de 80% es **0.133**

Coeficiente estructural de la Capa Sub-base (a_3)

Al igual que el anterior coeficiente, es necesario el uso de un nomograma para la determinación del Coeficiente Estructural de la Capa Sub-base (a_3) y el Módulo de Elasticidad. Se debe tomar a consideración que se asumirá un valor de CBR igual 30% por ser el mínimo para el diseño.



Figura 77. Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Sub-base Granular - Proyecto

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

A través de la gráfica anterior se pudo estimar de manera apreciativa el valor del coeficiente estructural (a_3) igual a 0.109 por medio del valor de CBR de 30%.

Tabla 51. Coeficientes de la Sub-base granular (a_3) - Proyecto

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	0.120
50	0.125
60	0.128
70	0.130
80	0.135
90	0.138
100	0.140

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Se determina que el valor exacto del Coeficiente Estructural de la Capa Sub-base (a_3) para un CBR de 30% es **0.108**

Para el cálculo de los espesores D_1 y D_2 (en plg), se elige el tráfico W_{18} menor a 50 000

Tabla 52. Espesores Mínimos (plg) - Proyecto

Tráfico, W_{18}	Concreto asfáltico, D_1	Capa Base, D_2
< 50 000	1 o (tratan. Superficial)	4
50 001 a 150 000	2.0	4
150 001 a 500 000	2.5	4
500 001 a 2 000 000	3.0	6
2 000 001 a 7 000 000	3.5	6
> 7 000 000	4.0	6

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

▪ **COEFICIENTES DE DRENAJE (m_2 , m_3)**

Tabla 53. Capacidad de Drenaje - Proyecto

Calidad del drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

La vía en análisis se encuentra en una zona propensa a lluvias durante ciertas épocas del año, es así que para este proyecto se considerará la calidad de drenaje como “regular”.

La siguiente tabla, se exponen valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y sub-bases granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año.

Tabla 54. Valores para modificar los coeficientes estructurales de capa de base y sub-base sin tratamiento, en pavimentos flexibles

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta 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	1,20
Buena	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Deficiente	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Con una calidad de drenaje considerada como “Regular” y un porcentaje de exposición a la humedad para la estructura del pavimento entre el 1 – 5%, se tiene los siguientes coeficientes de drenaje:

$$m_2 = 1.05 \quad m_3 = 1.05$$

Tabla 55. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - Proyecto

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: Análisis vía Pilahuín - Complejo Aguaján		TRAMO :
SECCION	: km 00+00 a km 5+260		FECHA : 01/12/2019
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			398.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			13,148
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.86
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			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)			0.419
Base granular (a ₂)			0.133
Subbase (a ₃)			0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1.050
Subbase (m ₃)			1.050
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1.27	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		0.87	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0.32	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0.09	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	5.3 cm	5.0 cm	0.82
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	5.7 cm	10.0 cm	0.55
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	1.9 cm	15.0 cm	0.67
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	2.04
DISEÑADO POR : Christian Eduardo González Aguirre			<i>fm</i>

Autor: Christian González

Por lo tanto, los espesores propuestos para el diseño de la estructura del pavimento flexible con el CBR de diseño de laboratorio son:

Carpeta Asfáltica =	5 cm
Capa Base Granular =	10 cm
Capa Sub base Granular =	15 cm

DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO POR CORRELACIONES

Para la determinación del CBR de diseño, se hará una comparación entre los valores obtenidos a través de ensayos de laboratorio (tomando solo en cuenta los calculados al 95% de la Densidad Seca Máxima), con los CBR determinados por medio del uso de correlaciones, para lo cual se recurrirá a las gráficas y ecuaciones planteadas en este proyecto en el apartado 3.1.3.

Para este caso de análisis se utilizará los valores de la Humedad Natural (W_{nat}), la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_{d \text{ in-situ}}$), el Índice Plástico (IP), el Índice Líquido (IL), el Límite Líquido (LL) y el porcentaje de muestra que pase el tamiz N°200 (N°200), así se podrá obtener de manera directa los valores del CBR mostrando diferentes alternativas. De los dos valores obtenidos se tomará el más representativo para el diseño del pavimento.

- **Alternativa 1:** $W_{nat}/\gamma_{d \text{ in-situ}} \rightarrow \text{CBR}$

$$\begin{array}{l} W_{nat} = 54.05 \% \\ \gamma_{d \text{ in-situ}} = 1.563 \text{ gr/cm}^3 \end{array} \Rightarrow \text{Figura 59} \Rightarrow \text{CBR} = 16.48 \%$$

$$\text{CBR}_1 = 16.48 \%$$

- **Alternativa 2:** $\text{IP/IL} \rightarrow \text{CBR}$

$$\begin{array}{l} \text{IP} = 0.60 \\ \text{IL} = 0.00 \end{array} \Rightarrow \text{Figura 60} \Rightarrow \text{CBR} = 14.85 \%$$

$$\text{CBR}_2 = 14.85 \%$$

▪ **Alternativa 3:** LL/N°200 → CBR

$$\begin{array}{l} \text{LL} = 23.69 \% \\ \text{N}^\circ 200 = 23.62 \% \end{array} \Rightarrow \text{Figura 62} \Rightarrow \text{CBR} = 18.99 \%$$

$$\text{CBR}_3 = 18.99 \%$$

El CBR_{mayor} corregido al 95% de la Densidad Seca Máxima determinado en ensayos de laboratorio es:

$$\text{CBR}_{\text{lab}} = 18.50 \%$$

Resumiendo, los valores obtenidos tenemos:

Tabla 56. Tabla resumen de valores de CBR obtenidos con el uso de las correlaciones

VALORES DE CBR CALCULADO POR USO DE CORRELACIONES	
CBR ₁ =	16.48 %
CBR ₂ =	14.85 %
CBR ₃ =	18.99 %
CBR _{lab} =	18.50 %

Autor: Christian González

Con estos valores obtenidos se puede determinar que la variación no es significativa, tomando en cuenta que para el diseño de la estructura del pavimento en una vía colectora como la del proyecto, va a ser mínima la diferencia que se dará en los cálculos de los espesores. El valor de CBR de diseño tomado para el cálculo en nuestros análisis por medio del uso de correlaciones en las tres alternativas planteadas será el obtenido a través del percentil según el valor del W_{18} , por lo que se requiere primero graficar los valores de CBR calculados y después determinar el CBR de diseño según corresponda el porcentaje al tipo de tráfico presentado en la vía.

Tabla 57. Límites para la selección del CBR de diseño

LÍMITES PARA LA SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO		
Número de ejes de 8.2 ton en el carril de diseño	Percentil para CBR de diseño	Tipo de tráfico
$< 10^4$	60	Liviano
$10^4 - 10^6$	75	Mediano
$> 10^6$	87,5	Pesado

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Tabla 58. Ordenamiento de CBR de menor a mayor

DISTRIBUCIÓN DE CBR		
CBR calculado	CBR igual o mayor	% CBR igual o mayor
14.85	4	100
16.48	3	75
18.50	2	50
18.99	1	25

Autor: Christian González

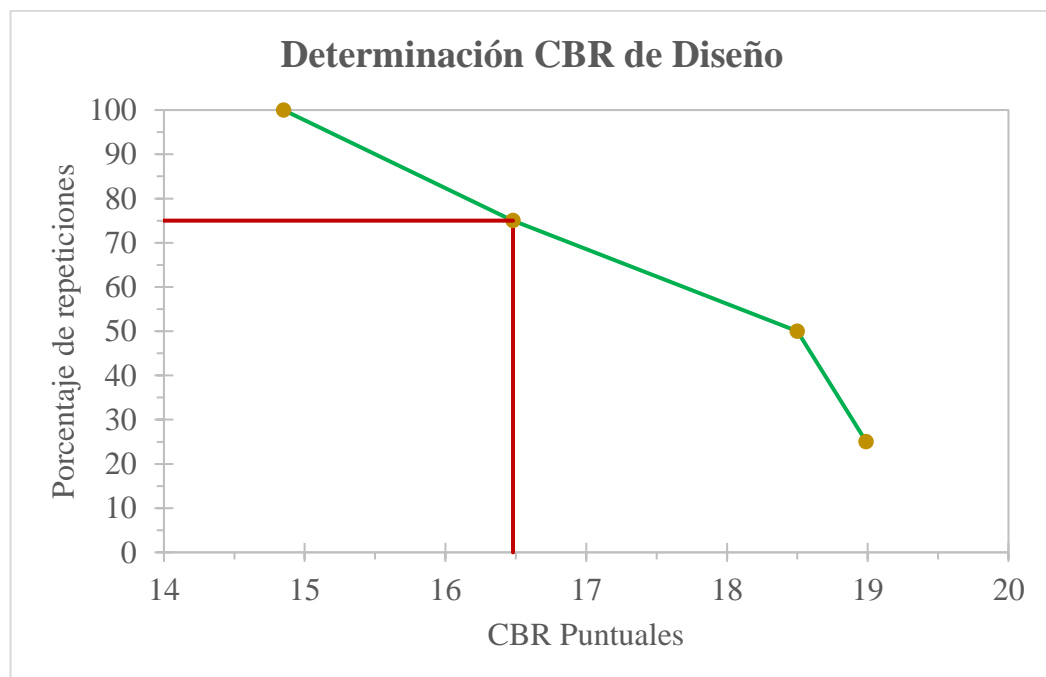


Figura 78. Determinación del CBR de diseño según el percentil acorde al W_{18}

Autor: Christian González

$$75\% \rightarrow \text{CBR}_{\text{PERCENTIL}} = 16.48\%$$

$$\text{CBR}_{\text{DISEÑO}} = 16\%$$

Ahora que ya se tiene el CBR de diseño, se procederá a realizar los cálculos para la determinación de los espesores de la estructura del pavimento como fue realizado anteriormente con el CBR de diseño obtenido en laboratorio.

Los datos que se mantendrán igual serán los siguientes:

Tabla 59. Datos calculados previamente en el diseño de un pavimento flexible

DATOS CALCULADOS	
Tipo de Pavimento	Flexible
Confiabilidad (R)	R = 85%
	Z _r = -1.037
Desviación Estándar Global (S _o)	S _o = 0.45
Serviciabilidad	PSI inicial = 4.20
	PSI final = 2.00
Ejes Equivalentes (W ₁₈) para n = 20 años	W ₁₈ = 13148

Autor: Christian González

Ya con estos datos lo único que resta por calcular para determinar el Número Estructural “SN”, es el Módulo de Resiliencia “Mr”. Al igual que con el CBR de laboratorio, tomamos las mismas consideraciones sobre la muestra de suelo como granular para el uso de las ecuaciones.

$$\text{Mr (psi)} = 4326 \times \ln \text{CBR} + 241 \text{ (sugerida para suelos granulares por la AASHTO)}$$

$$\text{Mr} = 4326 \times \ln \text{CBR} + 241$$

$$\text{Mr} = 4326 \times \ln(16) + 241$$

$$\text{Mr} = 12235 \text{ psi}$$

$$\text{Mr} = 12.24 \text{ Ksi}$$

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para la ecuación de diseño de pavimento flexible, procedemos al reemplazo de los valores para determinar el Número Estructural (SN) por medio del programa “Ecuación AASHTO 93”, obteniendo un SN= 1.30, para pavimento flexible.

Figura 79. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93"

Fuente: Software desarrollado por Ing. Vásquez Várela Luis Ricardo

Después de ya haber calculado el SN teórico de la subrasante, lo que sigue según el procedimiento planteado anteriormente es el cálculo de los espesores para cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento a través del uso de nomogramas y tablas para la determinación de los coeficientes estructurales y de drenaje. Como el CBR de diseño obtenido por correlaciones no tiene efecto directo en la determinación de los coeficientes estructurales y de drenaje, ya que para su obtención se tomó otras consideraciones, se mantendrán los mismos valores que se presentan a continuación:

Tabla 60. Coeficientes estructurales y de drenaje para la estructura del pavimento

COEFICIENTES ESTRUCTURALES Y DE DRENAJE	
Coef. Estructural de la Carpeta Asfáltica (a_1)	$a_1 = 0.419$
Coef. Estructural de la Capa Base Granular (a_2)	$a_2 = 0.133$
Coef. Estructural de la Capa Sub base Granular (a_3)	$a_3 = 0.108$
Coef. de Drenaje de la Capa Base Granular (m_2)	$m_2 = 1.05$
Coef. de Drenaje de la Capa Sub base Granular (m_3)	$m_3 = 1.05$

Autor: Christian González

Tabla 61. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - CBR Correlación

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993				
PROYECTO	: Análisis vía Pilahuín - Complejo Aguaján		TRAMO	:
SECCION	: km 00+00 a km 5+260		FECHA	: 01/12/2019
DATOS DE ENTRADA :				
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS	
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			398.00	
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00	
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90	
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE				
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			13,148	
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%	
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.037	
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45	
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.24	
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			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)			0.419	
Base granular (a ₂)			0.133	
Subbase (a ₃)			0.108	
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA				
Base granular (m ₂)			1.050	
Subbase (m ₃)			1.050	
DATOS DE SALIDA :				
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1.30		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		0.87		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0.32		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0.11		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO				
		PROPUESTA		
	TEORICO	ESPESOR	SN*	
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	5.3 cm	5.0 cm	0.82	
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	5.7 cm	10.0 cm	0.55	
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	2.5 cm	15.0 cm	0.67	
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	2.04	
DISEÑADO POR	: Christian Eduardo González Aguirre		<i>fm</i>	

Autor: Christian González

Por lo tanto, los espesores propuestos para el diseño de la estructura del pavimento flexible con el CBR de diseño de las correlaciones son:

Carpeta Asfáltica =	5 cm
Capa Base Granular =	10 cm
Capa Sub base Granular =	15 cm

DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE CONSIDERANDO UN FLUJO VEHICULAR INTENSO – CASO PRÁCTICO

Como caso práctico ahora se asumirá un valor de W_{18} alto, con este valor se hará el diseño de la estructura de un pavimento flexible para el CRB de diseño obtenido en laboratorio y el CBR de diseño obtenido por medio de correlaciones. En algunos valores ya calculados anteriormente se los mostrará de manera directa para simplificar análisis y solo procederá a realizar el cálculo de aquellos valores en los que tenga incidencia el W_{18} .

$$W_{18 \text{ IMPUESTO}} = 2629593$$

Por Carril de Diseño

$$W_{18 \text{ DISEÑO}} = W_{18} * 0.50$$

$$W_{18 \text{ DISEÑO}} = (2629593) * 0.50$$

$$W_{18 \text{ DISEÑO}} = 114797$$

▪ NIVEL DE CONFIABILIDAD “R”

Tabla 62. Nivel de confiabilidad "R" según el tipo de vía - Caso práctico.

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

La vía objeto del estudio ahora se clasifica como Corredor Arterial de clase R-I, por lo que se toma el valor de 90% de nivel de confiabilidad, considerándola vía urbana.

▪ **DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_R)**

Cálculo mediante la siguiente tabla utilizando el valor de confiabilidad “R” obtenido previamente:

Tabla 63. Valor de Desviación Estándar Normal, Z_R – Caso práctico

CONFIABILIDAD (%)	Desviación Estandar Normal, 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: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Por lo que para un valor de confiabilidad $R = 90\%$, se determina una Desviación Estándar Normal, Z_R de:

$$Z_R = -1.282$$

▪ **DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL (So)**

Para pavimentos flexibles: $0,40 < So < 0,50$ Se recomienda usar **0,45**

Para el diseño del pavimento de pavimento flexible de este proyecto se utilizará un valor de **So = 0.45**

▪ **ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)**

Para el análisis de la vía del proyecto se escoge el índice de serviciabilidad final **PSI final = 2,5**, que es el indicado para caminos de tránsito importante como lo es ahora nuestra vía.

$$\Delta PSI = PSI \text{ inicial} - PSI \text{ final}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

▪ **MÓDULO DE RESILIENCIA “Mr” (Características de la Subrasante)**

EL CBR de diseño se considerará el mismo valor que el ejemplo anterior, por lo que el CBR = 18.5% para un suelo granular

$$Mr = 4326x \ln CBR + 241$$

$$Mr = 4326x \ln(18.5) + 241$$

$$Mr = 12863 \text{ psi}$$

$$\mathbf{Mr = 12.86 Ksi}$$

Una vez obtenidos todos los datos necesarios para la ecuación de diseño de pavimento flexible, procedemos al reemplazo de los valores para determinar el Número Estructural (SN) por medio del programa “Ecuación AASHTO 93”, obteniendo un SN= 2.96, para pavimento flexible.

Figura 80. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93" - Caso práctico

Fuente: Software desarrollado por Ing. Vásquez Várela Luis Ricardo

▪ DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPA

Coefficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a_1), Capa Base Granular (a_2) y Capa Sub base Granular (a_3)

Para determinar el coeficiente estructural a_1 se debe conocer el Módulo de elasticidad de la muestra en psi o la Estabilidad de Marshall en libras.

Tabla 64. Clasificación del tráfico en función IMDP - Caso práctico

TRÁFICO	INTENSIDAD MEDIA DIARIA DE VEHÍCULOS PESADOS
Liviano	Menos de 50
Medio	50 a 200
Pesado	200 a 1000
Muy Pesado	Más de 1000

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Tabla 65. Estabilidad Marshall de acuerdo IMDP – Caso práctico

TIPO DE TRÁFICO	MUY PESADO		PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Estabilidad Marshall (lb)	2200	....	1800	....	1200	....	1000	2400

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, MOP 2003

Para este caso de ejemplo práctico también se escoge la estabilidad mínima de Marshall para tráfico pesado de **1800 lb**, según se indica en las Especificaciones Generales para Caminos y Puentes del MTOP.

Como este dato se mantiene igual al ejemplo anterior y además los coeficientes estructurales y de drenaje de la Base Granular y la Sub base Granular tampoco van a diferir ya que se toman a consideración valores mínimo de CBR dado por el MTOP, se tiene que:

Tabla 66. Coeficientes estructurales y de drenaje para la estructura del pavimento - Caso Práctico

COEFICIENTES ESTRUCTURALES Y DE DRENAJE	
Coef. Estructural de la Carpeta Asfáltica (a_1)	$a_1 = 0.419$
Coef. Estructural de la Capa Base Granular (a_2)	$a_2 = 0.133$
Coef. Estructural de la Capa Sub base Granular (a_3)	$a_3 = 0.108$
Coef. de Drenaje de la Capa Base Granular (m_2)	$m_2 = 1.05$
Coef. de Drenaje de la Capa Sub base Granular (m_3)	$m_3 = 1.05$

Autor: Christian González

Para el cálculo de los espesores D_1 y D_2 (en plg), el método de cálculo de la AASHTO sugiere tener en cuenta los valores mínimos establecidos en la siguiente tabla, que se encuentran dados acorde al tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados.

Tabla 67. Espesores Mínimos (plg)

Tráfico, W₁₈	Concreto asfáltico, D₁	Capa Base, D₂
< 50 000	1 o (tratan. Superficial)	4
50 001 a 150 000	2.0	4
150 001 a 500 000	2.5	4
500 001 a 2 000 000	3.0	6
2 000 001 a 7 000 000	3.5	6
> 7 000 000	4.0	6

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Para que una carpeta asfáltica tenga una buena estructura debe ser mayor o igual a 3 plg.

Tabla 68. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - Caso práctico

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993	
PROYECTO : Análisis vía Pilahuín - Complejo Aguaján	TRAMO :
SECCION : km 00+00 a km 5+260	FECHA : 01/12/2019
DATOS DE ENTRADA :	
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES	DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)	398.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)	28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)	14.90
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE	
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1,314,797
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	90%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)	-1.282
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)	0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	12.86
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20

3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0.419
Base granular (a ₂)			0.133
Subbase (a ₃)			0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1.050
Subbase (m ₃)			1.050
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		2.96	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		2.19	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0.60	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0.17	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	13.3 cm	7.5 cm	1.24
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	10.9 cm	15.5 cm	0.85
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	3.8 cm	20.0 cm	0.89
ESPESOR TOTAL (cm)		43.0 cm	2.98
DISEÑADO POR : Christian Eduardo González Aguirre			<i>fm</i>

Autor: Christian González

Por lo tanto, los espesores propuestos en el caso práctico para el diseño de la estructura del pavimento flexible con el CBR de diseño de laboratorio son:

Carpeta Asfáltica =	7.5 cm
Capa Base Granular =	15.5 cm
Capa Sub base Granular =	20 cm

DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON CBR DE CORRELACIÓN – CASO PRÁCTICO

Como se muestra en el apartado del anterior ejemplo, el cálculo del CBR de diseño por medio de correlaciones se obtendrá ahora según el nuevo W_{18} que determinará el tipo de tráfico a analizar y el percentil del mismo, además se mantendrán los valores que no se vean afectados por el cambio del CBR de diseño para la determinación del Numero Estructural “SN” teórico y los espesores de cada capa de la estructura del pavimento, según lo calculado en la demostración anterior.

Tabla 69. Límites para la selección del CBR de diseño - W_{18} impuesto

LÍMITES PARA LA SELECCIÓN DEL CBR DE DISEÑO		
Número de ejes de 8.2 ton en el carril de diseño	Percentil para CBR de diseño	Tipo de tráfico
$< 10^4$	60	Liviano
$10^4 - 10^6$	75	Mediano
$> 10^6$	87,5	Pesado

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

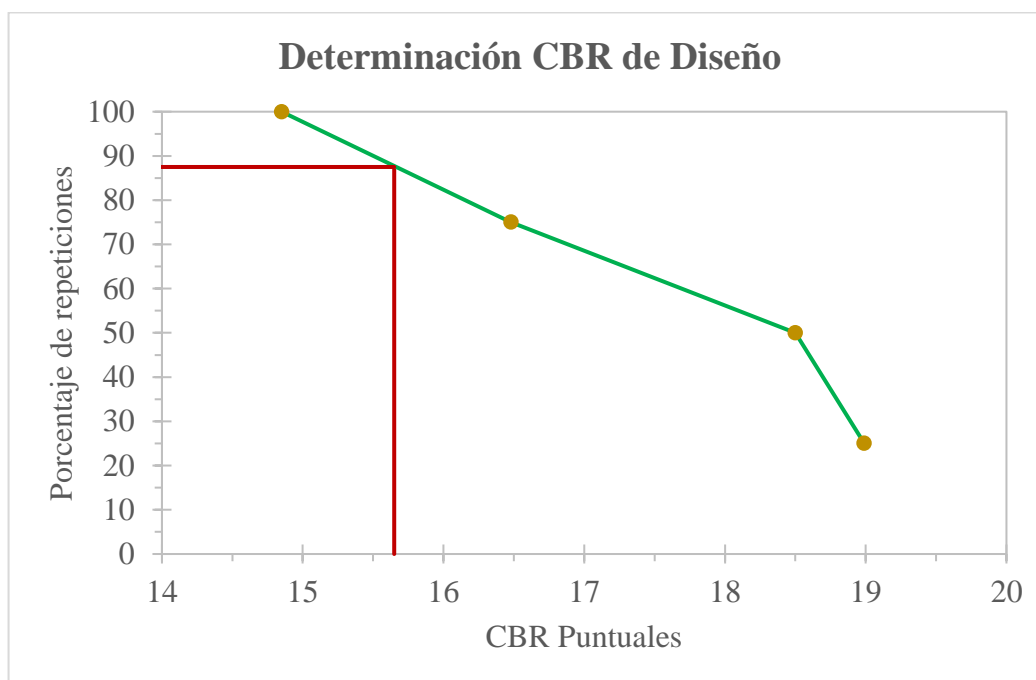


Figura 81. Determinación del CBR de diseño según el percentil acorde al W_{18} impuesto

Autor: Christian González

$$87,5\% \rightarrow \text{CBR}_{\text{PERCENTIL}} = 15.65\%$$

$$\text{CBR}_{\text{DISEÑO}} = 16\%$$

Tabla 70. Datos calculados previamente en el diseño de un pavimento flexible - Caso práctico CBR Correlación

DATOS CALCULADOS	
Tipo de Pavimento	Flexible
Confiabilidad (R)	R = 90%
	Zr = -1.282
Desviación Estándar Global (So)	So = 0.45
Serviciabilidad	PSI inicial = 4.20
	PSI final = 2.50
Módulo de Resiliencia Mr	Mr = 12235 psi
Ejes Equivalentes (W ₁₈) para n = 20 años	W ₁₈ = 1314797

Autor: Christian González

Tabla 71. Coeficientes estructurales y de drenaje para la estructura del pavimento - Caso práctico CBR correlación

COEFICIENTES ESTRUCTURALES Y DE DRENAJE	
Coef. Estructural de la Carpeta Asfáltica (a ₁)	a ₁ = 0.419
Coef. Estructural de la Capa Base Granular (a ₂)	a ₂ = 0.133
Coef. Estructural de la Capa Sub base Granular (a ₃)	a ₃ = 0.108
Coef. de Drenaje de la Capa Base Granular (m ₂)	m ₂ = 1.05
Coef. de Drenaje de la Capa Sub base Granular (m ₃)	m ₃ = 1.05

Autor: Christian González

Procedemos al reemplazo de los valores para determinar el Número Estructural (SN) por medio del programa “Ecuación AASHTO 93”, obteniendo un SN= 3.02, para pavimento flexible.

Figura 82. Número Estructural (SN) requerido "Ecuación AASHTO 93" - Caso práctico CBR correlación

Fuente: Software desarrollado por Ing. Vásquez Várela Luis Ricardo

Ahora se determinará los espesores de cada capa de la estructura del pavimento:

Tabla 72. Diseño Final de Pavimento Flexible Método AASHTO 1993 - Caso práctico CBR correlación

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993	
PROYECTO : Análisis vía Pilahuín - Complejo Aguaján	TRAMO :
SECCION : km 00+00 a km 5+260	FECHA : 01/12/2019
DATOS DE ENTRADA :	
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES	DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)	398.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)	28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)	14.90

2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			1,314,797
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			90%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.282
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.24
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0.419
Base granular (a ₂)			0.133
Subbase (a ₃)			0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1.050
Subbase (m ₃)			1.050
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		3.02	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		2.19	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0.60	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0.23	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	13.3 cm	7.5 cm	1.24
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	10.9 cm	15.5 cm	0.85
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	5.2 cm	20.0 cm	0.89
ESPESOR TOTAL (cm)		43.0 cm	2.98
DISEÑADO POR : Christian Eduardo González Aguirre			fm

Autor: Christian González

Por lo tanto, los espesores propuestos en el caso práctico para el diseño de la estructura del pavimento flexible con el CBR de diseño de las correlaciones son:

Carpeta Asfáltica =	7.5 cm
Capa Base Granular =	15.5 cm
Capa Sub base Granular =	20 cm

Para temas comparativos y de estudio se muestra una tabla resumen con los diferentes espesores obtenidos tanto para un Número de Ejes Equivalentes (W_{18}) bajo como lo era según el estudio de este proyecto, y alto como el valor que se impuso para demostrar el cálculo y diseño de la estructura de un pavimento.

También se mostrará cual es la variación que existe entre diseño un pavimento con un CBR de diseño determinado en laboratorio, con un CBR de diseño cálculo a través de las gráficas y ecuaciones planteadas en este proyecto sobre la correlación de diferentes propiedades del suelo, en este caso, suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

Tabla 73. Comparación de los espesores de las capas de pavimento con diferentes W_{18}

COMPARACIÓN ENTRE W_{18} REAL VS W_{18} IMPUESTO					
CBR		W_{18} REAL	ESPESORES		
			Carpeta Asfáltica	Base granular	Sub base granular
Lab.	18.5 %	26296	5 cm	10 cm	15 cm
Correl.	16 %	26296	5 cm	10 cm	15 cm
CBR		W_{18} IMPUESTO	ESPESORES		
			Carpeta Asfáltica	Base granular	Sub base granular
Lab.	18.5 %	2629593	7.5 cm	15.5 cm	20 cm
Correl.	16 %	2629593	7.5 cm	15.5 cm	20 cm

Autor: Christian González

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Por medio del ensayo de Cono y Arena de Ottawa se determinó en campo que el suelo del pozo #3 correspondiente al tramo inicial JVB – Chacapungo de la parroquia Juan Benigno Vela tiene un Grado de Saturación de Agua (Gw) igual a 55.16 % y un Grado de Saturación de Aire (Ga) de 44.84 %, lo que muestra que el suelo se encontraba saturado. También se obtuvo una relación de vacíos (e) de 1.06 y una porosidad (n) de 51.53% definiéndolo como un suelo de compresibilidad moderada.
- El contenido de Humedad Natural (W_{nat}) de la muestra de suelo del pozo #3 fue de 22.60%, en tal razón esto nos indica que pertenece a una arena ya que los valores típicos de humedad para este tipo de suelos van desde el 15% hasta el 20%.
- Del ensayo de Gravedad Específica (Gs) de la muestra de suelo del pozo #3 se obtuvo un valor de 2.397, lo que define al suelo como lodo aluvial debido a la presencia en su composición de una arena limosa.
- Del ensayo de granulometría se obtuvo que el suelo del pozo #3 fue un suelo según AASHTO (A-2-4) y SUCS (SM-SC) lo que significa que es una arena limosa arcillosa poco cohesiva, además su Coeficiente de Uniformidad (Cu) igual a 10 y un Coeficiente de Curvatura (Cc) de 0.55, lo que indica que el suelo se encuentra bien graduado.
- Se determinó los Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico) para la muestra de suelo del pozo #3 con valores tales como Límite Líquido (LL) de 26.43% y Límite Plástico (LP) de 21.03%, esto corrobora que el suelo analizado es una arena limosa ya que no presenta valores altos en sus porcentajes descartando la idea de una arcilla.

- Del ensayo de CBR en laboratorio se determinó un valor de 6.20%, calificándolo al suelo del pozo #3 como POBRE A REGULAR lo que significa que no es recomendable para la implantación de una estructura del pavimento sin antes hacer un mejoramiento del suelo.
- Las correlaciones que se presentan en este proyecto deben ser utilizadas únicamente para los tipos de suelos expuestos en esta investigación que cumplan con el rango granulométrico establecido en la Tabla 31 de la pág. 80 y que sus propiedades físico mecánicas sean similares a las de las muestras estudiadas. Las consideraciones para la correlación, interpretación y análisis de estas muestras están basadas principalmente en las características de estos suelos, el tamaño de sus partículas y la resistencia de los mismos.
- Se estableció que existe una buena correlación entre el valor CBR y el DCP mediante un análisis regresional aplicando un modelo polinómico de 2do grado con coeficiente $R=55\%$. Además, se determinó una ecuación que relaciona de manera directa el CBR calculado en laboratorio con el DCP obtenido en campo.
- La ASTM D6951/D6951M – 09 presenta una ecuación ($CBR=292/DCP^{1.12}$ para DCP en mm/golpe) con la que se puede determinar el valor del CBR por medio del DN para todo tipo de suelos a excepción de los tipos CL con $CBR < 10$ y los suelos tipos CH. Aunque es muy generalizada esta ecuación, presentan un grado de error mayor al 70% con respecto al valor real del CBR del suelo calculado a través de ensayos, lo que no ocurre con la ecuación propuesta en este proyecto para los suelos granulares, que da como máximo un 30% de error respecto al valor real del CBR calculado por ensayos.
- Es así que, para suelos granulares ubicados en la zona centro del país es mucho mejor utilizar la ecuación propuesta ya que indica una menor variación y mayor confiabilidad en la obtención del CBR de diseño para un pavimento.
- Se puede notar la influencia de diferentes propiedades del suelo, tales como el Contenido de Humedad Natural (W_{nat}) y la Densidad Seca In-Situ ($\gamma_{d \text{ in-situ}}$), que en conjunto permiten establecer ciertas expresiones que determinan de manera

más sencilla el Contenido de Humedad Óptimo ($W_{\text{ópt}}$) y la Densidad Seca Máxima ($\gamma_{\text{d máx}}$) de un suelo, mediante la realización de otros ensayos relativamente sencillos (cálculo del Contenido de Humedad Natural y ensayo de Cono y Arena de Ottawa). Estos resultados son mostrados por medio de ecuaciones y sus gráficos (ábacos) correspondientes que son de fácil interpretación.

- Se obtuvo porcentajes de consideraciones moderadas y altas de correlación según la Tabla 33 de la pág. 86 en varias regresiones planteadas, considerando que las diferentes muestras analizadas presentan características distintas en sus propiedades, además de que se las consiguió de forma aleatoria de un sector con diferencias estratigráficas y composición del suelo. Esta variedad hace propensas a las correlaciones a cambios significativos entre un suelo y otro.
- Se observa que las mejores correlaciones obtenidas en nuestro proyecto son aquellas que relacionan la Humedad Óptima ($W_{\text{ópt}}$), la Densidad Seca Máxima ($\gamma_{\text{d máx}}$) y la Relación de Vacíos (e). Se obtuvo porcentajes de correlación mayores al 80%.
- Se presenta como una alternativa al ensayo de CBR, el uso del equipo DCP ya que su ejecución es de fácil realización, teniendo en cuenta que los dos valores miden indirectamente la resistencia al corte para suelos de fundación.
- El CBR que se consideró para diseño está comprendido entre los rangos de 6.2% a 25.3%.
- Para el análisis de la estructura en general del pavimento se planteó un diseño de un pavimento flexible para volúmenes de tráfico bajo. Los espesores de las capas que componen la estructura del pavimento como son sub-base, base y carpeta asfáltica fueron de 5 cm, 12 cm y 15 cm respectivamente, de acuerdo al Método de Diseño de Pavimentos Flexibles AASHTO 1993.
- Con respecto al estudio de tráfico se determinó un TPDA de diseño de 421 veh/día para un período de diseño de 20 años. Por lo que se ha clasificado a la

vía Pilahuín – Complejo Aguaján según la Norma MOP 2003 como una vía colectora Clase III.

- De acuerdo al análisis hecho con el CBR de laboratorio y el CBR calculado por medio de las correlaciones, los valores de espesores de las capas de la estructura del pavimento son muy aproximados. Esto comprueba la hipótesis inicialmente planteada afirmando que se puede utilizar los ábacos con las ecuaciones establecidas en esta investigación para un diseño preliminar de pavimentos.

4.2. RECOMENDACIONES

- Una forma eficiente de obtener correlaciones de alto grado de confiabilidad entre dos variables o tres es el de efectuar los ensayos con muestras en condiciones similares o idénticas, es decir, recolección de muestras inalteradas para su posterior análisis en laboratorio.
- Este proyecto investigativo no pretende reemplazar los estudios convencionales que se realizaron en campo y laboratorio para obtener los datos del proyecto, principalmente para la determinación del CBR, sino, el objetivo del proyecto es contribuir de forma complementaria al cálculo del CBR para un diseño preliminar del pavimento.
- Se recomienda ampliar el estudio para suelos de tipo base y sub base granular, para determina los valores de CBR de dichos suelos y poder obtenerlos mediante correlaciones similares a las del presente estudio.
- Se recomienda utilizar los ábacos en los rangos establecidos para un diseño preliminar de pavimento, principalmente en proyectos viales donde no fuera factible la realización de ensayos de suelo, cuando se necesite datos preliminares a corto plazo y cuando la vía tenga presupuesto reducido.
- Se recomienda juntar la base de datos de todos los estudios que son parte de este proyecto macro, que tiene que ver con el análisis físico mecánicas y sus correlaciones para suelos granulares del cantón Ambato, lo que permitiría mejorar la confiabilidad de las correlaciones establecidas.

- También es importante crear una base de datos de los estudios de las propiedades de los suelos granulares del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua con los estudios de otras investigaciones para el mismo tipo de suelos realizadas en el país.
- Se recomienda ampliar el estudio de los diferentes tipos de suelos existentes en la provincia de Tungurahua, que incluyen además de los suelos granulares, suelos de tipos cohesivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. D. Bermúdez Sierra and O. A. Vásquez Sikaffy, “Validación del método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio,” *LACCEI*, 2016.
- [2] Y. Zhang, P. Vennapusa, and D. J. White, “Assessment Of Designed And Measured Mechanistic Parameters Of Concrete Pavement Foundation,” *Balt. J. Road Bridg. Eng.*, vol. 14, no. 1, pp. 37–57, 2019.
- [3] V. Y. Katte, S. M. Mfoyet, B. Manefouet, A. S. L. Wouatong, and L. A. Bezeng, “Correlation of California Bearing Ratio (CBR) Value with Soil Properties of Road Subgrade Soil,” *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 37, no. 1, pp. 217–234, 2019.
- [4] A. Paul, “Prediction of California Bearing Ratio Using,” vol. 14, no. 1, pp. 505–507, 2013.
- [5] T. F. Yideti, B. Birgisson, and D. Jelagin, “Influence of aggregate packing structure on California bearing ratio values of unbound granular materials,” *Road Mater. Pavement Des.*, vol. 15, no. 1, pp. 102–113, 2014.
- [6] J. J. Muhammed and M. M. Abdella, “Evaluation of Subgrade Capacity of Jimma Soils Using Dcp Test: a Correlation of Cbr and Dcpi,” *Malaysian J. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 3, pp. 457–467, 2018.
- [7] X. Reuni, P. E. Z. Zavala, G. H. O. Gonz, and D. V. Del, “Correspondencia entre propiedades índice vs mecánicas y permeabilidad en arenas limosas

- pumíticas,” *Soc. Mex. Ing. Geotécnica*, 2018.
- [8] W. Araujo, “Ecuaciones de Correlación del CBR con Propiedades Índice de Suelos Para la Ciudad de Piura,” p. 69, 2014.
- [9] A. D. E. Las, N. Transmedia, E. D. E. Caso, C. E. N. La, and E. Digital, *Determinación de la correlación entre los Índices DCP in situ y CBR de laboratorio*. 2016.
- [10] P. J. Cosentino, A. M. Shaban, and A. M. Boggs, “Predicting Bearing Ratios of Granular Soils Using Dynamic Cone Penetrometer and Modified PENCEL Pressuremeter Tests,” pp. 68–86, 2018.
- [11] A. F. Ikechukwu, M. M. Hassan, and A. Moubarak, “Evaluation of Subgrade Resilient Modulus from Unsaturated CBR Test,” no. 1, pp. 60–81, 2018.
- [12] L. Perez, *Manual de Mecánica de Suelos Elemental - FICM*. .
- [13] F. P. Portilla and A. del C. Pillajo, “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,” 2001.
- [14] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. .
- [15] Á. Angamarca, “Determinación del CBR de laboratorio y natural en suelos finos y su correlación con el DCP para la determinación de la capacidad portante de la sub-rasante, en el diseño de pavimentos flexibles de la ciudad de Quito,” p. 212, 2013.
- [16] J. Bowles, *Manual de Laboratorio de SUELOS en Ingeniería Civil*, vol. 23, no. 0. 2016.
- [17] W. Lambe and R. Whitman, *Mecánica de Suelos*. 2002.
- [18] G. Duque Escobar and C. E. Escobar Potes, “Mecánica de los Suelos,” p. 175, 2002.
- [19] A. J. Campos, “Diseño geométrico y estructural del pavimento de la vía Constantino Fernández - San Bartolomé de Pinillo; Quebrada Shahuanshi,” 2016.

- [20] D. Moya, *Diseño Geométrico de Vías Y Transporte - Apuntes FICM.* .
- [21] F. Moreira, *Manual de Diseño de Pavimento - FICM.* .
- [22] A. A. of S. H. and T. Officials, “AASHTO Guide for design pavement structures Book.” .
- [23] E. MTOP, “Normas de diseño geométrico de carreteras - 2003.”
- [24] L. S. Mena, “Trazado y diseño geométrico de la prolongación de la vía Santa Inés entre el sector San Juan de los Diablos entre el río Resbalo y el río Tigre, parroquia río Negro, cantón Baños, provincia de Tungurahua,” 2017.
- [25] A. A. Andrade, “El sistema de comunicación vial y su influencia en la calidad de vida de los habitantes del sector Cóndor Pamba - La Esperanza de la parroquia Presidente Urbina del cantón Píllaro, provincia de Tungurahua,” 2015.
- [26] M. R. Spiegel and L. J. Stephens, *Estadística Serie Schaum 4ta edición.* .
- [27] C. Ambato and P. D. E. Tungurahua, “ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA,” 2019.
- [28] G. Aut, N. Descentralizado, and P. Rural, “PARROQUIAL RURAL DE PILAHUÍN DIAGNÓSTICO TERRITORIAL,” 2015.

ANEXOS

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Figura 83. Excavación del pozo de 1 m³ aledaño a la vía de análisis

Autor: Christian González



Figura 84. Realización del ensayo de Cono y Arena para determinación de la densidad seca

Autor: Christian González



Figura 85. Pesos parciales de los tamices del ensayo granulométrico de la muestra de suelo

Autor: Christian González



Figura 86. Determinación del límite líquido de la muestra de suelo analizada

Autor: Christian González



Figura 87. Colocación de las muestras de suelo en el horno a 110 °C

Autor: Christian González



Figura 88. Realización del ensayo de proctor modificado para una muestra de suelo

Autor: Christian González



Figura 89. Tamizada de la muestra de suelo a utilizarse para ensayos

Autor: Christian González



Figura 90. Conteo del tráfico en la vía de análisis

Autor: Christian González













CONTEO DE TRÁFICO VÍA PILAHUÍN – COMPLEJO AGUAJÁN

Tabla 74. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 6 am hasta 9 am

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTEO DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO														
PROYECTO:		Correlación P. Índice y Mecánicas			ESTACIÓN No:		UBICACIÓN:			SENTIDO:		RESPONSABLE:		HOJA No:
FECHA:		07/11/2019			DIA:		Pilahuín - Complejo de Aguaján			Norte - Sur		Christian González		
HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS	SUMATORIA	
		AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	DOS EJES	TRES EJES	>TRES EJES	No EJES		TOTAL
		POR HORA												
6H00	6H00	1		1										2
	6H15													0
	6H30	1												1
	6H45	1		1				1						3
7H00	7H00													
SUMATORIA PARCIAL		3	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
7H00	7H00	1	1											2
	7H15		1	1										2
	7H30		1	1				1						3
	7H45							1						1
8H00	8H00													
SUMATORIA PARCIAL		1	4	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
8H00	8H00	1	1											2
	8H15			1										1
	8H30		1					1						2
	8H45	1												1
9H00	9H00													
SUMATORIA PARCIAL		3	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
SUMATORIA POR TIPO		16			0			4				0		













Autor: Christian González

Tabla 75. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 9 am hasta 12 pm

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO														
PROYECTO: Correlación P. Índice y Mecánicas FECHA: 07/11/2019		ESTACIÓN No.: DIA: Jueves		UBICACIÓN: Pilahuín - Complejo de Aguaján ESTADO DEL TIEMPO: Templado			SENTIDO: Norte - Sur RESPONSABLE: Christian González		HOJA No.:					
HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS No Ejes	SUMATORIA TOTAL	
		AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	DOS EJES	TRES EJES	>TRES EJES			
														POR HORA
9H00	9H00		1 1											2
	9H15	1												1
	9H30	1												1
	9H45			1				1 1						3
10H00	10H00													
	SUMATORIA PARCIAL	2	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0		
10H00	10H00	1	1 1											3
	10H15													0
	10H30	1 1 1												3
	10H45							1 1						2
11H00	11H00													
	SUMATORIA PARCIAL	4	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0		
11H00	11H00													0
	11H15			1 1 1										3
	11H30	1 1												2
	11H45	1 1 1	1 1 1					1 1						8
12H00	12H00													
	SUMATORIA PARCIAL	5	3	3	0	0	0	2	0	0	0	0		
	SUMATORIA POR TIPO	22			0			6				0		












Autor: Christian González

Tabla 76. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 12 pm hasta 3 pm

		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO												
PROYECTO: Correlación P. Índice y Mecánicas FECHA: 07/11/2019		ESTACIÓN No.: Jueves			UBICACIÓN: Pilahuín - Complejo de Aguaján ESTADO DEL TIEMPO: Nublado			SENTIDO: Norte - Sur RESPONSABLE: Christian González			HOJA No.:			
HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES			OTROS	SUMATORIA		
		AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	DOS EJES	TRES EJES	>TRES EJES		No EJES	
														
														POR HORA
12H00	12H00	1	1											4
	12H15													7
	12H30	1	1	1	1									5
	12H45	1												2
01H00	01H00													2
	SUMATORIA PARCIAL	10	6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
01H00	01H00								1					1
	01H15		1	1										2
	01H30													0
	01H45	1												3
02H00	02H00													2
	SUMATORIA PARCIAL	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
02H00	02H00								1	1				2
	02H15	1												1
	02H30													0
	02H45	1	1											4
03H00	03H00													4
	SUMATORIA PARCIAL	3	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
	SUMATORIA POR TIPO	27			0			4			0			

Autor: Christian González

Tabla 77. Conteo de tráfico vía Pilahuín - Complejo de Aguaján desde las 3 pm hasta 6 pm

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CONTAJE DE TRÁFICO VOLUMÉTRICO													
PROYECTO: Correlación P. Índice y Mecánicas FECHA: 07/11/2019		ESTACIÓN No.: DIA: Jueves		UBICACIÓN: Pilahuín - Complejo de Aguaján ESTADO DEL TIEMPO: Nublado			SENTIDO: Norte - Sur RESPONSABLE: Christian González		HOJA No.:				
HORA	HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES				OTROS	SUMATORIA
		AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	DOS EJES	TRES EJES	>TRES EJES	No EJES	
													POR HORA
03H00	03H00												0
	03H15												0
	03H30												0
	03H45												0
04H00	04H00												0
	SUMATORIA PARCIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04H00	04H00												0
	04H15												0
	04H30												0
	04H45												0
05H00	05H00												0
	SUMATORIA PARCIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05H00	05H00												0
	05H15												0
	05H30												0
	05H45												0
06H00	06H00												0
	SUMATORIA PARCIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SUMATORIA POR TIPO	0			0			0				0	

Autor: Christian González

TABLAS DE ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO Y CAMPO

GRANULOMETRÍA

Tabla 78. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA		CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
PROYECTO:	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO	CAPA VEGETAL:	0.20 m		
MUESTRA:	1 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.75 m		
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	758398 m	9857029 m

HUMEDAD IN SITU						
N° Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}
80	1	30.90	83.50	75.30	18.47	18.33
67	2	30.30	83.10	74.90	18.39	
59	3	30.70	82.80	74.80	18.14	

GRANULOMETRÍA					
AASHTO T-87-70 y T-88-70					
W _{HÚM.} (gr) =	W _{SECO} (gr) =		250		
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% RET.ACUM.	% PASA
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	0.00	0.00	0.00	100.00
# 10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
# 16	1.19	1.50	1.50	0.60	99.40
# 30	0.595	7.70	9.20	3.68	96.32
# 40	0.420	12.30	21.50	8.60	91.40
# 50	0.297	17.10	38.60	15.44	84.56
# 60	0.250	14.60	53.20	21.28	78.72
# 100	0.149	49.90	103.10	41.24	58.76
# 200	0.074	80.80	183.90	73.56	26.44
# fuente	0.03	63.30	66.10	26.44	0.00

CURVA GRANULOMÉTRICA

COEFICIENTES DEL SUELO			
D10 en mm	0.043	Cu = D60 / D10	3.56
D30 en mm	0.081	Cc = D30 ² / (D60 * D10)	1.00
D60 en mm	0.153	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	

	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO
SUCS	0.00	74.39	25.61	SM, SC
ASSHTO	0.00	74.39	25.61	A-2-4

Autor: Christian González

Tabla 79. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p> <p>PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO CAPA VEGETAL: 0.15 m</p> <p>MUESTRA: 2 FINAL PROFUNDIDAD: 0.65 m</p> <p>FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 758330 m 9856218 m</p>							
HUMEDAD IN SITU							
Nº Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
31	1	24.50	80.60	75.60	9.78	10.33	
16	2	24.30	80.20	75.00	10.26		
3	3	26.80	80.50	75.20	10.95		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% RET.ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00		
# 8	2.38	22.10	22.10	8.84	91.16		
# 10	2.00	11.30	33.40	13.36	86.64		
# 16	1.19	29.60	63.00	25.20	74.80		
# 30	0.595	42.20	105.20	42.08	57.92		
# 40	0.420	19.60	124.80	49.92	50.08		
# 50	0.297	11.60	136.40	54.56	45.44		
# 60	0.250	7.40	143.80	57.52	42.48		
# 100	0.149	20.60	164.40	65.76	34.24		
# 200	0.074	32.00	196.40	78.56	21.44		
# fuente	0.03	49.80	53.60	21.44	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.047	Cu = D60 / D10			14.47		
D30 en mm	0.118	Cc = D30 ² / (D60 * D10)			0.44		
D60 en mm	0.680	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO			
SUCS	0.00	79.77	20.23	SM, SC			
ASSHTO	8.98	70.80	20.23	A-2-4			

Autor: Christian González

Tabla 80. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA		CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS		PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNG	CAPA VEGETAL:	0.20 m	MUESTRA:	3 INICIO
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	PROFUNDIDAD:	0.70 m
			756233 m		9854631 m

HUMEDAD IN SITU						
Nº Recipiente	Muestra	WCÁPS. (gr)	WHÚM. (gr)	WSECO (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}
21	1	27.60	80.20	70.30	23.19	22.60
46	2	24.80	80.90	70.60	22.49	
2	3	24.00	80.30	70.10	22.13	



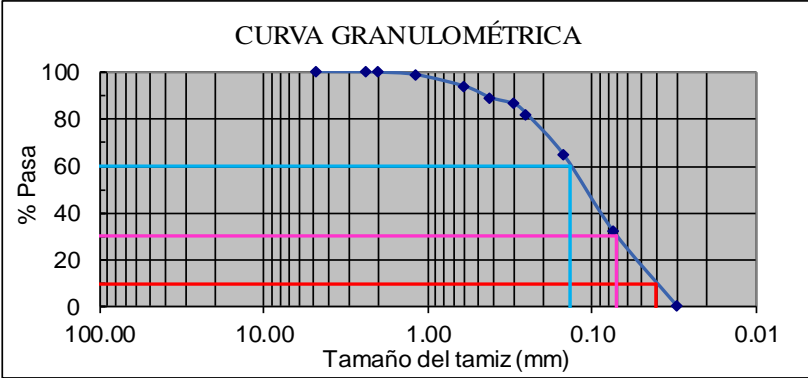
GRANULOMETRÍA						
AASHTO T-87-70 y T-88-70						
W _{HÚM.} (gr) =	W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% RET.ACUM.	% PASA	
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
# 8	2.38	30.10	30.10	12.04	87.96	
# 10	2.00	15.60	45.70	18.28	81.72	
# 16	1.19	36.30	82.00	32.80	67.20	
# 30	0.595	32.40	114.40	45.76	54.24	
# 40	0.420	17.50	131.90	52.76	47.24	
# 50	0.297	16.20	148.10	59.24	40.76	
# 60	0.250	10.90	159.00	63.60	36.40	
# 100	0.149	33.00	192.00	76.80	23.20	
# 200	0.074	37.30	229.30	91.72	8.28	
# fuente	0.03	19.80	20.70	8.28	0.00	

CURVA GRANULOMÉTRICA

COEFICIENTES DEL SUELO			
D10 en mm	0.085	C _u = D ₆₀ / D ₁₀	10.00
D30 en mm	0.200	C _c = D ₃₀ ² / (D ₆₀ * D ₁₀)	0.55
D60 en mm	0.850	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	
	GRAVA %	ARENA %	FINO %
SUCS	0.00	92.05	7.95
ASSHTO	12.08	79.97	7.95
			SUELO
			SM, SC
			A-2-4



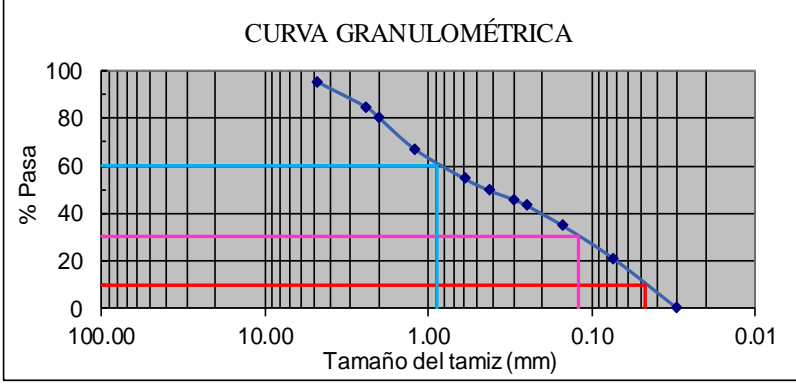
Autor: Christian González

Tabla 81. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 4

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
<p>PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>							
PARROQUIA:		JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNG		CAPA VEGETAL:	0.20 m		
MUESTRA:		4 FINAL		PROFUNDIDAD:	0.75 m		
FECHA:		01/10/2019		COORDENADAS:	17 S	756253 m	9854550 m
HUMEDAD IN SITU							
N° Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
29	1	26.50	80.90	73.30	16.24	16.17	
36	2	24.70	80.40	72.60	16.28		
5	3	24.10	81.40	73.50	15.99		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET. ACUM.}	% RET. ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00		
# 8	2.38	0.30	0.30	0.12	99.88		
# 10	2.00	0.40	0.70	0.28	99.72		
# 16	1.19	2.60	3.30	1.32	98.68		
# 30	0.595	12.60	15.90	6.36	93.64		
# 40	0.420	11.70	27.60	11.04	88.96		
# 50	0.297	6.90	34.50	13.80	86.20		
# 60	0.250	11.10	45.60	18.24	81.76		
# 100	0.149	43.30	88.90	35.56	64.44		
# 200	0.074	81.20	170.10	68.04	31.96		
# fuente	0.03	78.80	79.90	31.96	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.041	Cu = D60 / D10				3.34	
D30 en mm	0.071	Cc = D30 ² / (D60 * D10)				0.90	
D60 en mm	0.137	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
		GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO		
SUCS		0.00	68.34	31.66	SM, SC		
ASSHTO		0.12	68.22	31.66	A-2-4		

Autor: Christian González

Tabla 82. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ ALTO		CAPA VEGETAL: 0.20 m					
MUESTRA: 5 INICIO		PROFUNDIDAD: 0.70 m					
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S		756259 m	9855856 m		
HUMEDAD IN SITU							
Nº Recipiente	Muestra	W _{CAPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
58	1	30.70	82.40	76.80	12.15	12.35	
82	2	30.70	82.50	76.70	12.61		
78	3	30.60	82.70	77.00	12.28		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET. ACUM.}	% RET. ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	11.80	11.80	4.72	95.28		
# 8	2.38	26.60	38.40	15.36	84.64		
# 10	2.00	10.80	49.20	19.68	80.32		
# 16	1.19	34.00	83.20	33.28	66.72		
# 30	0.595	30.60	113.80	45.52	54.48		
# 40	0.420	12.40	126.20	50.48	49.52		
# 50	0.297	9.70	135.90	54.36	45.64		
# 60	0.250	6.00	141.90	56.76	43.24		
# 100	0.149	21.60	163.50	65.40	34.60		
# 200	0.074	33.90	197.40	78.96	21.04		
# fuente	0.03	51.30	52.60	21.04	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.048	Cu = D60 / D10			18.53		
D30 en mm	0.120	Cc = D30 ² / (D60 * D10)			0.34		
D60 en mm	0.880	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
		GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO		
SUCS		4.74	74.63	20.63	SM		
ASSHTO		15.44	63.93	20.63	A-2-4		



Autor: Christian González

Tabla 83. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ ALTO				CAPA VEGETAL: 0.10 m			
MUESTRA: 6 FINAL				PROFUNDIDAD: 0.75 m			
FECHA: 01/10/2019				COORDENADAS: 17 S		756074 m	9855484 m
HUMEDAD IN SITU							
N° Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
82	1	30.70	82.20	75.80	14.19	14.06	
67	2	30.20	82.20	75.80	14.04		
70	3	57.40	110.50	104.00	13.95		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET. ACUM.}	% _{RET. ACUM.}	% PASA		
# 4	4.76	0.50	0.50	0.20	99.80		
# 8	2.38	1.90	2.40	0.96	99.04		
# 10	2.00	1.40	3.80	1.52	98.48		
# 16	1.19	7.70	11.50	4.60	95.40		
# 30	0.595	15.10	26.60	10.64	89.36		
# 40	0.420	17.70	44.30	17.72	82.28		
# 50	0.297	8.70	53.00	21.20	78.80		
# 60	0.250	12.60	65.60	26.24	73.76		
# 100	0.149	47.10	112.70	45.08	54.92		
# 200	0.074	81.20	193.90	77.56	22.44		
# fuente	0.03	54.70	56.10	22.44	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.048	Cu = D ₆₀ / D ₁₀				3.60	
D30 en mm	0.090	Cc = D ₃₀ ² / (D ₆₀ * D ₁₀)				0.98	
D60 en mm	0.173	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO			
SUCS	0.20	77.80	22.00	SC			
ASSHTO	0.97	77.03	22.00	A-2-4			

Autor: Christian González

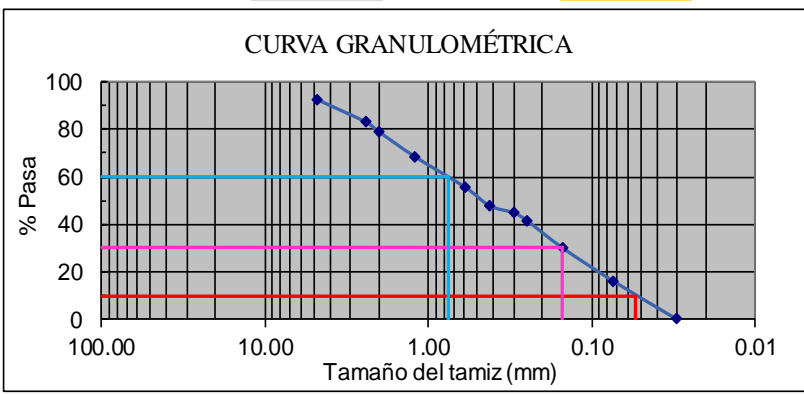
Tabla 84. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 7

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
PARROQUIA	CHIBULEO SAN FRANCISCO - LA MERCEJ	CAPA VEGETAL: 0.15 m
MUESTRA:	7 INICIO	PROFUNDIDAD: 0.70 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 754352 m 9854985 m

HUMEDAD IN SITU						
Nº Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}
78	1	30.70	82.30	70.50	29.65	29.72
58	2	30.80	82.20	70.40	29.80	
84	3	30.80	82.30	70.50	29.72	

GRANULOMETRÍA					
AASHTO T-87-70 y T-88-70					
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =	250		
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET. ACUM.}	% RET. ACUM.	% PASA
# 4	4.76	19.10	19.10	7.64	92.36
# 8	2.38	23.90	43.00	17.20	82.80
# 10	2.00	9.70	52.70	21.08	78.92
# 16	1.19	26.80	79.50	31.80	68.20
# 30	0.595	31.40	110.90	44.36	55.64
# 40	0.420	19.70	130.60	52.24	47.76
# 50	0.297	7.40	138.00	55.20	44.80
# 60	0.250	8.00	146.00	58.40	41.60
# 100	0.149	29.40	175.40	70.16	29.84
# 200	0.074	34.20	209.60	83.84	16.16
# fuente	0.03	36.90	40.40	16.16	0.00

CURVA GRANULOMÉTRICA



COEFICIENTES DEL SUELO			
D10 en mm	0.054	Cu = D60 / D10	13.89
D30 en mm	0.150	Cc = D30 ² / (D60 * D10)	0.56
D60 en mm	0.750	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	

	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO
SUCS	7.75	77.28	14.97	SM
ASSHTO	17.44	67.59	14.97	A-2-4

Autor: Christian González

Tabla 85. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: CHIBULEO SAN FRANCISCO - LA MERCEJ CAPA VEGETAL: 0.20 m							
MUESTRA: 8 FINAL PROFUNDIDAD: 0.70 m							
FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 754085 m 9854808 m							
HUMEDAD IN SITU							
N° Recipiente	Muestra	W _{CAPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
78	1	30.70	82.30	75.50	15.18	15.08	
58	2	30.80	82.70	76.00	14.82		
84	3	30.80	82.20	75.40	15.25		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% RET.ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	4.60	4.60	1.84	98.16		
# 8	2.38	10.10	14.70	5.88	94.12		
# 10	2.00	4.60	19.30	7.72	92.28		
# 16	1.19	17.40	36.70	14.68	85.32		
# 30	0.595	21.70	58.40	23.36	76.64		
# 40	0.420	13.60	72.00	28.80	71.20		
# 50	0.297	8.80	80.80	32.32	67.68		
# 60	0.250	8.90	89.70	35.88	64.12		
# 100	0.149	33.30	123.00	49.20	50.80		
# 200	0.074	76.80	199.80	79.92	20.08		
# fuente	0.03	50.30	50.20	20.08	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.050	Cu = D60 / D10			4.20		
D30 en mm	0.095	Cc = D30 ² / (D60 * D10)			0.86		
D60 en mm	0.210	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO			
SUCS	1.84	78.05	20.11	SM			
ASSHTO	5.88	74.01	20.11	A-2-4			

Autor: Christian González

Tabla 86. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN				CAPA VEGETAL: 0.30 m			
MUESTRA: 9 INICIO				PROFUNDIDAD: 0.85 m			
FECHA: 01/10/2019				COORDENADAS: 17 S 754524 m 9856136 m			
HUMEDAD IN SITU							
Nº Recipiente	Muestra	W _{CAPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
78	1	30.60	82.30	78.90	7.04	7.28	
58	2	30.70	82.40	78.90	7.26		
82	3	30.70	82.00	78.40	7.55		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET. ACUM.}	% RET. ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	8.10	8.10	3.24	96.76		
# 8	2.38	17.70	25.80	10.32	89.68		
# 10	2.00	8.30	34.10	13.64	86.36		
# 16	1.19	24.60	58.70	23.48	76.52		
# 30	0.595	26.70	85.40	34.16	65.84		
# 40	0.420	14.30	99.70	39.88	60.12		
# 50	0.297	11.30	111.00	44.40	55.60		
# 60	0.250	6.90	117.90	47.16	52.84		
# 100	0.149	27.70	145.60	58.24	41.76		
# 200	0.074	44.90	190.50	76.20	23.80		
# fuente	0.03	58.90	59.50	23.80	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.044	Cu = D60 / D10			9.55		
D30 en mm	0.095	Cc = D30 ² / (D60 * D10)			0.49		
D60 en mm	0.420	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
		GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO		
SUCS		3.25	73.14	23.62	SM		
ASSHTO		10.34	66.04	23.62	A-2-4		



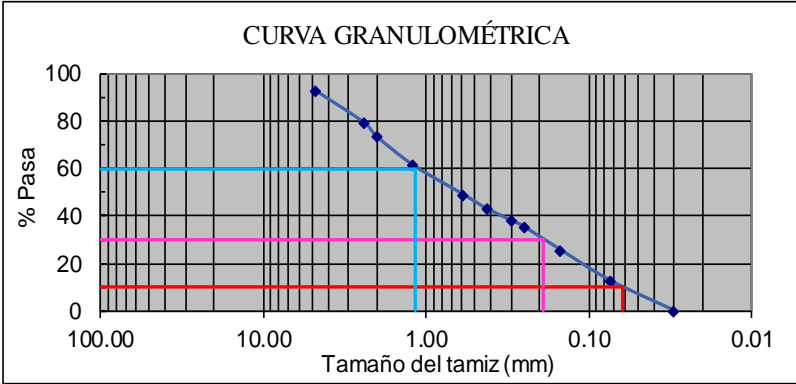
Autor: Christian González

Tabla 87. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
<p style="text-align: center;">CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS</p> <p>PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p> <p>PARROQUIA: PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN CAPA VEGETAL: 0.15 m</p> <p>MUESTRA: 10 FINAL PROFUNDIDAD: 0.85 m</p> <p>FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 755089 m 9857028 m</p>							
HUMEDAD IN SITU							
N° Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
84	1	30.80	82.70	74.30	19.31	19.42	
70	2	57.40	109.20	100.80	19.35		
67	3	30.20	82.10	73.60	19.59		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% RET.ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00		
# 8	2.38	9.90	9.90	3.96	96.04		
# 10	2.00	3.60	13.50	5.40	94.60		
# 16	1.19	13.10	26.60	10.64	89.36		
# 30	0.595	37.40	64.00	25.60	74.40		
# 40	0.420	30.90	94.90	37.96	62.04		
# 50	0.297	29.00	123.90	49.56	50.44		
# 60	0.250	12.30	136.20	54.48	45.52		
# 100	0.149	30.40	166.60	66.64	33.36		
# 200	0.074	27.70	194.30	77.72	22.28		
# fuente	0.03	54.30	55.70	22.28	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.045	Cu = D60 / D10			8.89		
D30 en mm	0.120	Cc = D30 ² / (D60 * D10)			0.80		
D60 en mm	0.400	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO			
SUCS	0.00	78.16	21.84	SM			
ASSHTO	3.98	74.18	21.84	A-2-4			

Autor: Christian González

Tabla 88. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 11

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: PILAHUÍN - PALUGSHA			CAPA VEGETAL: 0.25 m				
MUESTRA: 11 INICIO			PROFUNDIDAD: 0.75 m				
FECHA: 01/10/2019			COORDENADAS: 17 S 752855 m 9856573 m				
HUMEDAD IN SITU							
Nº Recipiente	Muestra	W _{C.ÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
48	1	37.60	90.40	83.10	16.04	16.07	
30	2	24.20	80.00	72.30	16.01		
4	3	25.60	80.20	72.60	16.17		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% RET.ACUM.	% PASA		
# 4	4.76	17.90	17.90	7.16	92.84		
# 8	2.38	34.10	52.00	20.80	79.20		
# 10	2.00	14.40	66.40	26.56	73.44		
# 16	1.19	30.50	96.90	38.76	61.24		
# 30	0.595	30.30	127.20	50.88	49.12		
# 40	0.420	15.60	142.80	57.12	42.88		
# 50	0.297	12.30	155.10	62.04	37.96		
# 60	0.250	6.50	161.60	64.64	35.36		
# 100	0.149	24.50	186.10	74.44	25.56		
# 200	0.074	32.20	218.30	87.32	12.68		
# fuente	0.03	31.60	31.70	12.68	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.062	Cu = D60 / D10			18.55		
D30 en mm	0.190	Cc = D30 ² / (D60 * D10)			0.51		
D60 en mm	1.150	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO			
SUCS	7.16	80.19	12.65	SM			
ASSHTO	20.81	66.55	12.65	A-2-4			

Autor: Christian González






Tabla 89. Tabla de ensayo de granulometría del pozo 12

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA PILAHUÍN - PALUGSHA				CAPA VEGETAL: 0.20 m			
MUESTRA: 12 FINAL				PROFUNDIDAD: 0.70 m			
FECHA: 01/10/2019				COORDENADAS: 17 S 752788 m 9856260 m			
HUMEDAD IN SITU							
N° Recipiente	Muestra	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% W _{nat.}	% W _{PROM.}	
78	1	30.60	82.10	62.80	59.94	33.75	
58	2	30.70	82.40	73.60	20.51		
82	3	30.70	82.40	73.50	20.79		
GRANULOMETRÍA							
AASHTO T-87-70 y T-88-70							
W _{HÚM.} (gr) =		W _{SECO} (gr) =		250			
TAMIZ	mm	W _{Retenido}	W _{RET.ACUM.}	% _{RET.ACUM.}	% PASA		
# 4	4.76	27.60	27.60	11.04	88.96		
# 8	2.38	46.80	74.40	29.76	70.24		
# 10	2.00	14.40	88.80	35.52	64.48		
# 16	1.19	34.40	123.20	49.28	50.72		
# 30	0.595	29.60	152.80	61.12	38.88		
# 40	0.420	14.50	167.30	66.92	33.08		
# 50	0.297	10.70	178.00	71.20	28.80		
# 60	0.250	5.50	183.50	73.40	26.60		
# 100	0.149	21.40	204.90	81.96	18.04		
# 200	0.074	25.80	230.70	92.28	7.72		
# fuente	0.03	20.00	19.30	7.72	0.00		
CURVA GRANULOMÉTRICA							
COEFICIENTES DEL SUELO							
D10 en mm	0.090	Cu = D60 / D10				18.89	
D30 en mm	0.340	Cc = D30 ² / (D60 * D10)				0.76	
D60 en mm	1.700	Tamaño Nominal Máximo (TNM)					
	GRAVA %	ARENA %	FINO %	SUELO			
SUCS	11.01	81.01	7.98	SM			
ASSHTO	29.68	62.35	7.98	A-2-4			

Autor: Christian González






CONO Y ARENA

Tabla 90. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
				ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - SAN PABL		CAPA VEGETAL: 0.20 m			
MUESTRA: 1 INICIO		PROFUNDIDAD: 0.75 m			
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S 758398 m 9857029 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. W_{m+Rec}		870.00			
Peso de la funda gr. Rec		3.30			
Peso de la masa del suelo gr. $W_m = W_{m+Rec} - Rec$		866.70			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6340.00			
Peso final frasco + cono + arena		5120.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343.00			
Peso arena en la perforación		877.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1.534			
Volumen de la perforación V_m		571.71			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #		67	59		
Peso húmedo + recipiente W_{m+rec}		83.10	82.80		
Peso seco + recipiente W_{s+rec}		74.90	74.80		
Peso recipiente rec		30.30	30.70		
Peso del agua W_w		8.20	8.00		
Peso de los sólidos W_s		44.60	44.10		
Contenido de humedad $w\%$		18.39	18.14		
Contenido de humedad promedio $w\%$		18.26			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
		Volumenes	Pesos		
Volumen de vacíos $V_v =$		17.73	-		
$V_a =$		$W_a =$	9.73	0.00	
$V_w =$		$W_w =$	8.00	8.00	
$V_s =$		$W_s =$	16.64	44.10	
$V_m =$		$W_m =$	34.37	52.10	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (γ_m) (densidad húmeda)		1.516	gr/cm ³		
Densidad seca (γ_d)		1.282	gr/cm ³		
Contenido de humedad $w\%$		18.26	%		
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$		1.07	natural		
Porosidad $n\% = V_v/V_m * 100$		51.58	%		
Grado de Saturación de agua $G_w\% = V_w/V_v * 100$		45.13	%		
Grado de Saturación de aire $G_a\%$		54.87	%		



Autor: Christian González

Tabla 91. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE CONO Y ARENA	
				CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS			
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO		CAPA VEGETAL: 0.15 m					
MUESTRA: 2 FIN		PROFUNDIDAD: 0.65 m					
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S 758330 m 9856218 m					
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)							
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				550.00			
Peso de la funda gr. Rec				3.30			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				546.70			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)							
Peso inicial frasco + cono + arena				6340.00			
Peso final frasco + cono + arena				5430.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343.00			
Peso arena en la perforación				567.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1.534			
Volumen de la perforación Vm				369.62			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente número #		31		3			
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		80.60		80.50			
Peso seco + recipiente Ws+rec		75.60		75.20			
Peso recipiente rec		24.50		26.80			
Peso del agua Ww		5.00		5.30			
Peso de los sólidos Ws		51.10		48.40			
Contenido de humedad w%		9.78		10.95			
Contenido de humedad promedio w%				10.37			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO							
				Volumenes		Pesos	
Volumen de vacíos Vv =		18.04		-			
Va = 		Wa = 12.74		0.00			
Vw = 		Ww = 5.30		5.30			
Vs = 		Ws = 18.26		48.40			
Vm =		Wm = 36.31		53.70			
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO							
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)				1.479		gr/cm ³	
Densidad seca (γd)				1.340		gr/cm ³	
Contenido de humedad w%				10.37		%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs				0.99		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100				49.69		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Ww/Vv*100				29.38		%	
Grado de Saturación de aire Ga%				70.62		%	






Autor: Christian González

Tabla 92. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE CONO Y ARENA			
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNO		CAPA VEGETAL: 0.20 m			
MUESTRA: 3 INICIO		PROFUNDIDAD: 0.70 m			
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S		756233 m 9854631 m	
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. W_{m+Rec}		450.00			
Peso de la funda gr. Rec		3.10			
Peso de la masa del suelo gr. $W_m = W_{m+Rec} - Rec$		446.90			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6330.00			
Peso final frasco + cono + arena		5550.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343.00			
Peso arena en la perforación		437.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1.534			
Volumen de la perforación V_m		284.88			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #		21		2	
Peso húmedo + recipiente W_{m+rec}		80.20		80.30	
Peso seco + recipiente W_{s+rec}		70.30		70.10	
Peso recipiente rec		27.60		24.00	
Peso del agua W_w		9.90		10.20	
Peso de los sólidos W_s		42.70		46.10	
Contenido de humedad $w\%$		23.19		22.13	
Contenido de humedad promedio $w\%$		22.66			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	
				Pesos	
Volumen de vacíos $V_v =$				18.49	
$V_a =$				$W_a =$	
$V_w =$				$W_w =$	
$V_s =$				$W_s =$	
$V_m =$				$W_m =$	
				35.89	
				56.30	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (γ_m) (densidad húmeda)		1.569		gr/cm ³	
Densidad seca (γ_d)		1.279		gr/cm ³	
Contenido de humedad $w\%$		22.66		%	
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$		1.06		natural	
Porosidad $n\% = V_v/V_m * 100$		51.53		%	
Grado de Saturación de agua $G_w\% = V_w/V_v * 100$		55.16		%	
Grado de Saturación de aire $G_a\%$		44.84		%	



Autor: Christian González





Tabla 93. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE CONO Y ARENA	
				CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS			
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUN		CAPA VEGETAL: 0.20 m					
MUESTRA: 4 FINAL		PROFUNDIDAD: 0.75 m					
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S 756253 m 9854550 m					
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)							
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				670.00			
Peso de la funda gr. Rec				3.60			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				666.40			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)							
Peso inicial frasco + cono + arena				6320.00			
Peso final frasco + cono + arena				5330.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343.00			
Peso arena en la perforación				647.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1.534			
Volumen de la perforación Vm				421.77			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente número #		29		36			
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		80.90		80.40			
Peso seco + recipiente Ws+rec		73.30		72.60			
Peso recipiente rec		26.50		24.70			
Peso del agua Ww		7.60		7.80			
Peso de los sólidos Ws		46.80		47.90			
Contenido de humedad w%		16.24		16.28			
Contenido de humedad promedio w%		16.26		16.26			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO							
				Volumenes		Pesos	
Volumen de vacíos Vv =				17.18		-	
Va = 		Wa =		9.38		0.00	
Vw = 		Ww =		7.80		7.80	
Vs = 		Ws =		18.08		47.90	
Vm =		Wm =		35.25		55.70	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO							
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)				1.580		gr/cm ³	
Densidad seca (γd)				1.359		gr/cm ³	
Contenido de humedad w%				16.26		%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs				0.95		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100				48.73		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100				45.41		%	
Grado de Saturación de aire Ga%				54.59		%	

Autor: Christian González






Tabla 94. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE CONO Y ARENA			
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ ALI		CAPA VEGETAL: 0.20 m			
MUESTRA: 5 INICIO		PROFUNDIDAD: 0.70 m			
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S		756259 m	9855856 m

DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)		
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec	460.00	
Peso de la funda gr. Rec	3.60	
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec	456.40	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)		
Peso inicial frasco + cono + arena	6310.00	
Peso final frasco + cono + arena	5600.00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343.00	
Peso arena en la perforación	367.00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1.534	
Volumen de la perforación Vm	239.24	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Recipiente número #	58	82
Peso húmedo + recipiente Wm+rec	82.40	82.50
Peso seco + recipiente Ws+rec	76.80	76.70
Peso recipiente rec	30.70	30.70
Peso del agua Ww	5.60	5.80
Peso de los sólidos Ws	46.10	46.00
Contenido de humedad w%	12.15	12.61
Contenido de humedad promedio w%	12.38	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO		
	Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos Vv =	9.79	-
Va =  Va =	3.99	0.00
Vw =  Vw =	5.80	5.80
Vs =  Vs =	17.36	46.00
Vm=  Vm =	27.15	51.80
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO		
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)	1.908	gr/cm ³
Densidad seca (γd)	1.698	gr/cm ³
Contenido de humedad w%	12.38	%
Relación de vacíos e= Vv/Vs	0.56	natural
Porosidad n% = Vv/Vm*100	36.07	%
Grado de Saturación de agua Gw%= Vw/Vv*100	59.21	%
Grado de Saturación de aire Ga%	40.79	%



Autor: Christian González

Tabla 95. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE CONO Y ARENA			
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS					
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ ALI		CAPA VEGETAL: 0.10 m			
MUESTRA: 6 FINAL		PROFUNDIDAD: 0.75 m			
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S		756074 m 9855484 m	
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. $W_m + Rec$				790.00	
Peso de la funda gr. Rec				3.60	
Peso de la masa del suelo gr. $W_m = W_m + Rec - Rec$				786.40	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena				6270.00	
Peso final frasco + cono + arena				5180.00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343.00	
Peso arena en la perforación				747.00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1.534	
Volumen de la perforación V_m				486.96	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				82	67
Peso húmedo + recipiente $W_m + rec$				82.20	82.20
Peso seco + recipiente $W_s + rec$				75.80	75.80
Peso recipiente rec				30.70	30.20
Peso del agua W_w				6.40	6.40
Peso de los sólidos W_s				45.10	45.60
Contenido de humedad $w\%$				14.19	14.04
Contenido de humedad promedio $w\%$				14.11	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos $V_v =$				14.99	-
$V_a =$ 		$W_a =$		8.59	0.00
$V_w =$ 		$W_w =$		6.40	6.40
$V_s =$ 		$W_s =$		17.21	45.60
$V_m =$		$W_m =$		32.20	52.00
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (γ_m) (densidad húmeda)				1.615	gr/cm^3
Densidad seca (γ_d)				1.415	gr/cm^3
Contenido de humedad $w\%$				14.11	%
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$				0.87	natural
Porosidad $n\% = V_v/V_m * 100$				46.56	%
Grado de Saturación de agua $G_w\% = V_w/V_v * 100$				42.69	%
Grado de Saturación de aire $G_a\%$				57.31	%

Autor: Christian González

Tabla 96. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 7

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
PARROQUIA: CHIBULEO SAN FRANCISCO	CAPA VEGETAL: 0.15 m	
MUESTRA: 7 INICIO	PROFUNDIDAD: 0.70 m	
FECHA: 01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 754352 m 9854985 m	

DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)	
Peso de la masa del suelo + funda gr. W_{m+Rec}	730.00
Peso de la funda gr. Rec	3.60
Peso de la masa del suelo gr. $W_m = W_{m+Rec} - Rec$	726.40

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)	
Peso inicial frasco + cono + arena	6280.00
Peso final frasco + cono + arena	5270.00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343.00
Peso arena en la perforación	667.00
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1.534
Volumen de la perforación V_m	434.81




DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #	78	58	
Peso húmedo + recipiente W_{m+rec}	82.30	82.20	
Peso seco + recipiente W_{s+rec}	70.50	70.40	
Peso recipiente rec	30.70	30.80	
Peso del agua W_w	11.80	11.80	
Peso de los sólidos W_s	39.80	39.60	
Contenido de humedad $w\%$	29.65	29.80	
Contenido de humedad promedio $w\%$	29.72		

DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos $V_v =$		15.82	-
$V_a =$		$W_a =$	0.00
$V_w =$		$W_w =$	11.80
$V_s =$		$W_s =$	39.60
$V_m =$		$W_m =$	51.40

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO		
Peso Volumétrico del suelo (γ_m) (densidad húmeda)	1.671	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)	1.288	gr/cm ³
Contenido de humedad $w\%$	29.72	%
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$	1.06	natural
Porosidad $n\% = V_v/V_m * 100$	51.43	%
Grado de Saturación de agua $G_w\% = V_w/V_v * 100$	74.57	%
Grado de Saturación de aire $G_a\%$	25.43	%



Autor: Christian González

Tabla 97. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: CHIBULEO SAN FRANCISCO		CAPA VEGETAL: 0.20 m					
MUESTRA: 8 FINAL		PROFUNDIDAD: 0.70 m					
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S		754085 m		9854808 m	
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)							
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				610.00			
Peso de la funda gr. Rec				3.60			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				606.40			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)							
Peso inicial frasco + cono + arena				6280.00			
Peso final frasco + cono + arena				5280.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343.00			
Peso arena en la perforación				657.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1.534			
Volumen de la perforación Vm				428.29			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente número #		78		84			
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		82.30		82.20			
Peso seco + recipiente Ws+rec		75.50		75.40			
Peso recipiente rec		30.70		30.80			
Peso del agua Ww		6.80		6.80			
Peso de los sólidos Ws		44.80		44.60			
Contenido de humedad w%		15.18		15.25			
Contenido de humedad promedio w%				15.21			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO							
				Volumenes		Pesos	
Volumen de vacíos Vv =				19.47		-	
Va = 		Wa =		12.67		0.00	
Vw = 		Ww =		6.80		6.80	
Vs = 		Ws =		16.83		44.60	
Vm =		Wm =		36.30		51.40	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO							
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)				1.416		gr/cm ³	
Densidad seca (γd)				1.229		gr/cm ³	
Contenido de humedad w%				15.21		%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs				1.16		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100				53.64		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100				34.92		%	
Grado de Saturación de aire Ga%				65.08		%	

Autor: Christian González




Tabla 98. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 9

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS		
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
PARROQUIA: PILAHUÍN - COMPLEJO AGI	CAPA VEGETAL:	0.30 m
MUESTRA: 9 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.85 m
FECHA: 01/10/2019	COORDENADAS:	17 S 754524 m 9856136 m

DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)	
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec	950.00
Peso de la funda gr. Rec	3.60
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec	946.40

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)	
Peso inicial frasco + cono + arena	6290.00
Peso final frasco + cono + arena	5080.00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343.00
Peso arena en la perforación	867.00
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1.534
Volumen de la perforación Vm	565.19




DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #	78	58	
Peso húmedo + recipiente Wm+rec	82.30	82.40	
Peso seco + recipiente Ws+rec	78.90	78.90	
Peso recipiente rec	30.60	30.70	
Peso del agua Ww	3.40	3.50	
Peso de los sólidos Ws	48.30	48.20	
Contenido de humedad w%	7.04	7.26	
Contenido de humedad promedio w%	7.15		

DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos Vv =		12.69	-
Va = 	Wa =	9.19	0.00
Vw = 	Ww =	3.50	3.50
Vs = 	Ws =	18.19	48.20
Vm =	Wm =	30.88	51.70

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO		
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)	1.674	gr/cm ³
Densidad seca (γd)	1.563	gr/cm ³
Contenido de humedad w%	7.15	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs	0.70	natural
Porosidad n% = Vv/Vm*100	41.09	%
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100	27.59	%
Grado de Saturación de aire Ga%	72.41	%




Autor: Christian González

Tabla 99. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: PILAHUÍN - COMPLEJO AGI		CAPA VEGETAL: 0.15 m					
MUESTRA: 10 FINAL		PROFUNDIDAD: 0.85 m					
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S		755089 m		9857028 m	
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)							
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				780.00			
Peso de la funda gr. Rec				3.60			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				776.40			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)							
Peso inicial frasco + cono + arena				6300.00			
Peso final frasco + cono + arena				5270.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343.00			
Peso arena en la perforación				687.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1.534			
Volumen de la perforación Vm				447.85			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente número #		84		67			
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		82.70		82.10			
Peso seco + recipiente Ws+rec		74.30		73.60			
Peso recipiente rec		30.80		30.20			
Peso del agua Ww		8.40		8.50			
Peso de los sólidos Ws		43.50		43.40			
Contenido de humedad w%		19.31		19.59			
Contenido de humedad promedio w%				19.45			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO							
				Volumenes		Pesos	
Volumen de vacíos Vv =		13.56		-			
Va = 		Wa =		5.06		0.00	
Vw = 		Ww =		8.50		8.50	
Vs = 		Ws =		16.38		43.40	
Vm =		Wm =		29.94		51.90	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO							
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)		1.734		gr/cm ³			
Densidad seca (γd)		1.451		gr/cm ³			
Contenido de humedad w%		19.45		%			
Relación de vacíos e = Vv/Vs		0.83		natural			
Porosidad n% = Vv/Vm*100		45.29		%			
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100		62.68		%			
Grado de Saturación de aire Ga%		37.32		%			




Autor: Christian González

Tabla 100. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 11

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA:	PILAHUÍN - PALUGSHA		CAPA VEGETAL:	0.25 m			
MUESTRA:	11	INICIO	PROFUNDIDAD:	0.75 m			
FECHA:	01/10/2019		COORDENADAS:	17 S	752855 m	9856573 m	
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)							
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec			700.00				
Peso de la funda gr. Rec			3.60				
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec			696.40				
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)							
Peso inicial frasco + cono + arena			6300.00				
Peso final frasco + cono + arena			5440.00				
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343.00				
Peso arena en la perforación			517.00				
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1.534				
Volumen de la perforación Vm			337.03				
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente número #		30		4			
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		80.00		80.20			
Peso seco + recipiente Ws+rec		72.30		72.60			
Peso recipiente rec		24.20		25.60			
Peso del agua Ww		7.70		7.60			
Peso de los sólidos Ws		48.10		47.00			
Contenido de humedad w%		16.01		16.17			
Contenido de humedad promedio w%				16.09			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO							
			Volumenes		Pesos		
Volumen de vacíos Vv =			8.69		-		
Va = 		Wa =		1.09		0.00	
Vw = 		Ww =		7.60		7.60	
Vs = 		Ws =		17.74		47.00	
Vm =		Wm =		26.42		54.60	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO							
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)			2.066		gr/cm ³		
Densidad seca (γd)			1.780		gr/cm ³		
Contenido de humedad w%			16.09		%		
Relación de vacíos e = Vv/Vs			0.49		natural		
Porosidad n% = Vv/Vm*100			32.88		%		
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100			87.48		%		
Grado de Saturación de aire Ga%			12.52		%		

Autor: Christian González

Tabla 101. Tabla de ensayo de cono y arena del pozo 12

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS		ENSAYO DE CONO Y ARENA	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS							
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA: PILAHUÍN - PALUGSHA				CAPA VEGETAL: 0.20 m			
MUESTRA: 12 FINAL				PROFUNDIDAD: 0.70 m			
FECHA: 01/10/2019				COORDENADAS: 17 S 752788 m 9856260 m			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)							
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				890.00			
Peso de la funda gr. Rec				3.60			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				886.40			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)							
Peso inicial frasco + cono + arena				6290.00			
Peso final frasco + cono + arena				5250.00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343.00			
Peso arena en la perforación				697.00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1.534			
Volumen de la perforación Vm				454.37			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente número #		82		58			
Peso húmedo + recipiente Wm+rec		82.40		82.40			
Peso seco + recipiente Ws+rec		73.50		73.60			
Peso recipiente rec		30.70		30.70			
Peso del agua Ww		8.90		8.80			
Peso de los sólidos Ws		42.80		42.90			
Contenido de humedad w%		20.79		20.51			
Contenido de humedad promedio w%				20.65			
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO							
				Volumenes		Pesos	
Volumen de vacíos Vv =		10.31		-			
Va = 		Wa =		1.51		0.00	
Vw = 		Ww =		8.80		8.80	
Vs = 		Ws =		16.19		42.90	
Vm =		Wm =		26.50		51.70	
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO							
Peso Volumétrico del suelo (γm) (densidad húmeda)				1.951		gr/cm ³	
Densidad seca (γd)				1.617		gr/cm ³	
Contenido de humedad w%				20.65		%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs				0.64		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100				38.91		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100				85.33		%	
Grado de Saturación de aire Ga%				14.67		%	

Autor: Christian González

LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 102. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO					
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA					
PROYECTO:	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA				
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO	CAPA VEGETAL:	0.20 m		
MUESTRA:	1 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.75 m		
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	758398 m	9857029 m

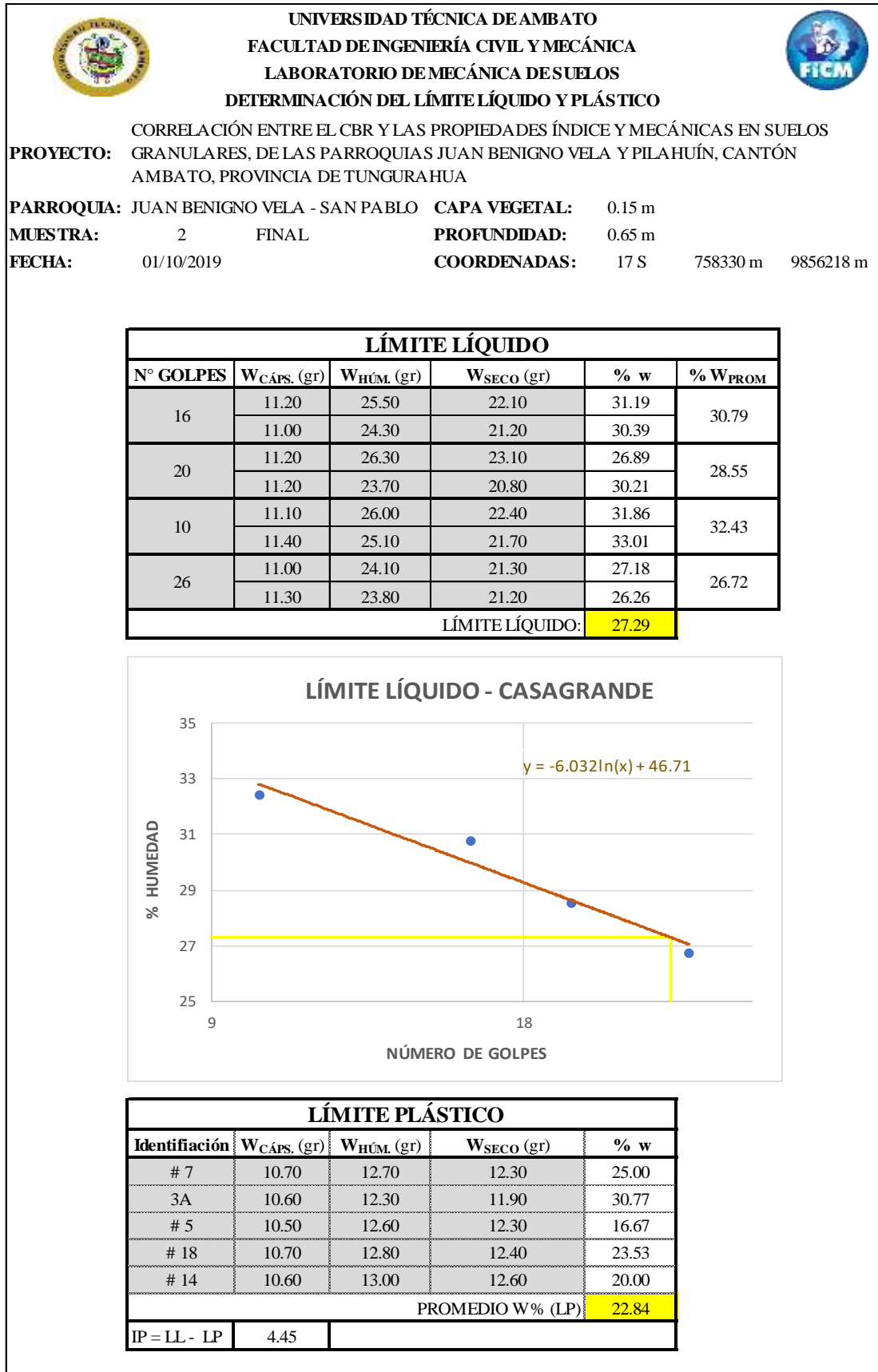
LÍMITE LÍQUIDO					
Nº GOLPES	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	% W _{PROM}
11	11.20	28.10	24.90	23.36	24.18
	11.00	26.50	23.40	25.00	
16	10.80	25.40	22.70	22.69	22.41
	11.40	27.40	24.50	22.14	
26	11.20	26.10	23.40	22.13	21.71
	11.10	24.20	21.90	21.30	
14	11.30	25.00	22.40	23.42	22.87
	11.00	25.80	23.10	22.31	
LÍMITE LÍQUIDO:				21.58	

LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE

LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w
# 7	10.70	11.70	11.50	25.00
3A	10.60	11.40	11.30	14.29
# 5	10.50	11.90	11.70	16.67
# 18	10.70	12.20	11.90	25.00
# 14	10.60	12.10	11.90	15.38
PROMEDIO W% (LP)				15.45
IP = LL - LP	6.14			



Autor: Christian González

Tabla 103. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 2



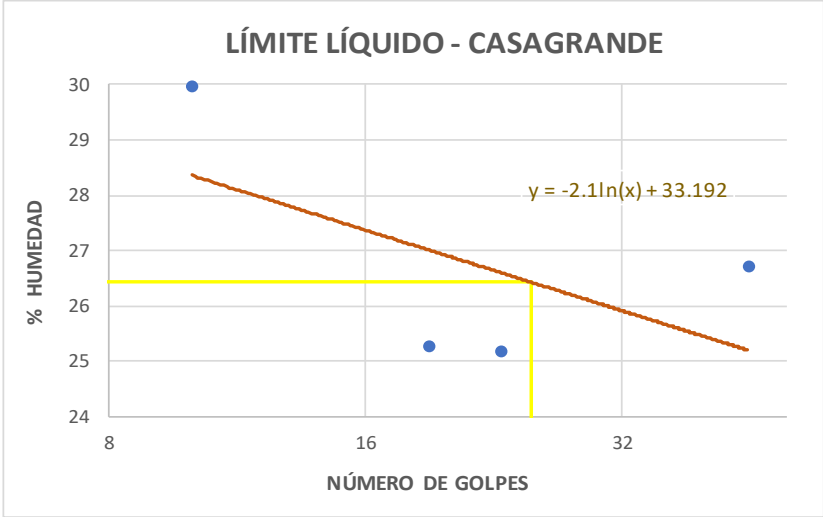
Autor: Christian González

Tabla 104. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 3

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO</p>	
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>		
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNG	CAPA VEGETAL: 0.20 m
MUESTRA:	3 INICIO	PROFUNDIDAD: 0.70 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 756233 m 9854631 m

LÍMITE LÍQUIDO					
Nº GOLPES	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	% W _{PROM}
23	11.20	25.70	22.80	25.00	25.20
	11.00	26.80	23.60	25.40	
45	11.20	22.80	20.30	27.47	26.72
	11.20	24.30	21.60	25.96	
10	11.10	25.70	22.30	30.36	29.98
	11.40	27.60	23.90	29.60	
19	11.00	27.80	24.40	25.37	25.27
	11.30	29.20	25.60	25.17	
				LÍMITE LÍQUIDO:	26.43



LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE



LÍMITE PLÁSTICO					
Identificación	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	
# 65	6.10	7.90	7.60	20.00	
# 57	6.00	7.40	7.10	27.27	
# 63	6.10	7.50	7.20	27.27	
# 61	6.10	7.30	7.10	20.00	
# 33	6.10	7.70	7.40	23.08	
				PROMEDIO W % (LP)	21.03
IP = LL - LP	5.41				

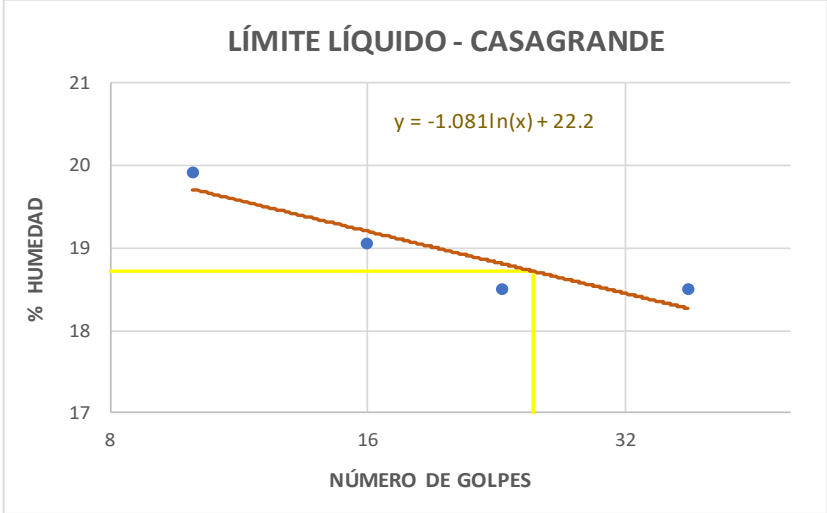
Autor: Christian González

Tabla 105. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO	
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNG	CAPA VEGETAL: 0.20 m
MUESTRA:	4 FINAL	PROFUNDIDAD: 0.75 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 756253 m 9854550 m

LÍMITE LÍQUIDO					
Nº GOLPES	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	% W _{PROM}
38	11.40	26.10	23.80	18.55	18.50
	11.10	26.50	24.10	18.46	
23	11.30	24.80	22.70	18.42	18.51
	11.00	26.30	23.90	18.60	
16	11.20	25.00	22.80	18.97	19.05
	11.30	25.00	22.80	19.13	
10	11.00	26.00	23.50	20.00	19.92
	11.30	26.40	23.90	19.84	
LÍMITE LÍQUIDO:				18.72	



LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE



LÍMITE PLÁSTICO				
Identificación	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w
# 64	6.10	7.10	7.00	11.11
# 47	6.00	6.80	6.70	14.29
# 44	6.20	7.40	7.10	33.33
# 19	6.00	7.40	7.20	16.67
# 6	6.00	7.50	7.20	25.00
PROMEDIO W % (LP)				14.02
IP = LL - LP	4.70			

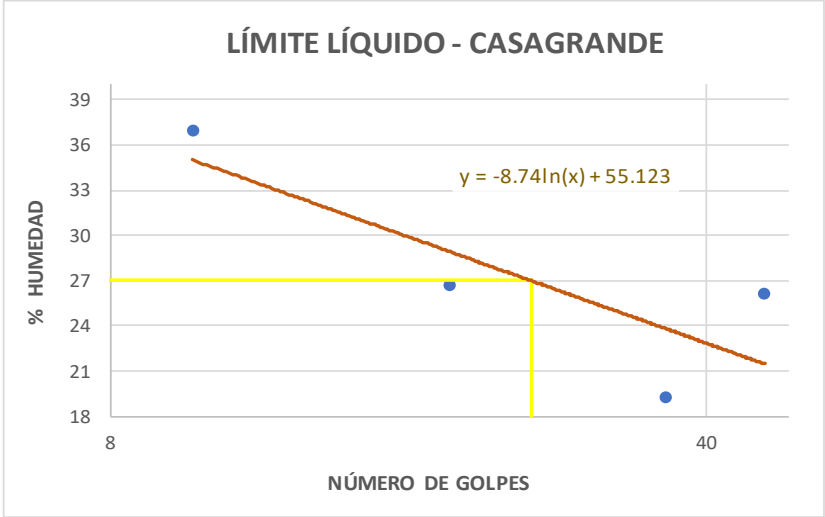
Autor: Christian González

Tabla 106. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 5

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO</p>	
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>		
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ ALT CAPA VEGETAL:	0.20 m
MUESTRA:	5 INICIO	PROFUNDIDAD: 0.70 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 756259 m 9855856 m

LÍMITE LÍQUIDO					
Nº GOLPES	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	% W _{PROM}
47	22.30	34.20	31.70	26.60	26.14
	21.50	35.20	32.40	25.69	
10	22.80	37.40	34.20	28.07	36.99
	22.20	36.50	32.00	45.92	
36	22.50	36.60	33.60	27.03	19.37
	22.30	34.70	33.40	11.71	
20	22.40	36.80	33.80	26.32	26.71
	22.50	36.10	33.20	27.10	
				LÍMITE LÍQUIDO:	26.99

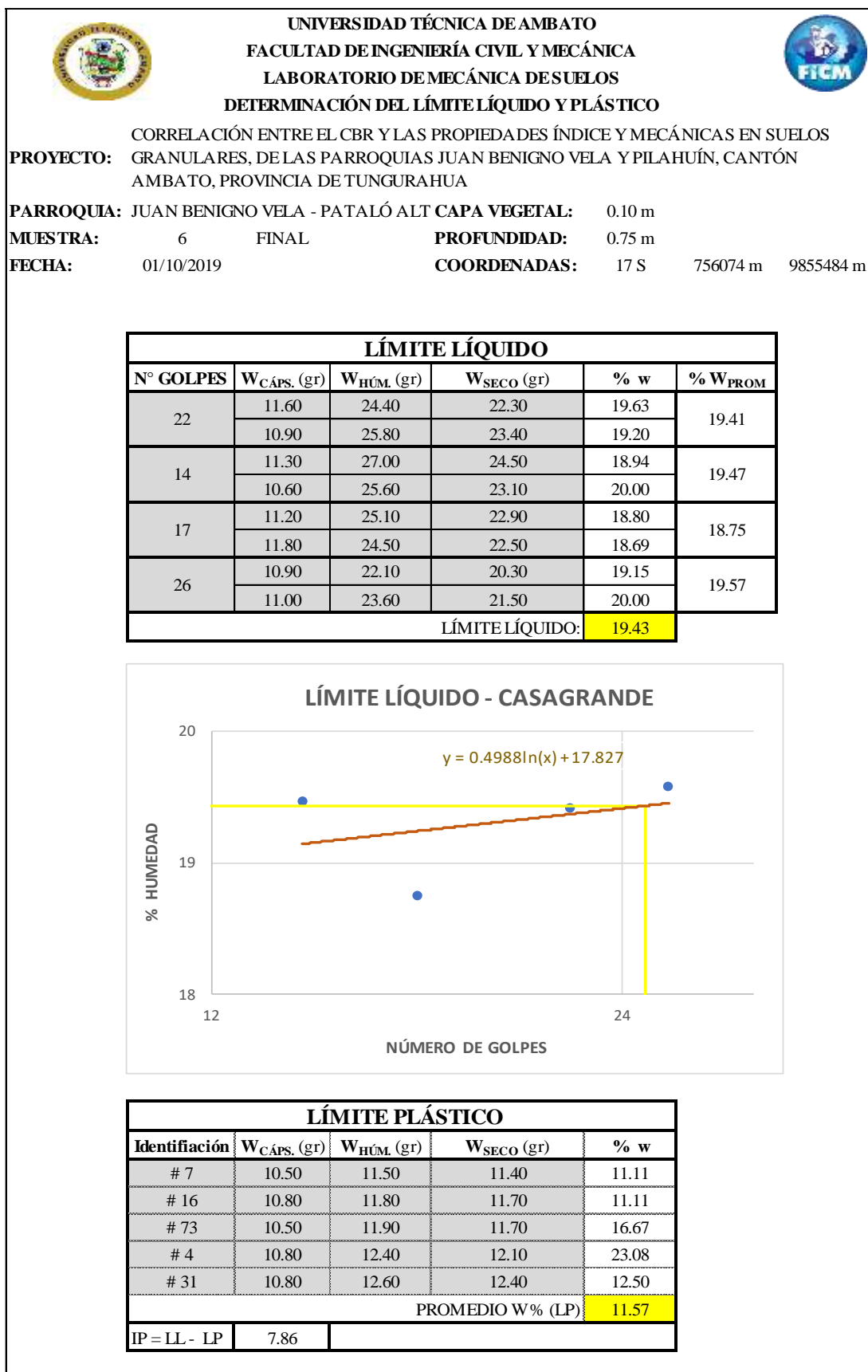
LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE



LÍMITE PLÁSTICO					
Identificación	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	
# 18	10.80	11.90	11.60	37.50	
# 13	10.50	11.80	11.50	30.00	
# 74	10.70	12.10	11.80	27.27	
# 1	10.70	12.10	11.90	16.67	
# 9	10.70	11.70	11.50	25.00	
				PROMEDIO W % (LP)	27.42
IP = LL - LP	0.00	No Plástico			

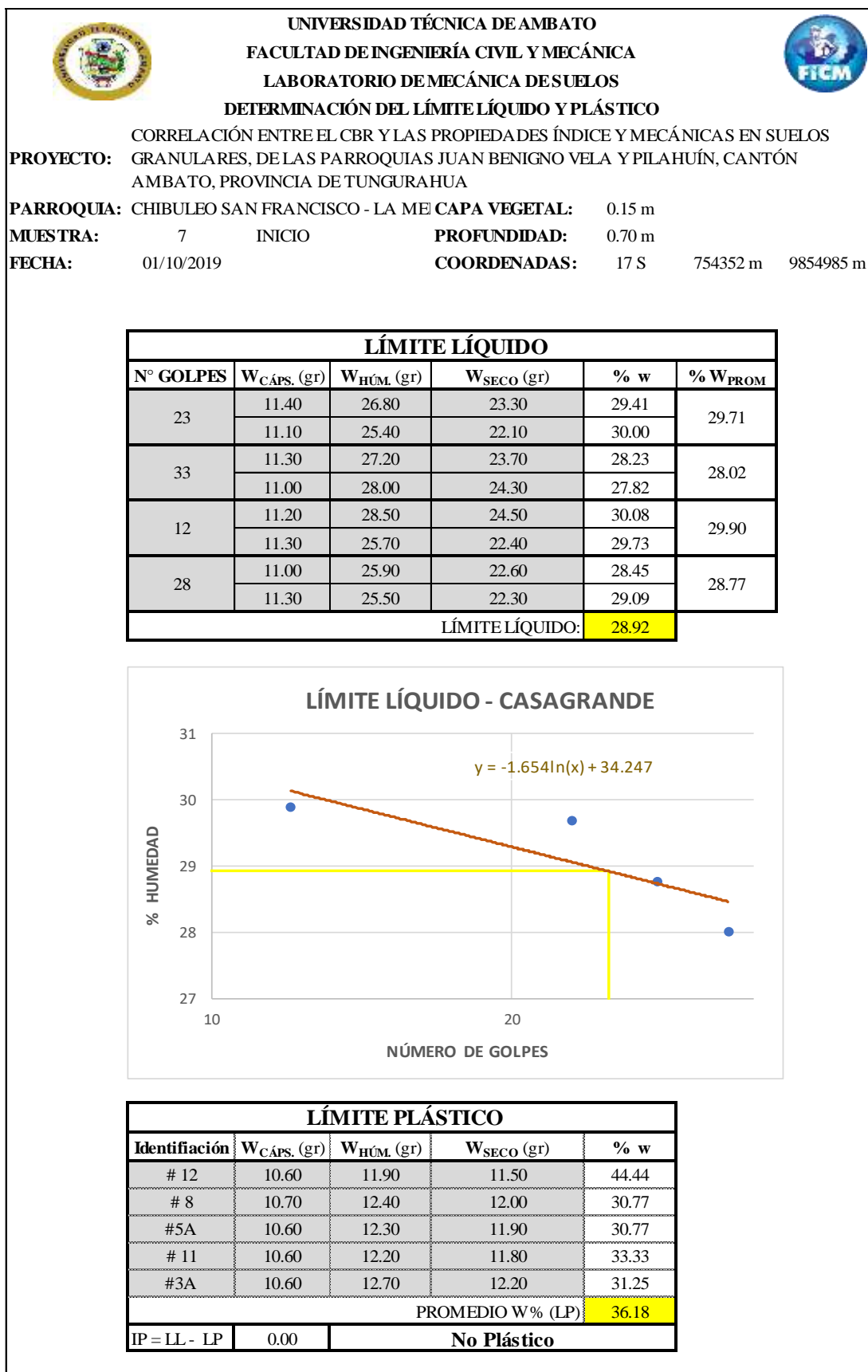
Autor: Christian González

Tabla 107. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 6



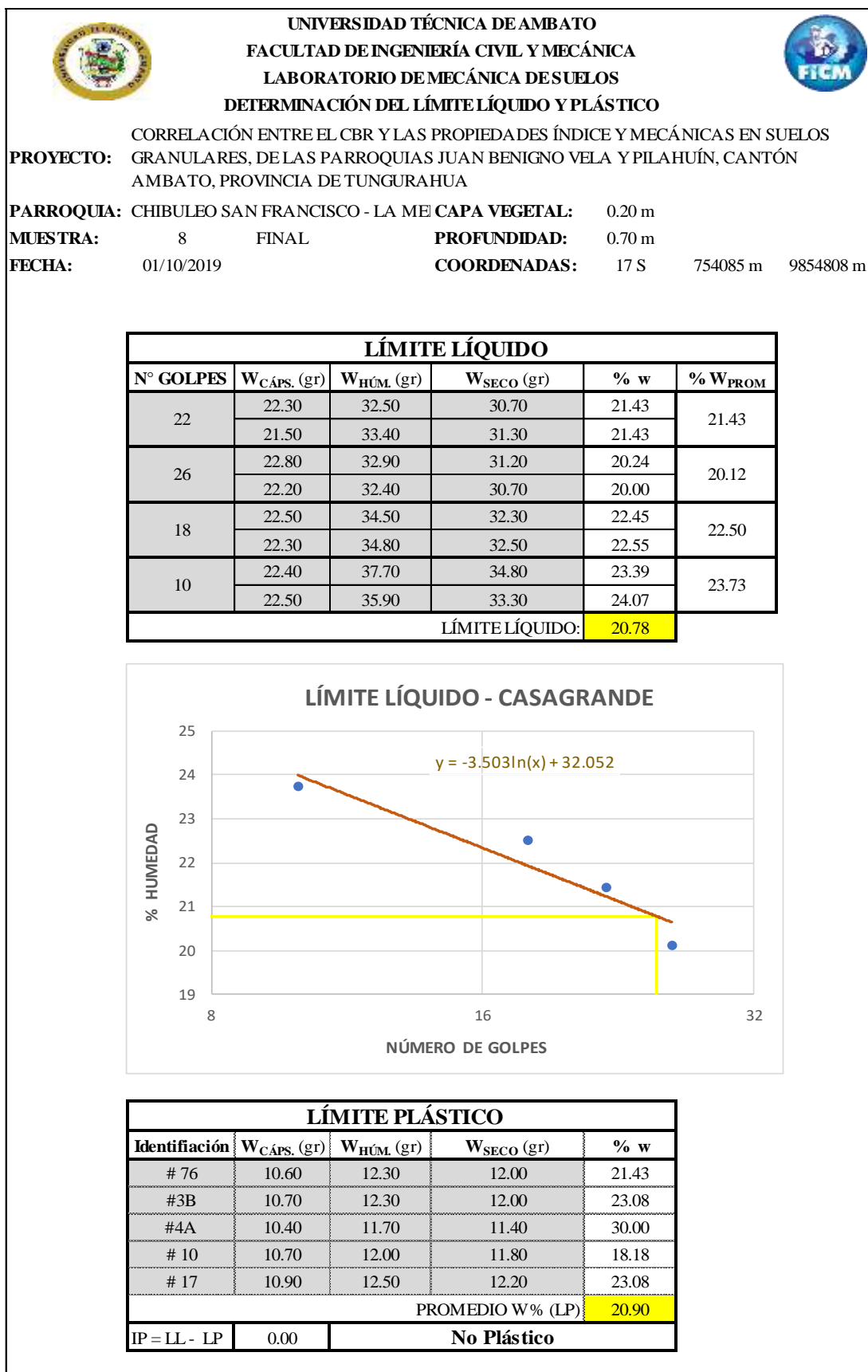
Autor: Christian González

Tabla 108. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 7





Autor: Christian González

Tabla 109. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 8



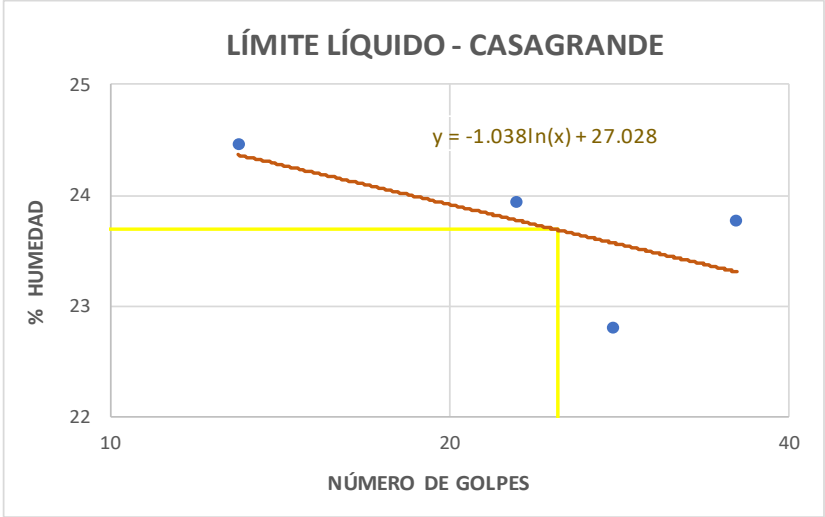
Autor: Christian González

Tabla 110. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 9

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO</p>	
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>		
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
PARROQUIA:	PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN	CAPA VEGETAL: 0.30 m
MUESTRA:	9 INICIO	PROFUNDIDAD: 0.85 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 754524 m 9856136 m

LÍMITE LÍQUIDO					
Nº GOLPES	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	% W _{PROM}
13	11.60	26.50	23.60	24.17	24.48
	10.90	25.50	22.60	24.79	
28	11.30	23.70	21.40	22.77	22.81
	10.60	23.50	21.10	22.86	
36	11.20	25.90	23.10	23.53	23.78
	11.80	27.80	24.70	24.03	
23	10.90	26.50	23.50	23.81	23.94
	11.00	24.40	21.80	24.07	
				LÍMITE LÍQUIDO:	23.69

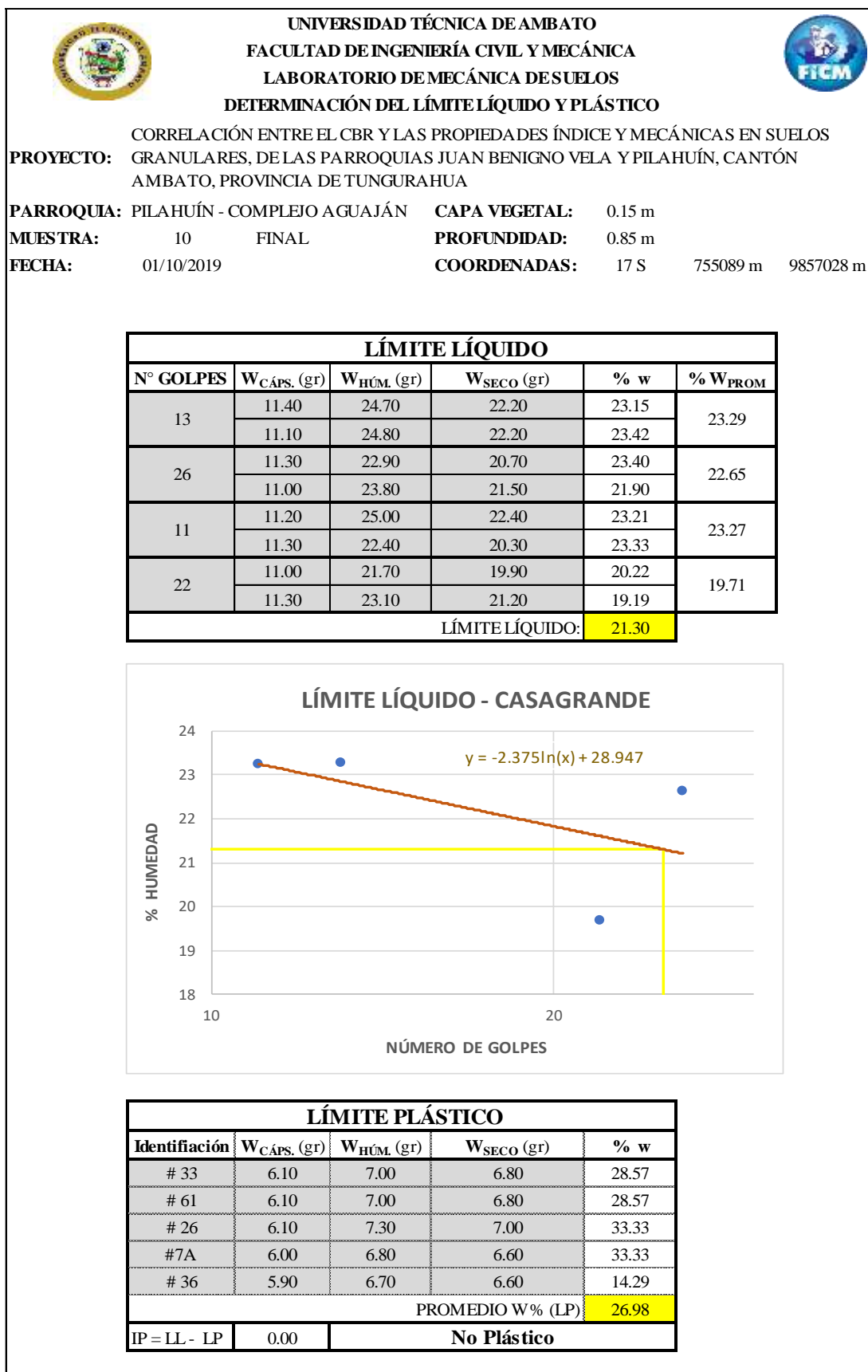
LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE



LÍMITE PLÁSTICO					
Identificación	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	
# 82	10.70	12.00	11.80	18.18	
# 15	10.60	12.10	11.80	25.00	
# 14	10.70	12.10	11.80	27.27	
# 5	10.60	12.70	12.30	23.53	
# 3	10.50	12.20	11.90	21.43	
				PROMEDIO W % (LP)	23.08
IP = LL - LP	0.60				



Autor: Christian González

Tabla 111. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 10



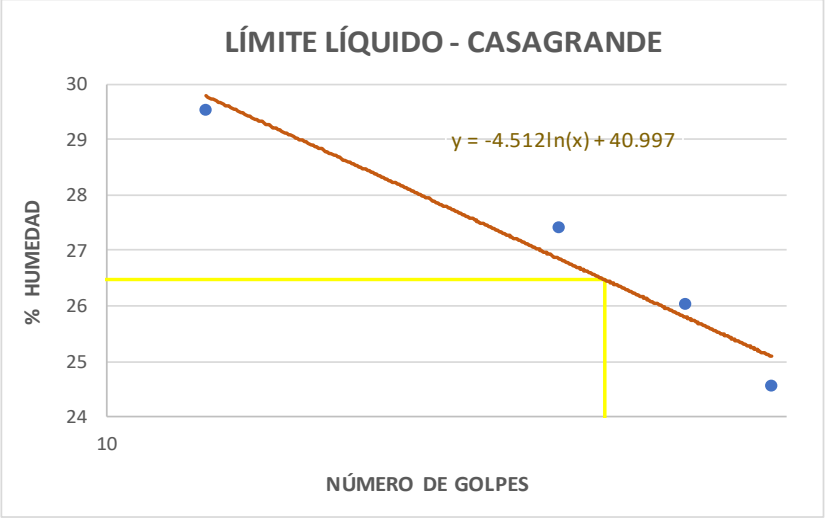
Autor: Christian González

Tabla 112. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 11

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO</p>	
<p>CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>		
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA	
PARROQUIA:	PILAHUÍN - PALUGSHA	CAPA VEGETAL: 0.25 m
MUESTRA:	11 INICIO	PROFUNDIDAD: 0.75 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 752855 m 9856573 m

LÍMITE LÍQUIDO					
Nº GOLPES	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	% W _{PROM}
34	22.30	32.80	30.70	25.00	24.55
	21.50	31.80	29.80	24.10	
29	22.80	35.10	32.50	26.80	26.03
	22.20	34.10	31.70	25.26	
23	22.50	34.90	32.20	27.84	27.40
	22.30	33.60	31.20	26.97	
12	22.40	36.50	33.30	29.36	29.54
	22.50	36.90	33.60	29.73	
				LÍMITE LÍQUIDO:	26.47

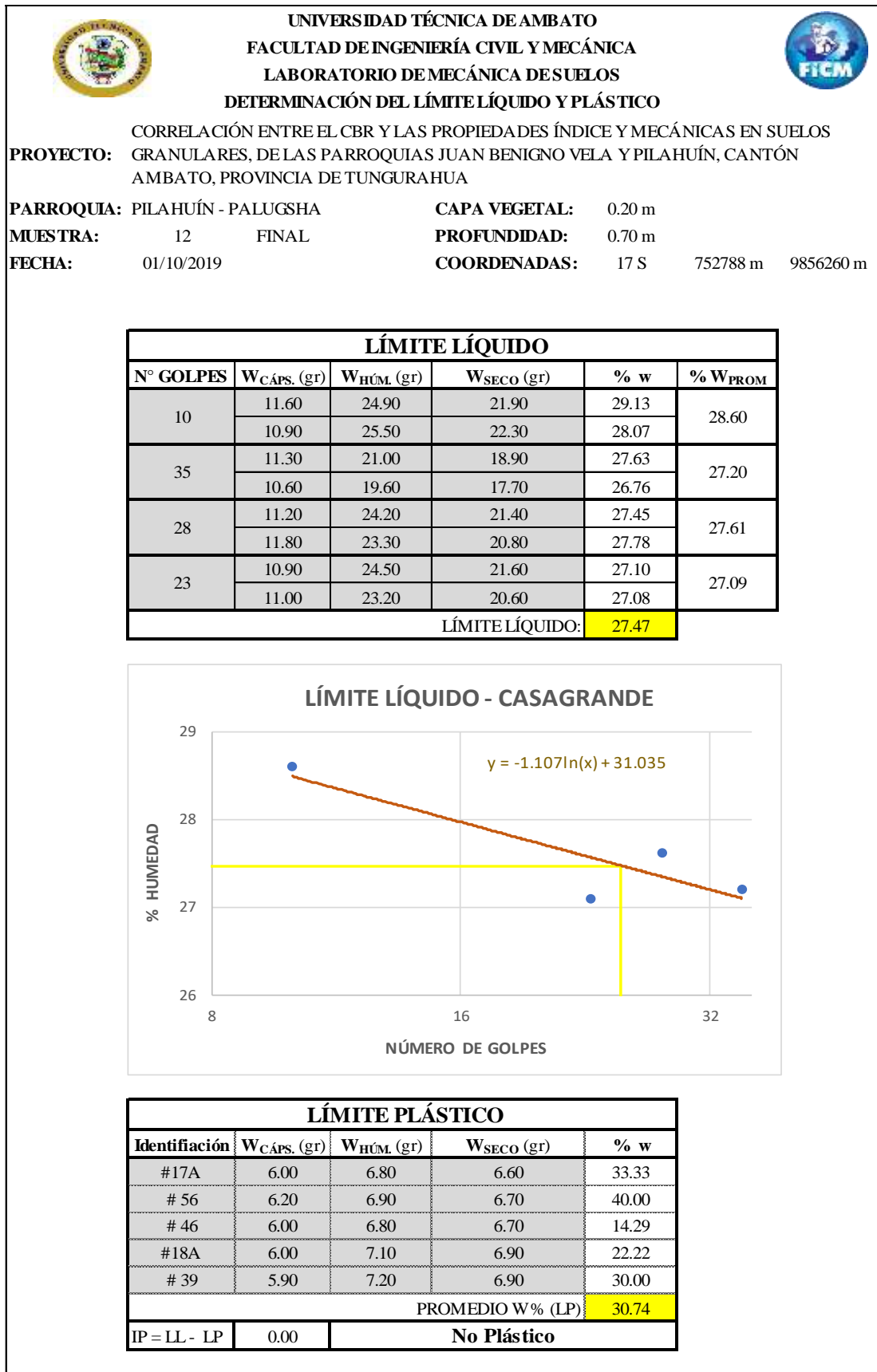
LÍMITE LÍQUIDO - CASAGRANDE



LÍMITE PLÁSTICO					
Identificación	W _{CÁPS.} (gr)	W _{HÚM.} (gr)	W _{SECO} (gr)	% w	
# 57	6.00	6.90	6.70	28.57	
# 83	6.00	7.00	6.80	25.00	
# 35	6.00	7.10	6.80	37.50	
# 54	6.00	6.90	6.70	28.57	
# 34	6.20	7.10	6.90	28.57	
				PROMEDIO W % (LP)	30.36
IP = LL - LP	0.00	No Plástico			

Autor: Christian González

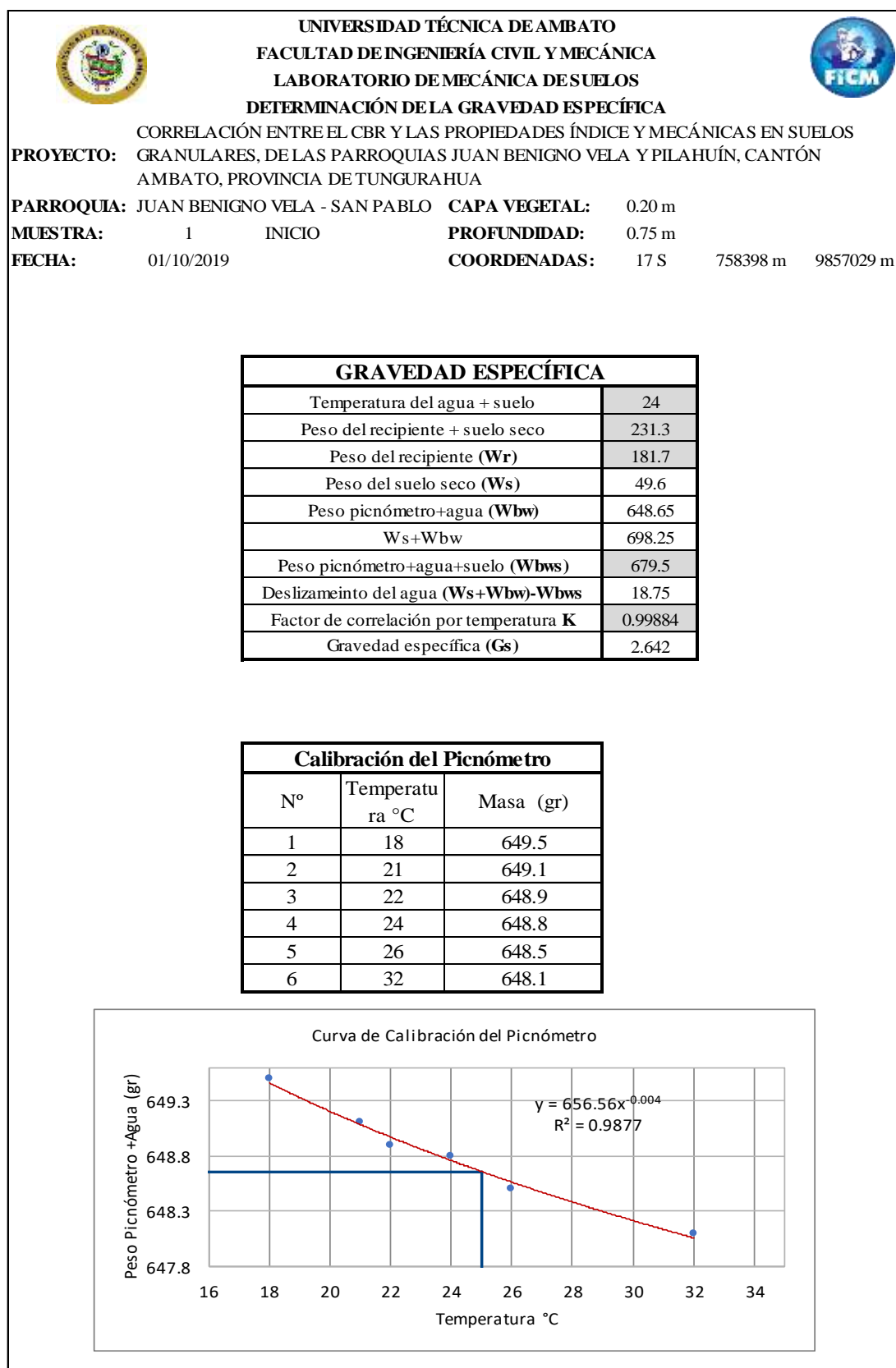
Tabla 113. Tabla de determinación del límite líquido y plástico del pozo 12



Autor: Christian González

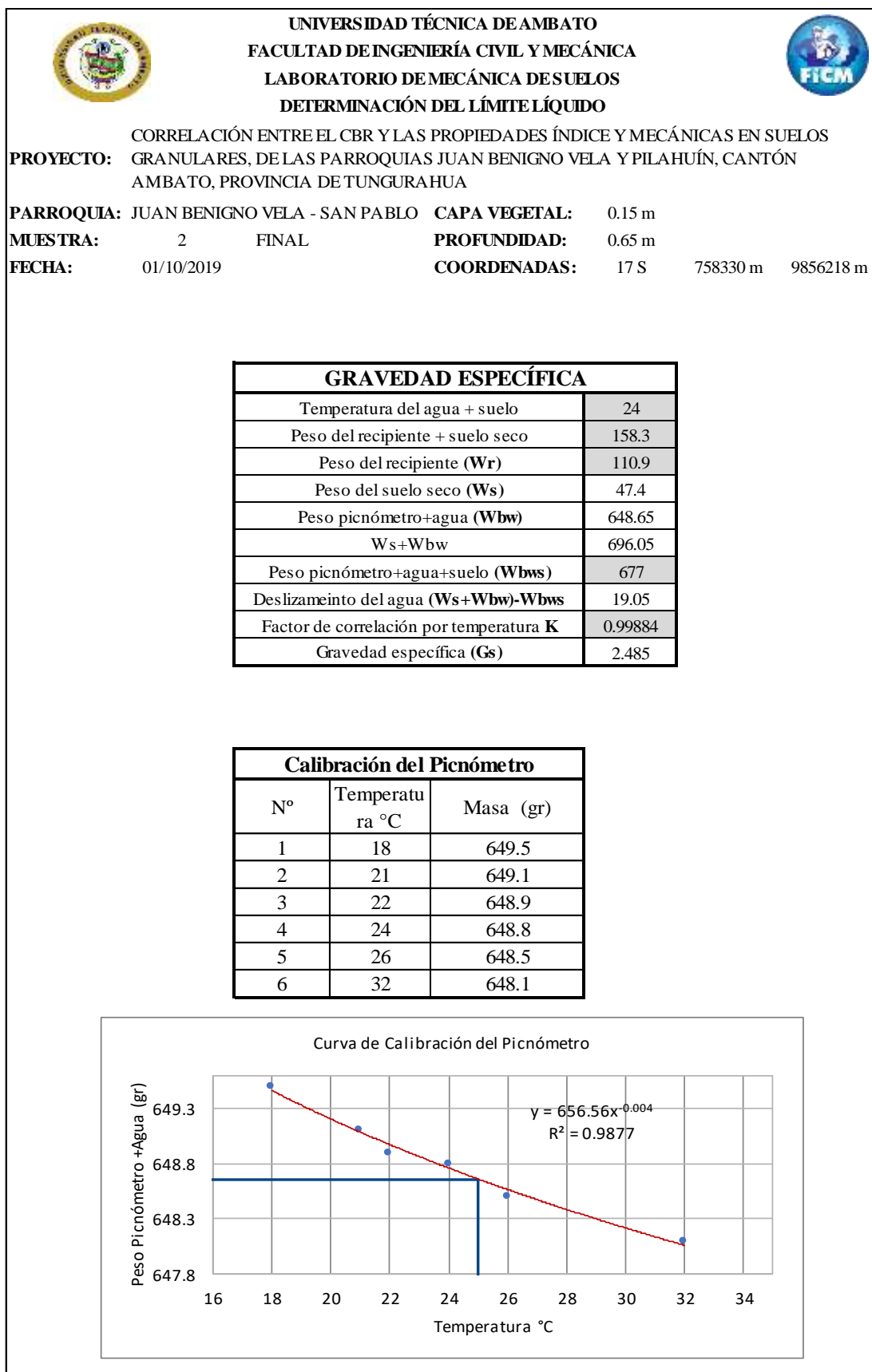
GRAVEDAD ESPECÍFICA

Tabla 114. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 1



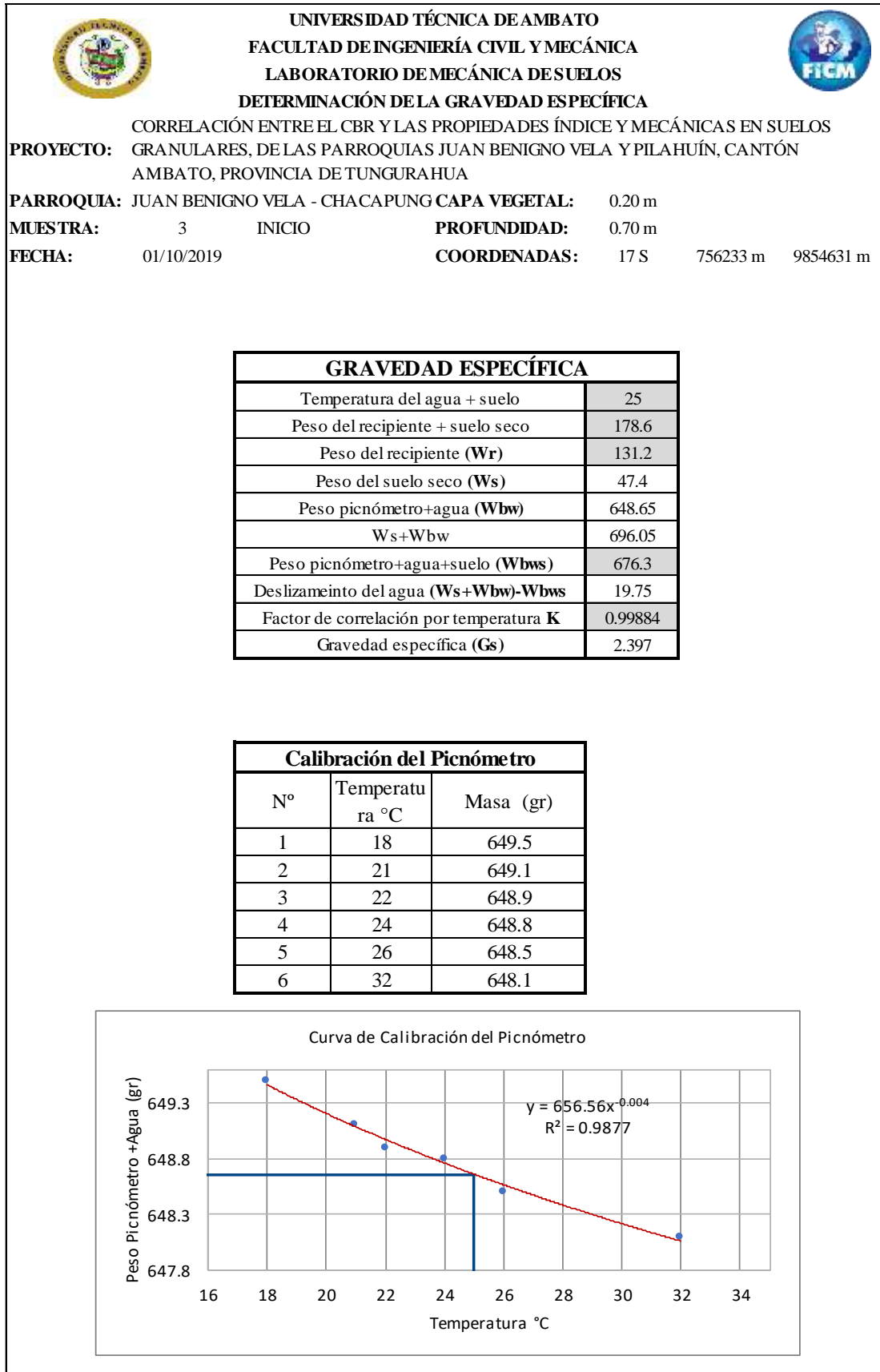
Autor: Christian González

Tabla 115. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 2



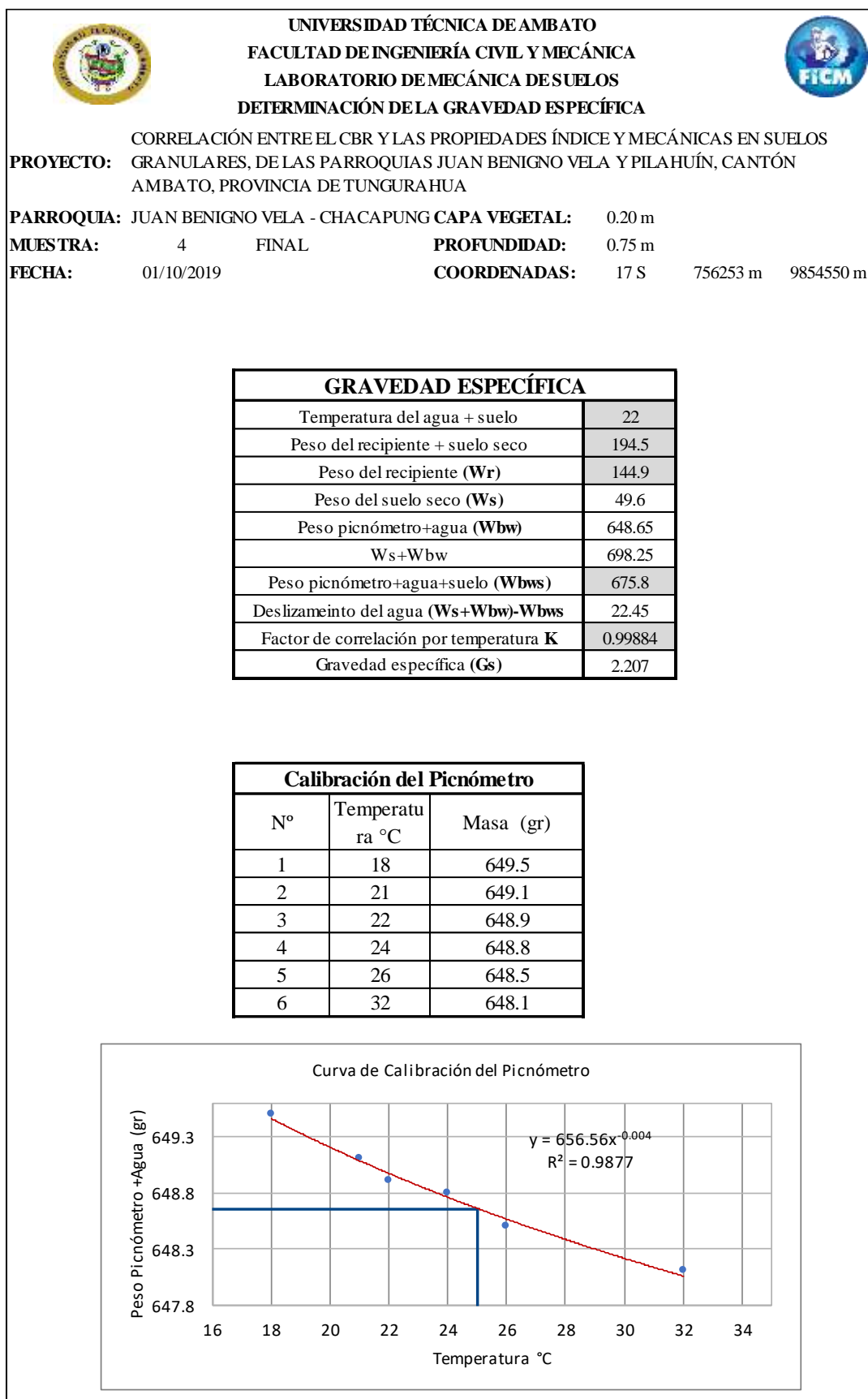
Autor: Christian González

Tabla 116. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 3



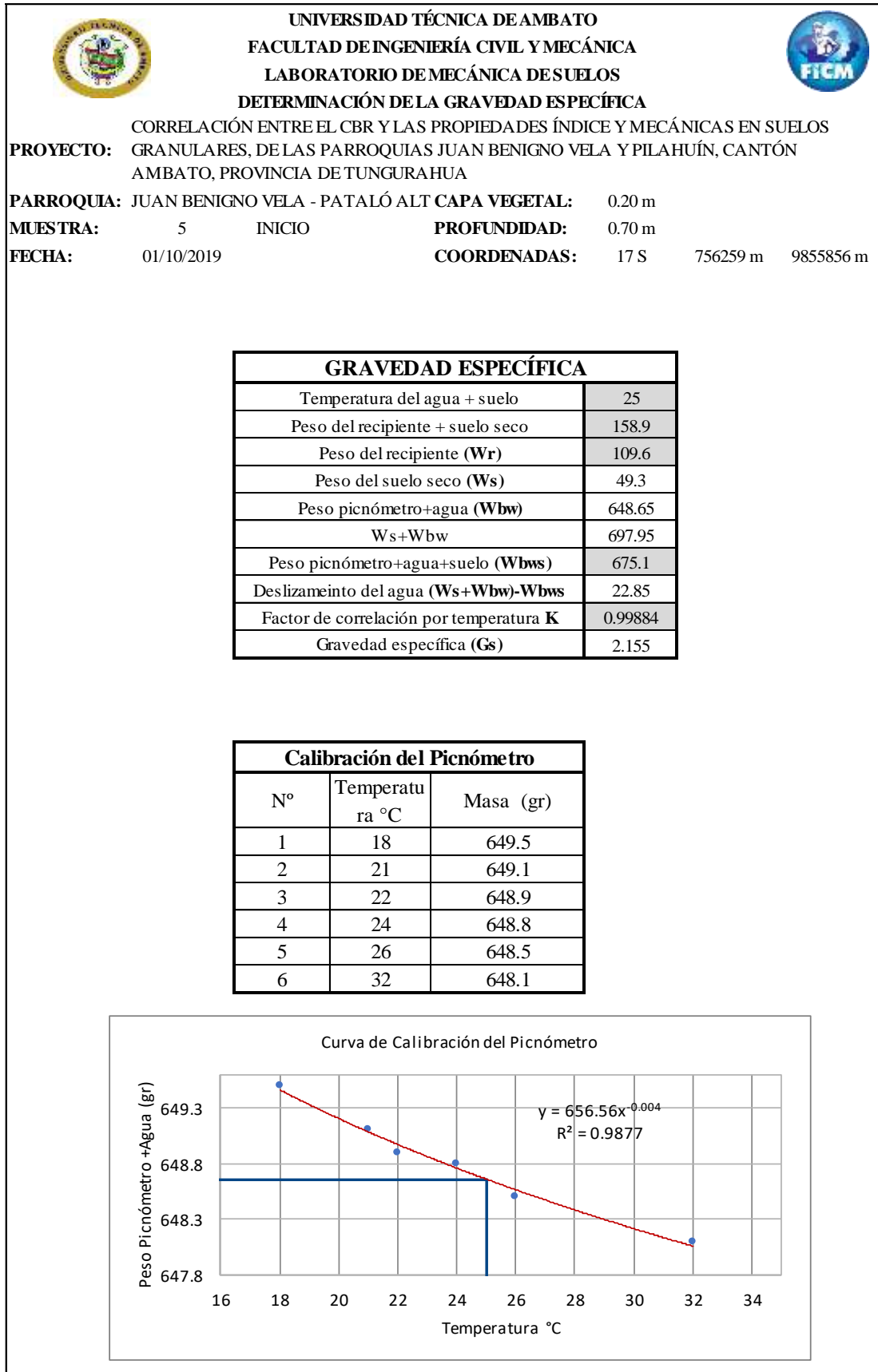
Autor: Christian González

Tabla 117. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 4



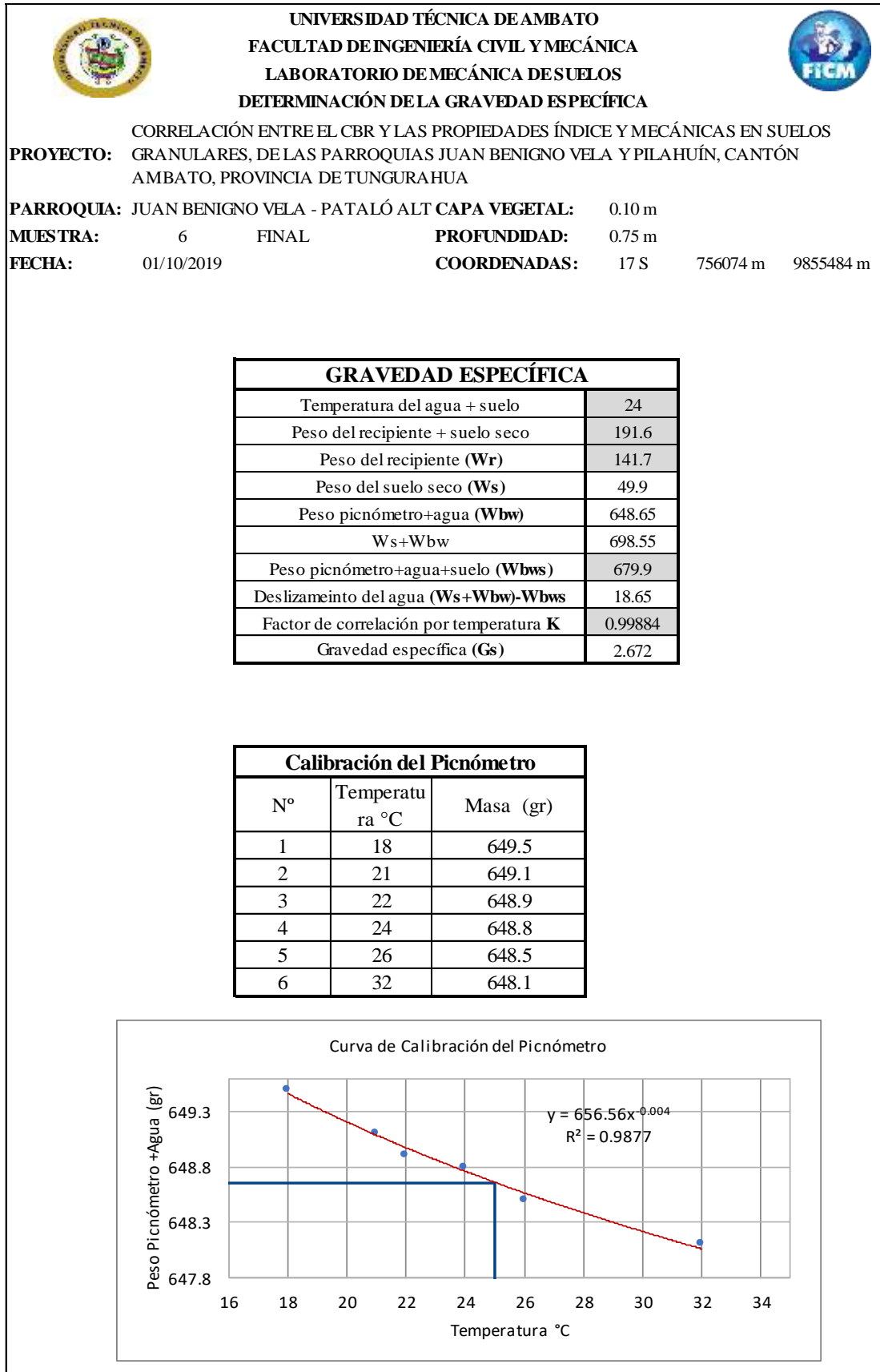
Autor: Christian González

Tabla 118. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 5



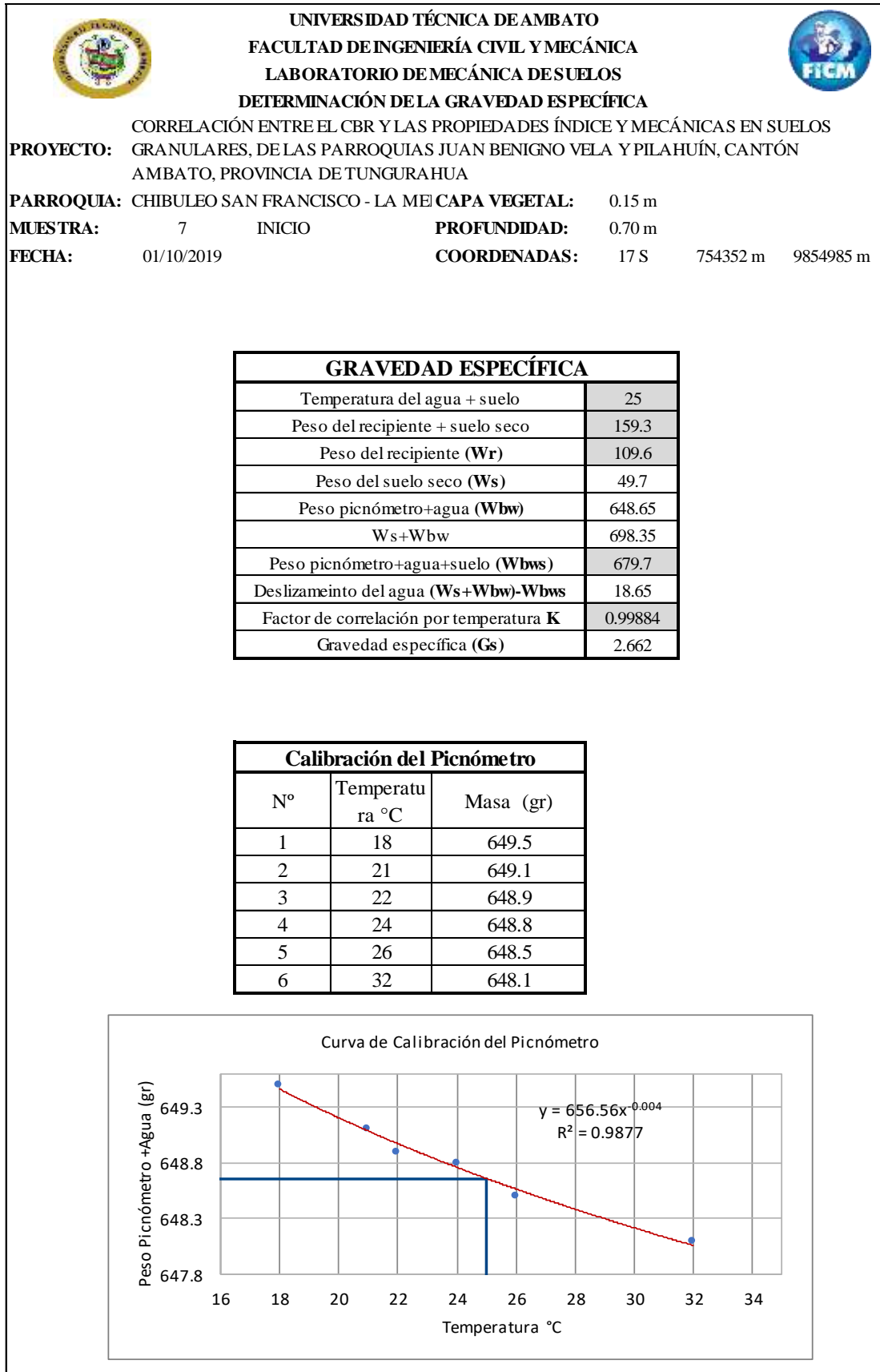
Autor: Christian González

Tabla 119. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 6



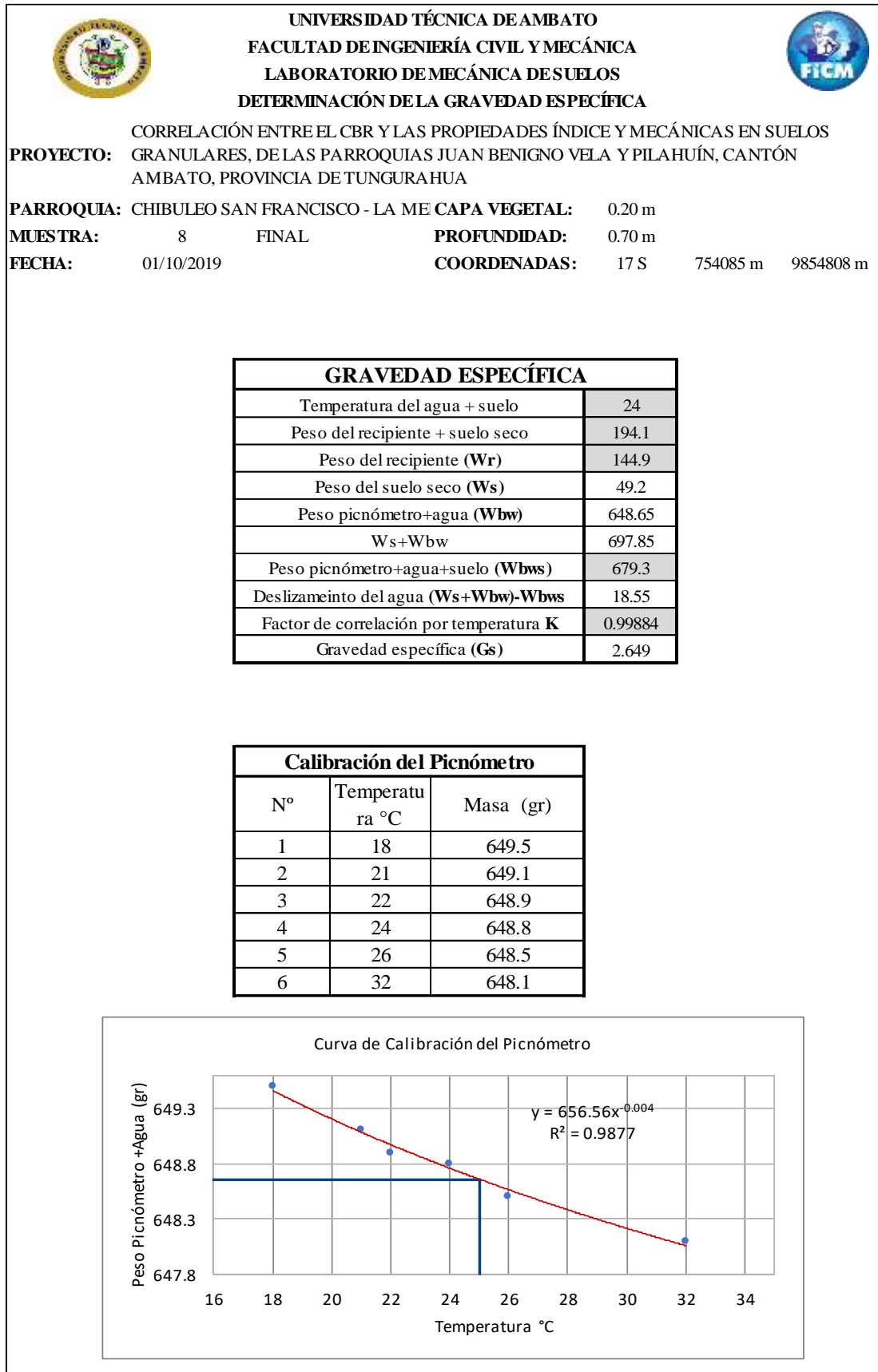
Autor: Christian González

Tabla 120. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 7



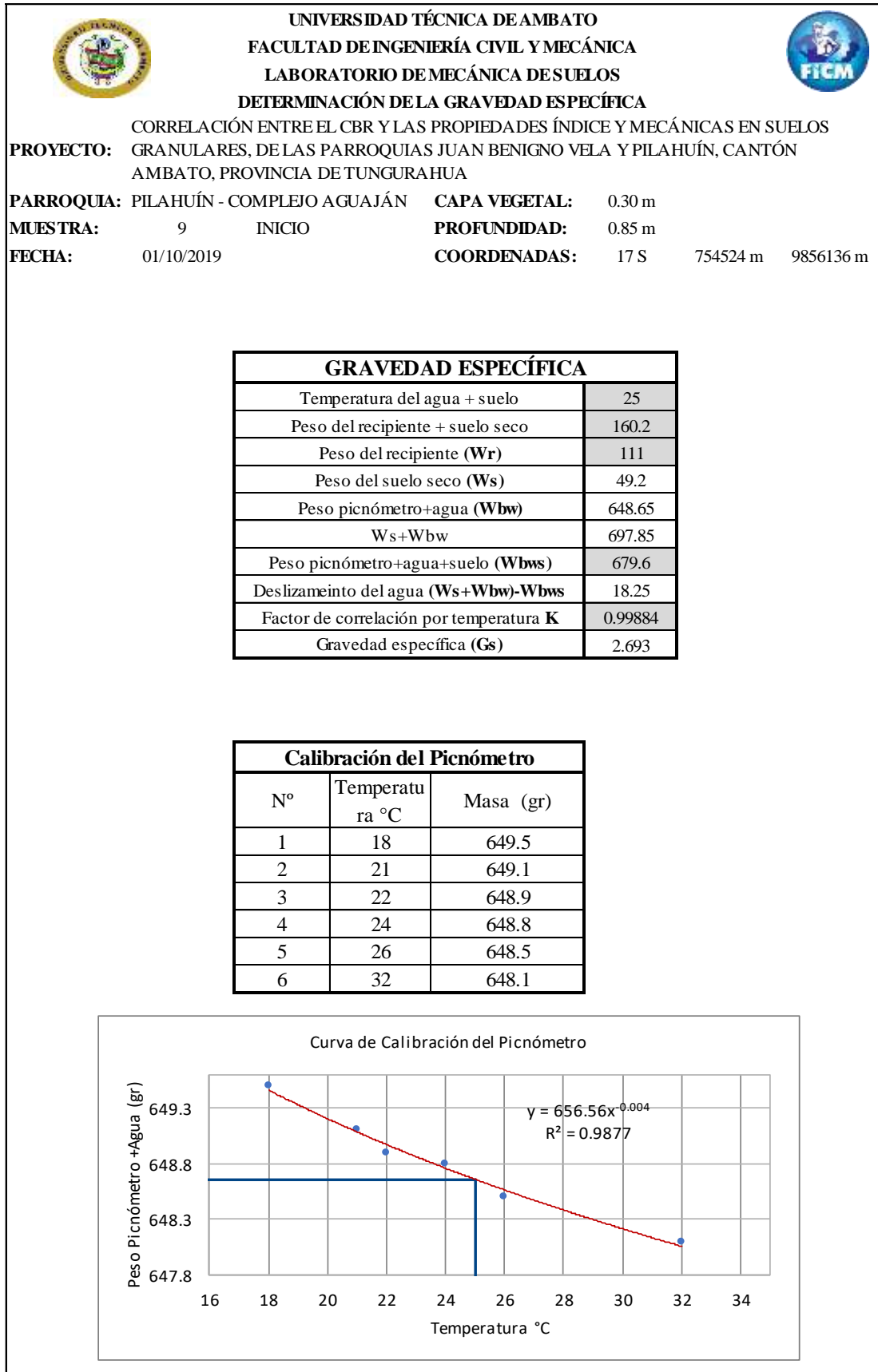
Autor: Christian González

Tabla 121. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 8



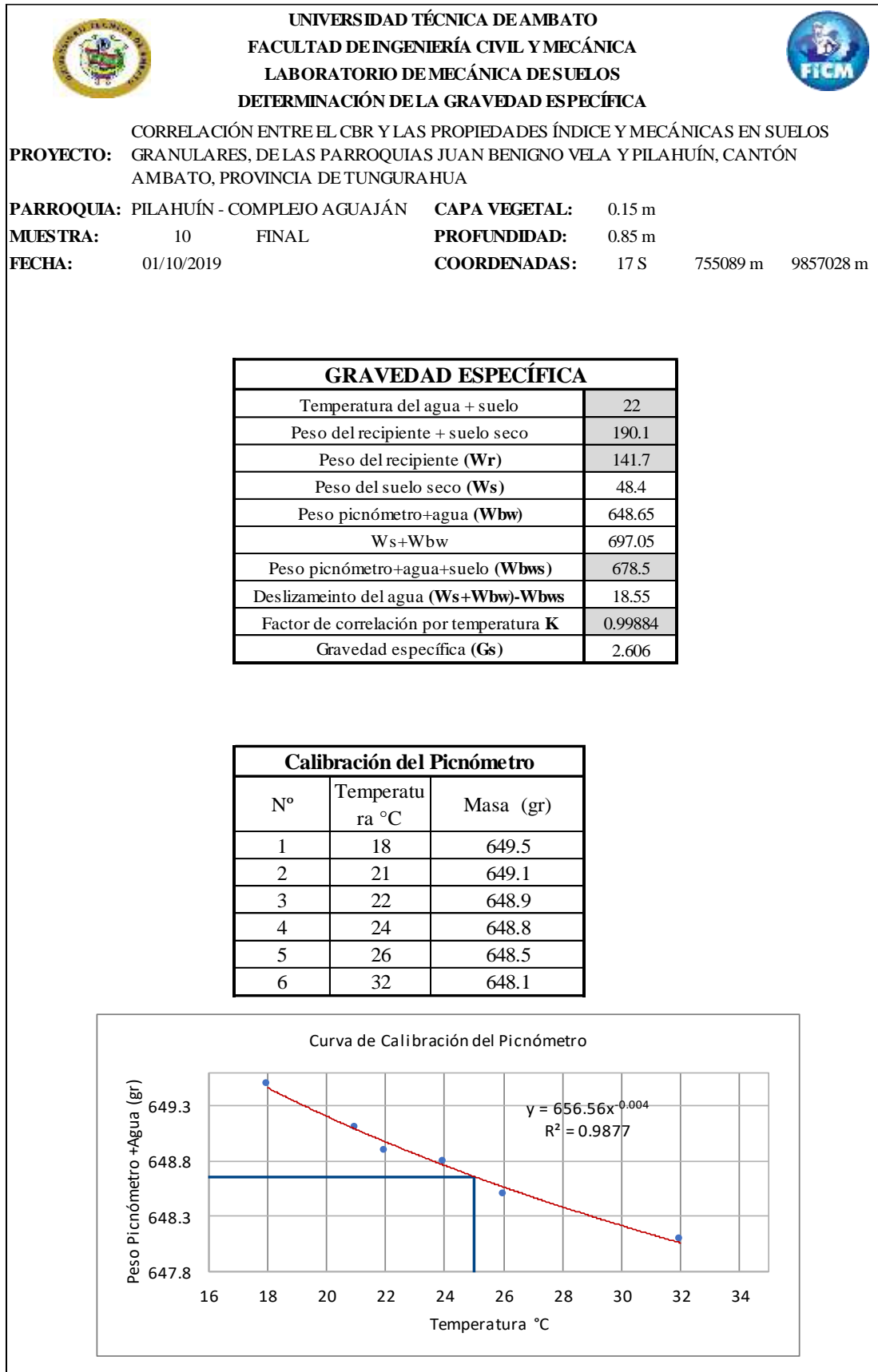
Autor: Christian González

Tabla 122. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 9



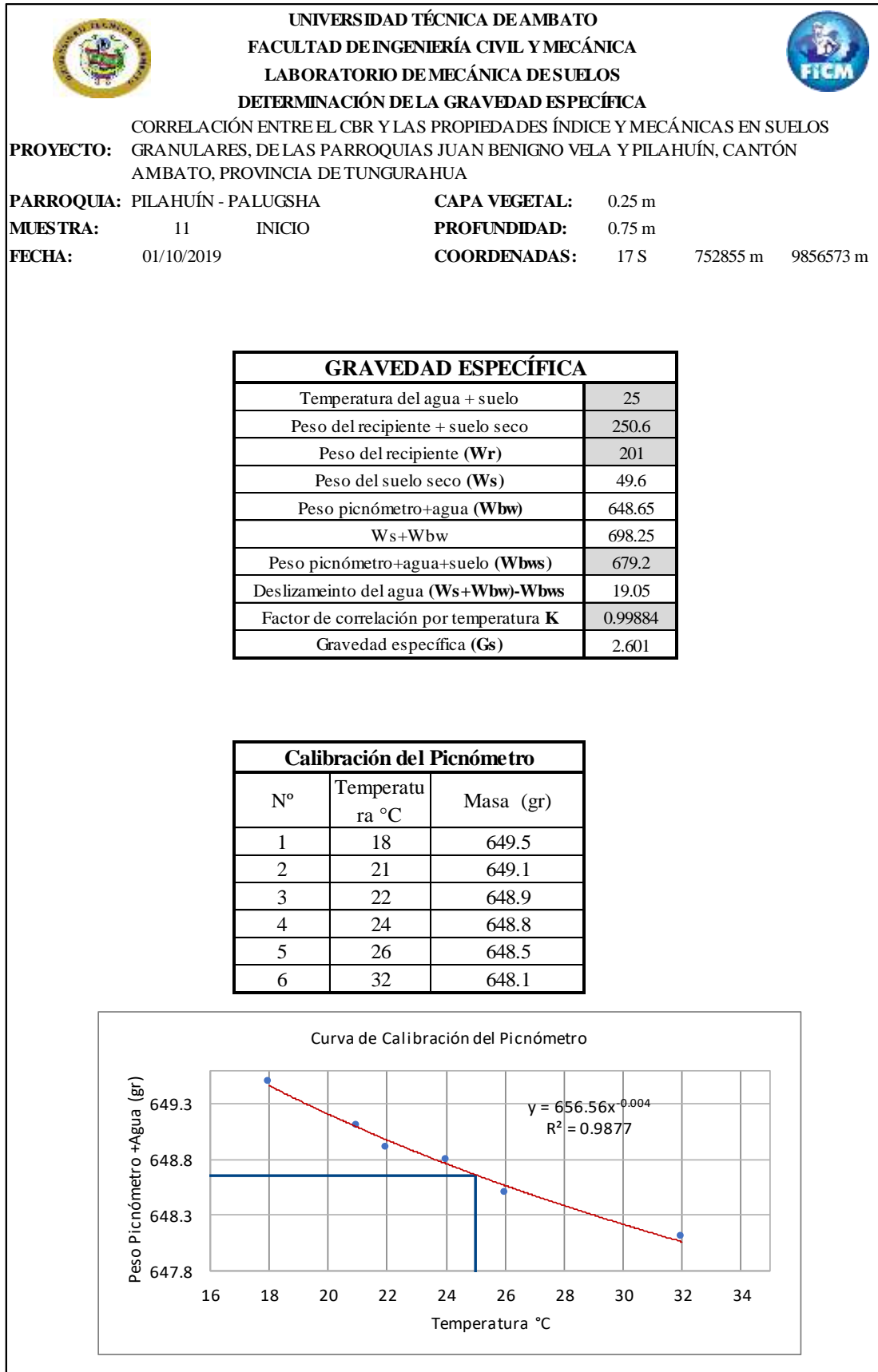
Autor: Christian González

Tabla 123. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 10



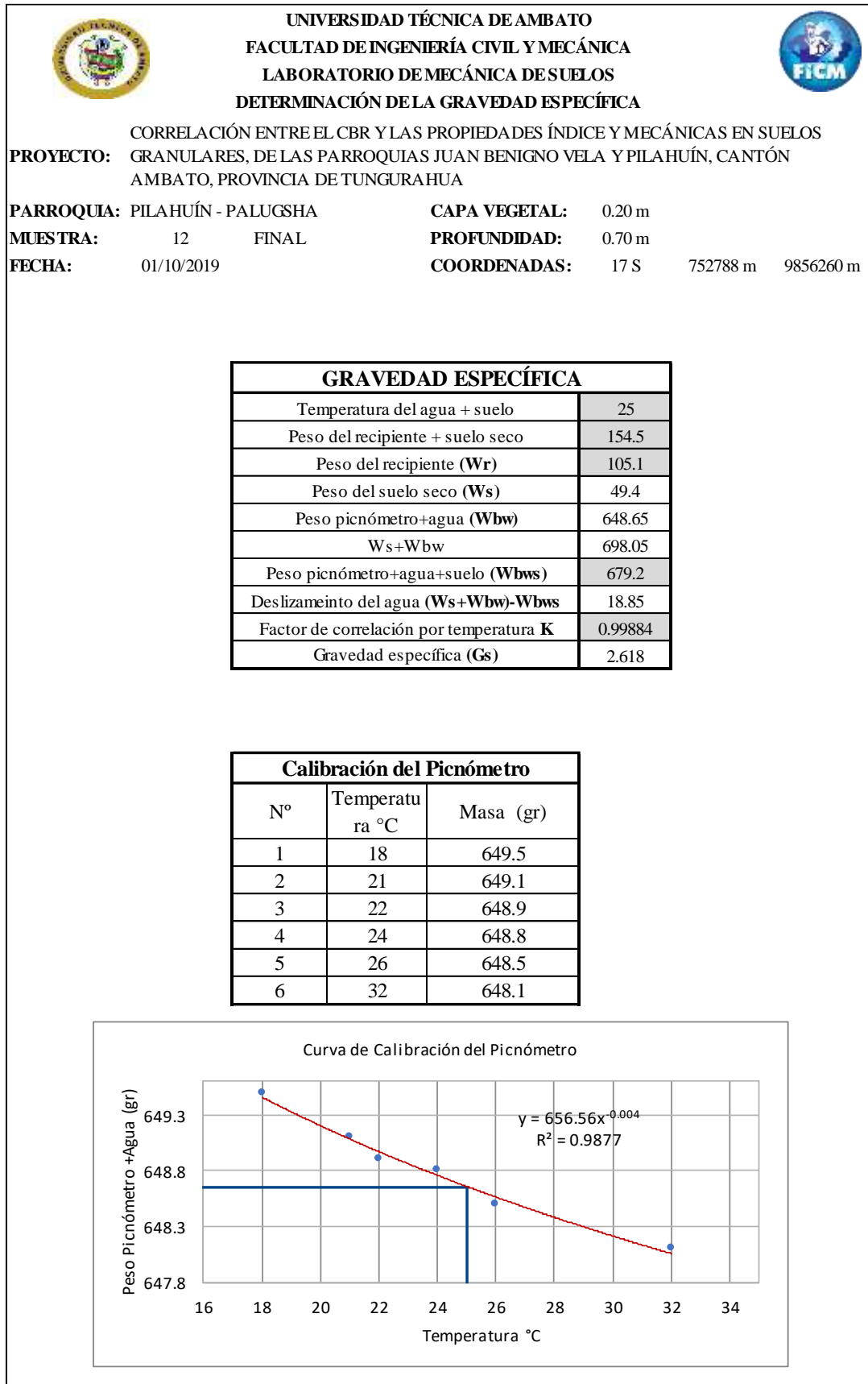
Autor: Christian González

Tabla 124. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 11



Autor: Christian González

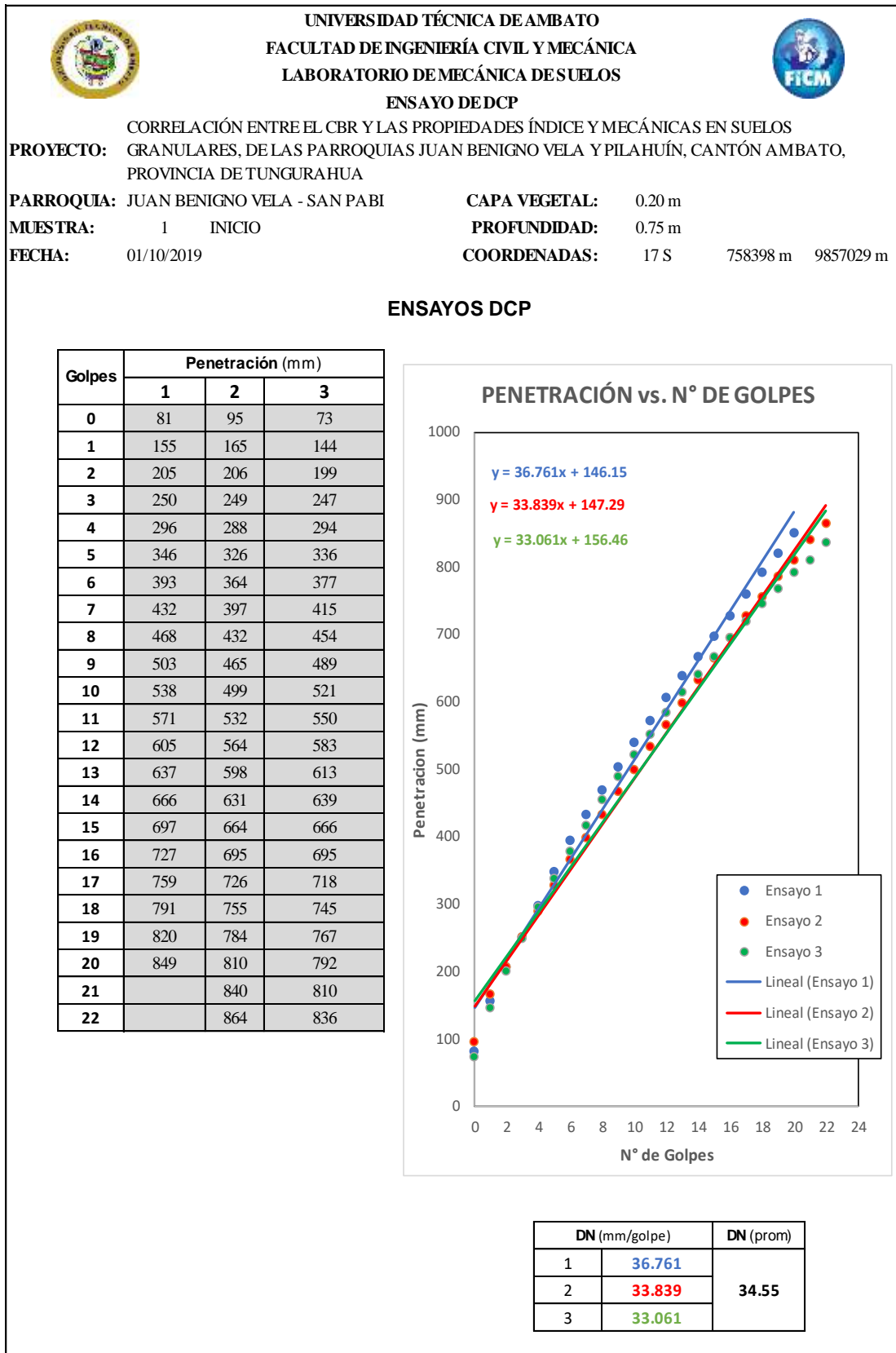
Tabla 125. Tabla de determinación de la gravedad específica del pozo 12



Autor: Christian González

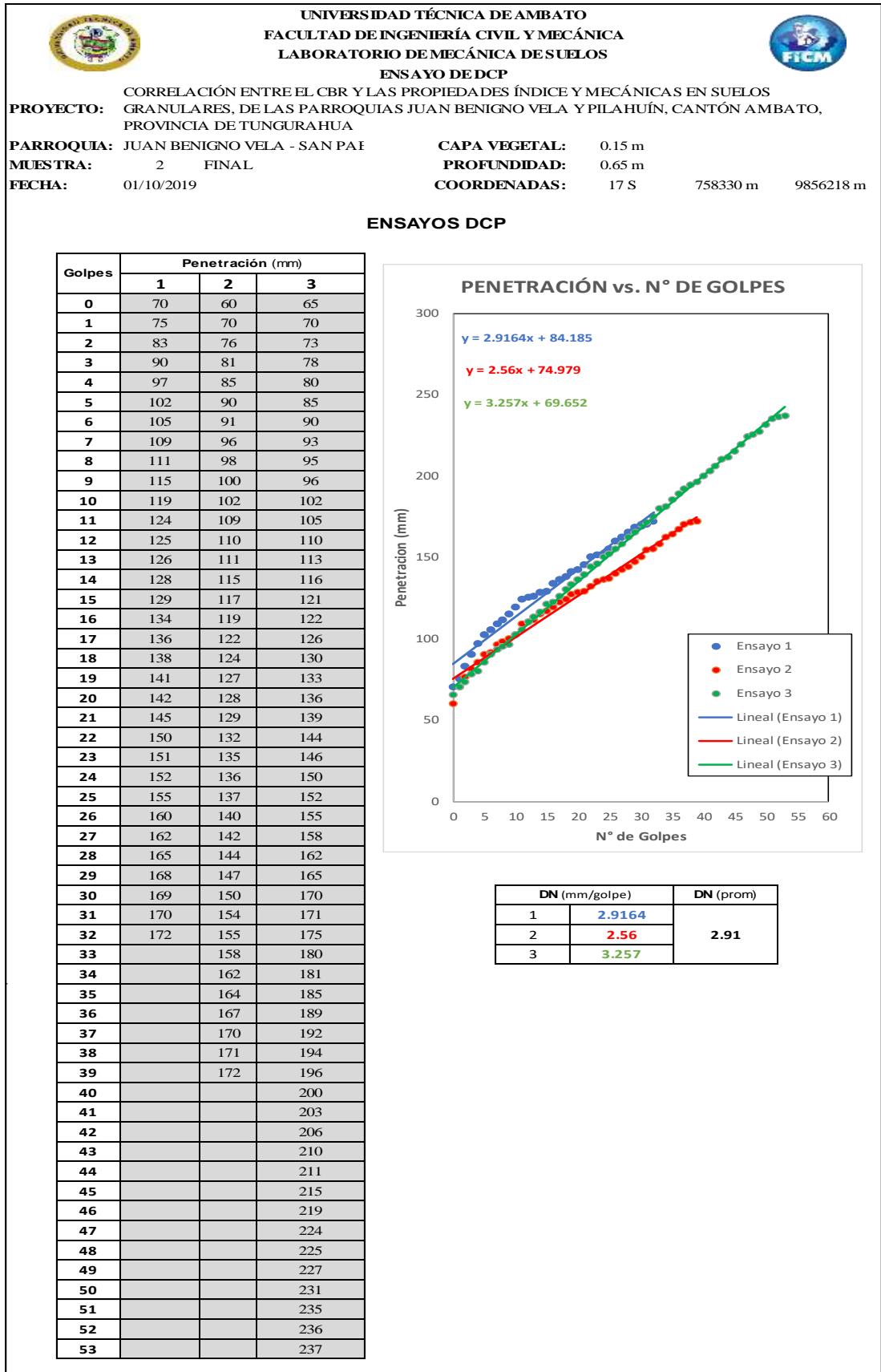
DCP

Tabla 126. Tabla de ensayo de DCP del pozo 1



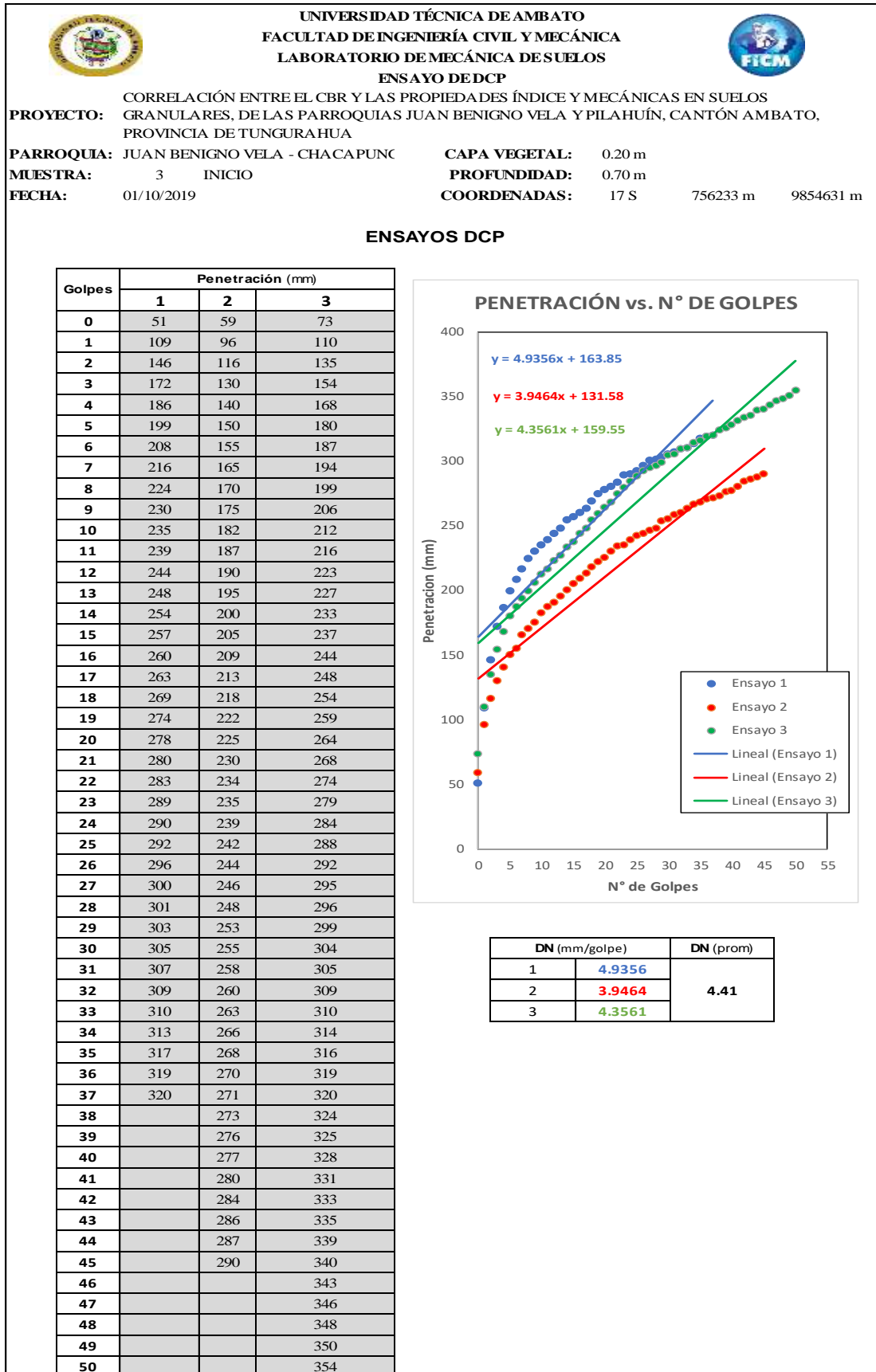
Autor: Christian González

Tabla 127. Tabla de ensayo de DCP del pozo 2



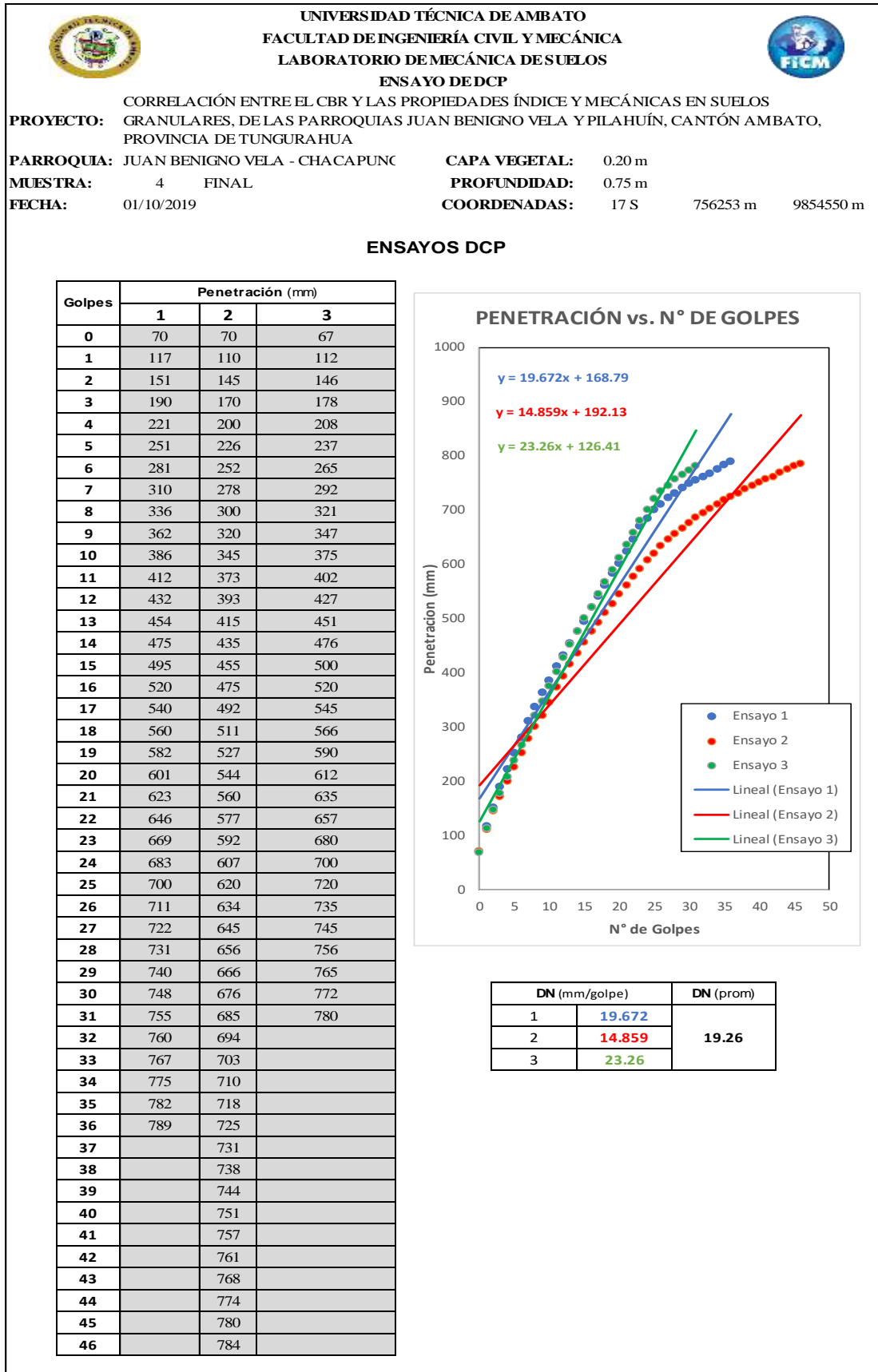
Autor: Christian González

Tabla 128. Tabla de ensayo de DCP del pozo 3



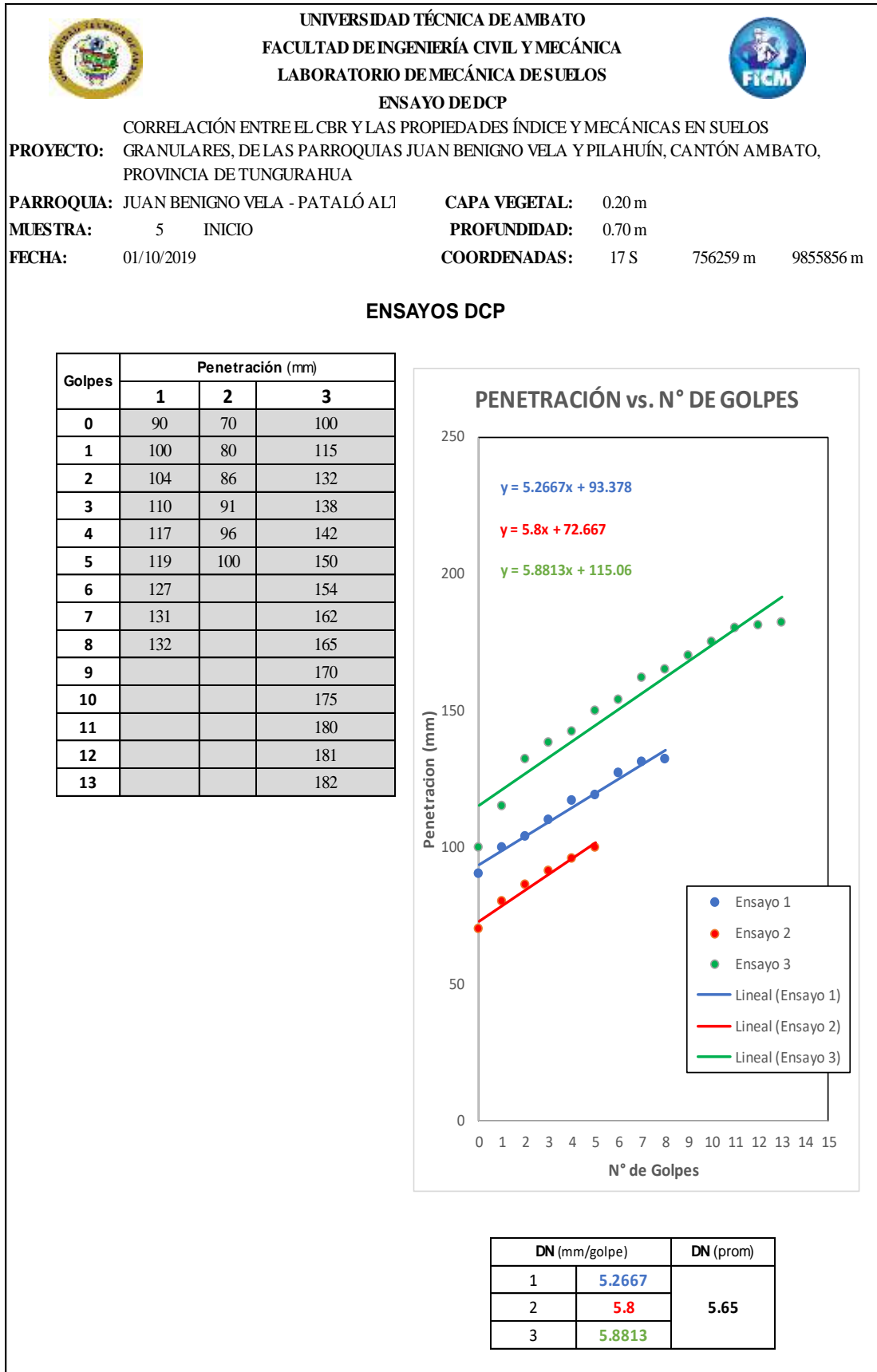
Autor: Christian González

Tabla 129. Tabla de ensayo de DCP del pozo 4



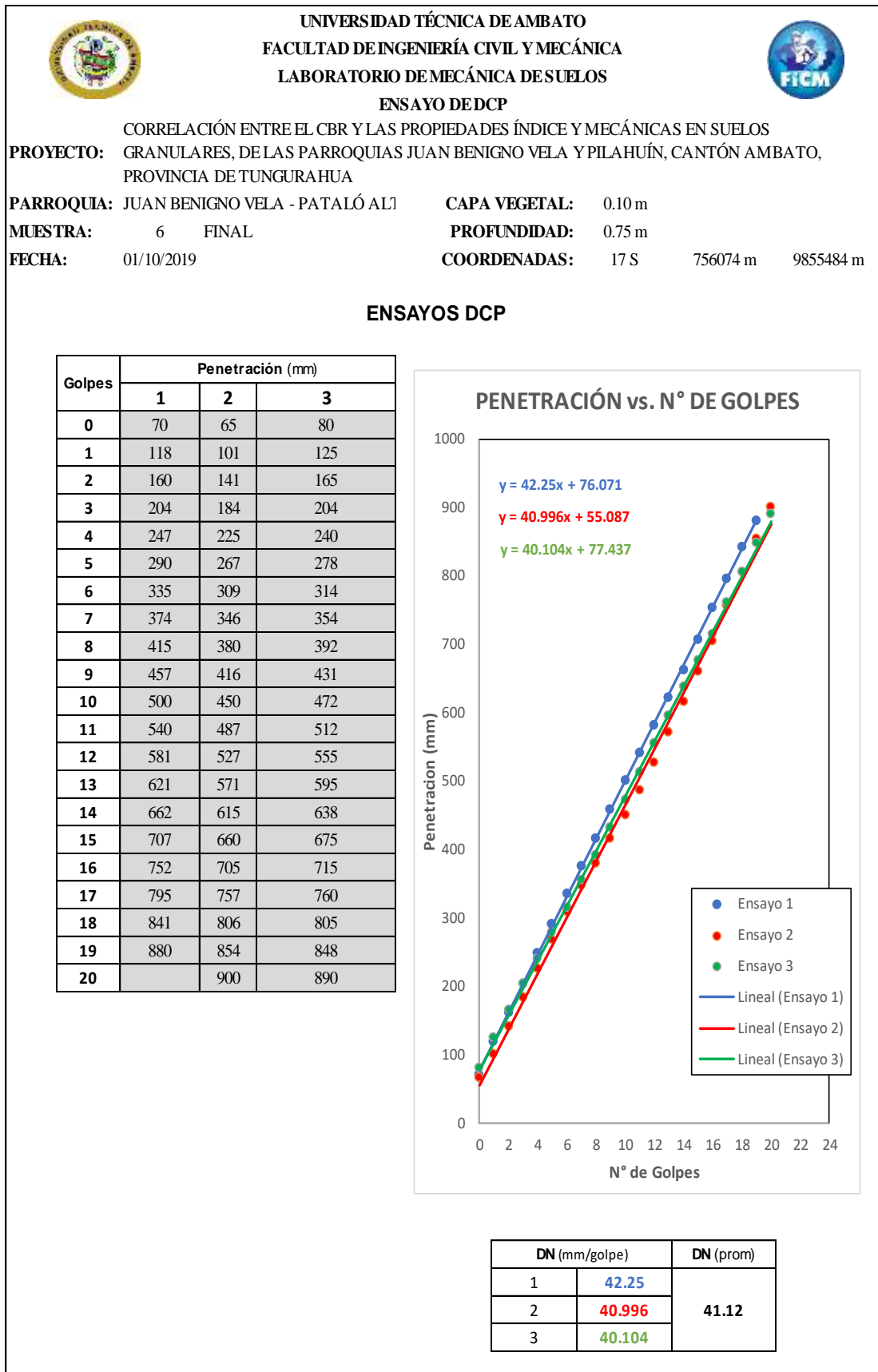
Autor: Christian González

Tabla 130. Tabla de ensayo de DCP del pozo 5



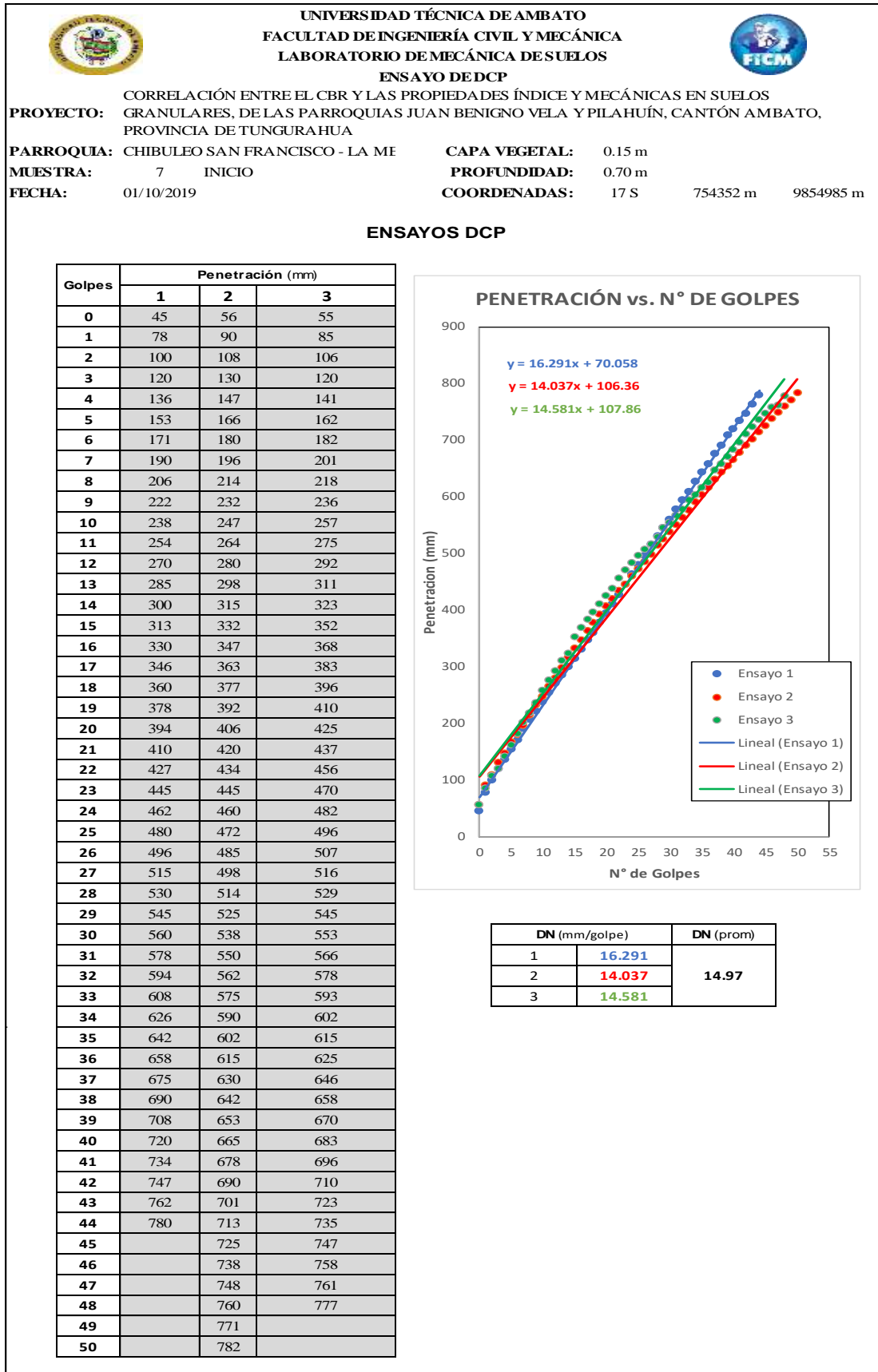
Autor: Christian González

Tabla 131. Tabla de ensayo de DCP del pozo 6



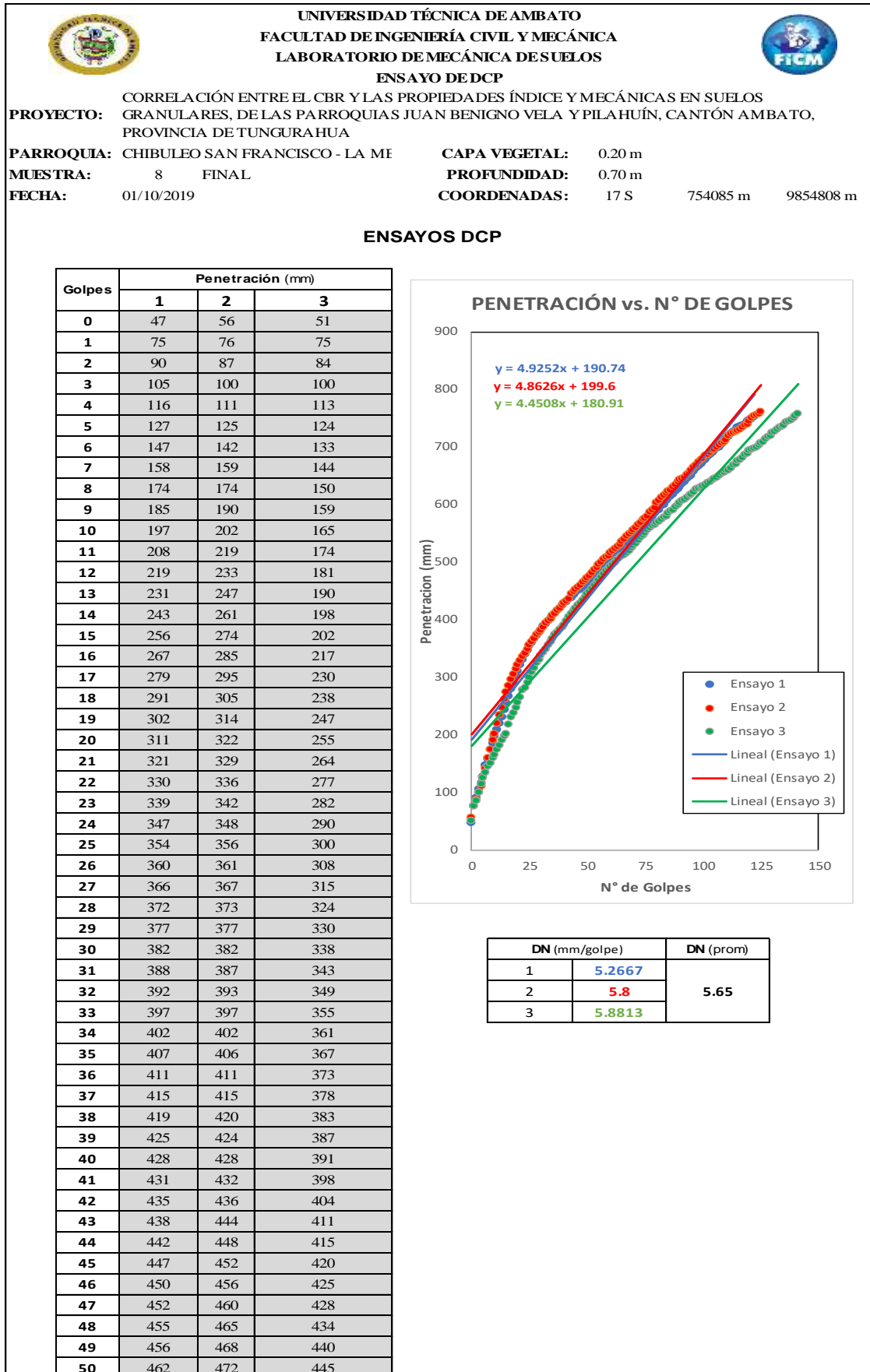
Autor: Christian González

Tabla 132. Tabla de ensayo de DCP del pozo 7



Autor: Christian González

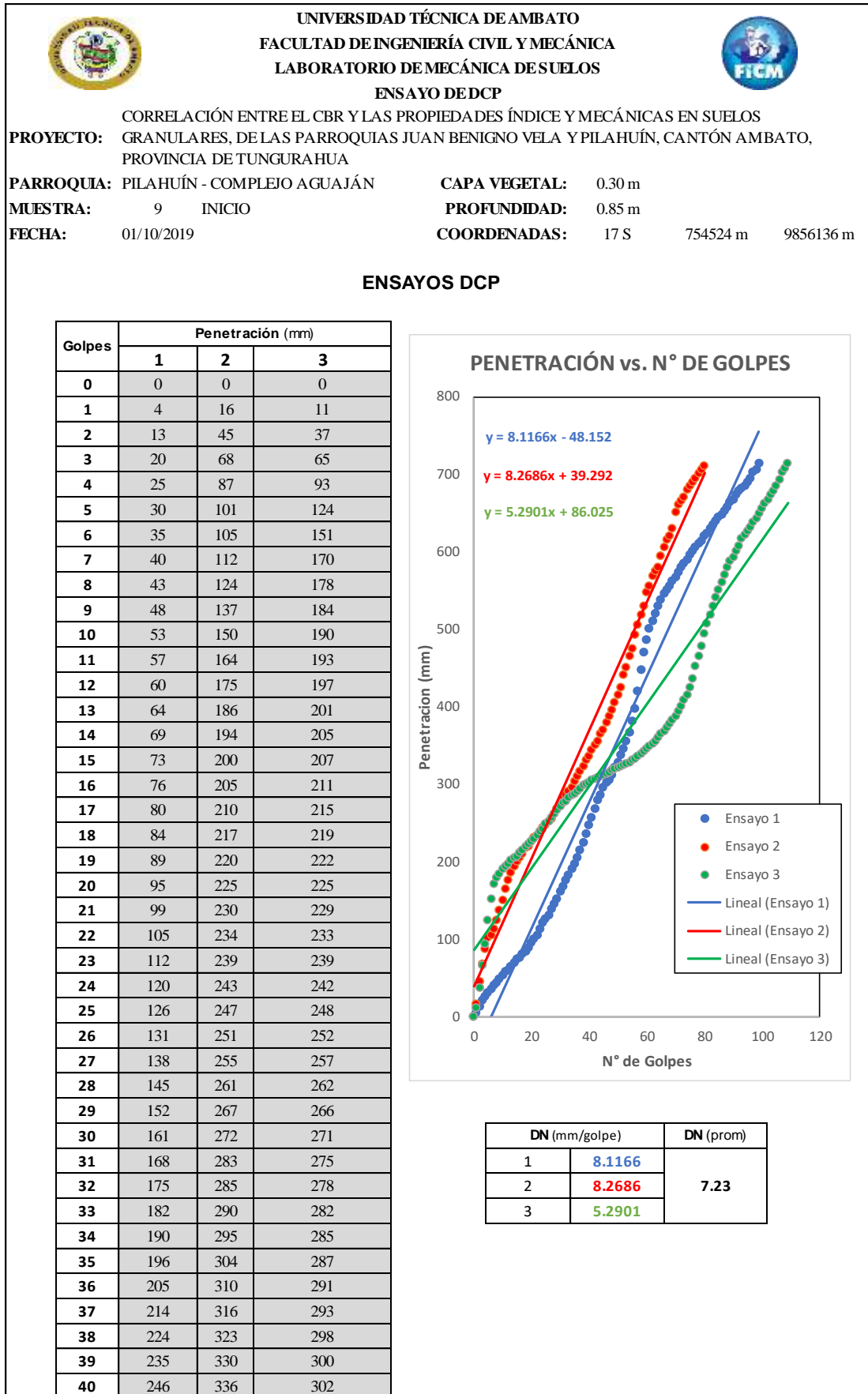
Tabla 133. Tabla de ensayo de DCP del pozo 8



51	466	476	449
52	470	481	453
53	475	486	460
54	480	491	464
55	483	496	468
56	488	499	474
57	492	504	480
58	498	508	485
59	502	511	488
60	506	516	492
61	510	519	496
62	515	523	500
63	518	526	504
64	524	531	508
65	528	535	510
66	532	540	512
67	536	544	516
68	540	548	520
69	544	552	524
70	546	556	529
71	548	560	532
72	552	564	537
73	556	569	543
74	560	573	547
75	568	576	551
76	570	580	555
77	574	586	559
78	580	591	562
79	585	594	565
80	589	603	568
81	590	606	571
82	598	612	574
83	600	616	578
84	606	619	580
85	610	623	584
86	614	625	588
87	617	630	591
88	623	634	596
89	627	639	599
90	630	643	603
91	636	645	606
92	640	647	609
93	645	652	612
94	649	656	615
95	650	660	618
96	657	665	621
97	662	668	626
98	666	674	628
99	670	678	630
100	674	680	632
101	677	684	634
102	683	686	637
103	686	690	640
104	690	693	642
105	694	696	645
106	697	700	647
107	700	703	650
108	705	707	653
109	710	709	656
110	714	712	659
111	718	720	660
112	722	723	663
113	726	725	668
114	728	727	670
115	733	729	675
116	735	731	678
117	738	734	681
118	740	737	686
119	744	740	689
120	747	745	693
121	749	750	695
122	752	753	697
123		756	700
124		758	703
125		761	706
126			709
127			713
128			717
129			720
130			724
131			727
132			730
133			733
134			736
135			738
136			742
137			745
138			747
139			751
140			754
141			757

Autor: Christian González

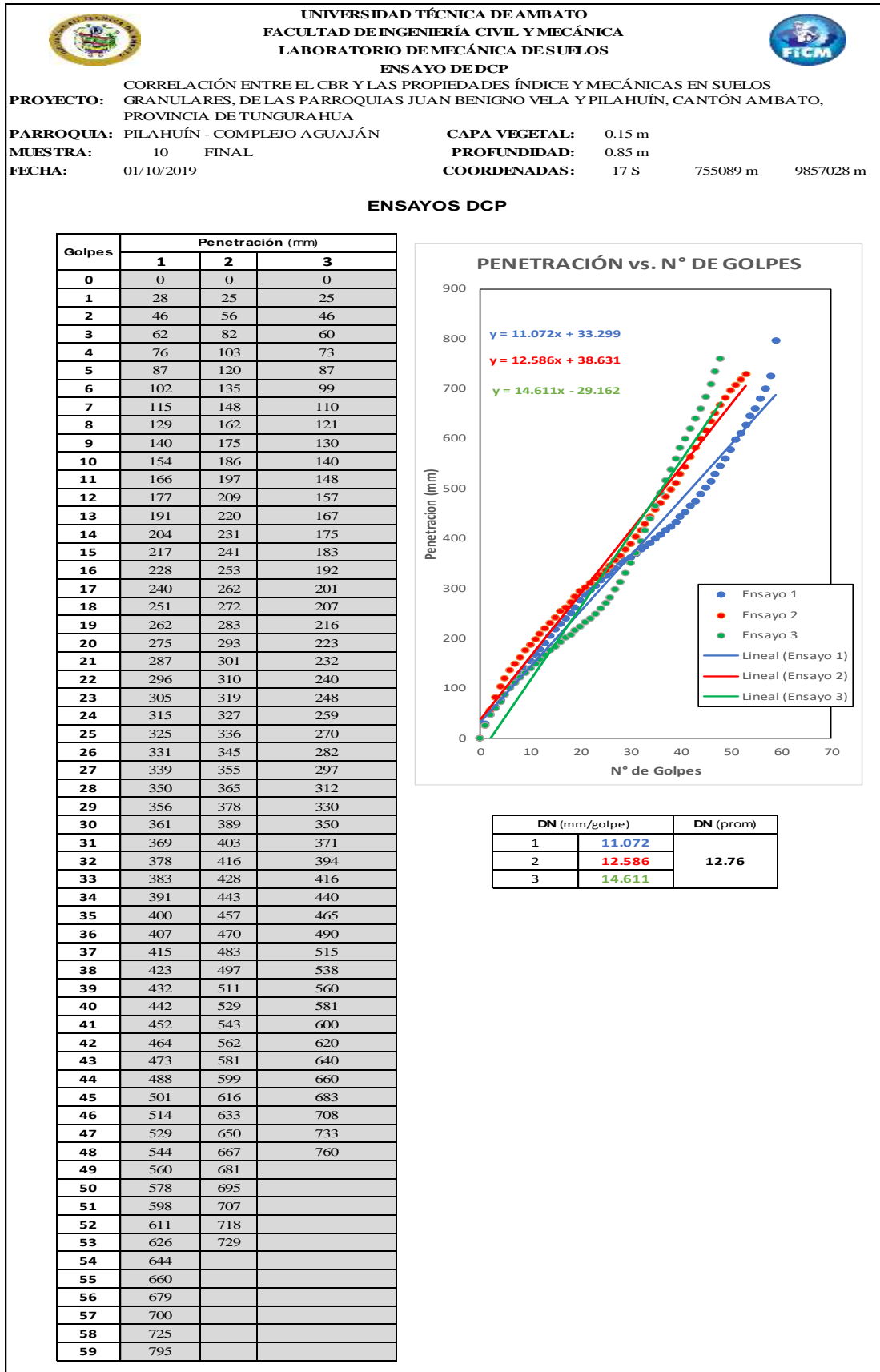
Tabla 134. Tabla de ensayo de DCP del pozo 9



41	257	343	305
42	267	350	307
43	279	355	308
44	286	364	310
45	295	370	311
46	302	379	313
47	305	387	315
48	312	395	317
49	321	405	320
50	327	415	321
51	337	425	323
52	345	440	324
53	355	450	326
54	367	465	328
55	380	475	330
56	397	492	332
57	420	505	336
58	447	518	338
59	470	530	342
60	485	547	345
61	500	555	348
62	510	568	352
63	520	574	355
64	529	580	360
65	537	594	364
66	545	605	368
67	551	615	372
68	556	620	377
69	562	630	382
70	566	650	388
71	573	660	394
72	579	665	400
73	584	670	408
74	590	680	415
75	595	685	425
76	600	690	435
77	605	695	452
78	610	700	465
79	614	705	478
80	620	710	494
81	623		507
82	630		518
83	634		530
84	639		541
85	644		551
86	648		560
87	653		570
88	657		580
89	663		587
90	667		593
91	673		600
92	678		607
93	681		617
94	685		622
95	690		627
96	695		632
97	702		638
98	705		642
99	713		649
100			655
101			662
102			667
103			673
104			678
105			685
106			692
107			703
108			707
109			713

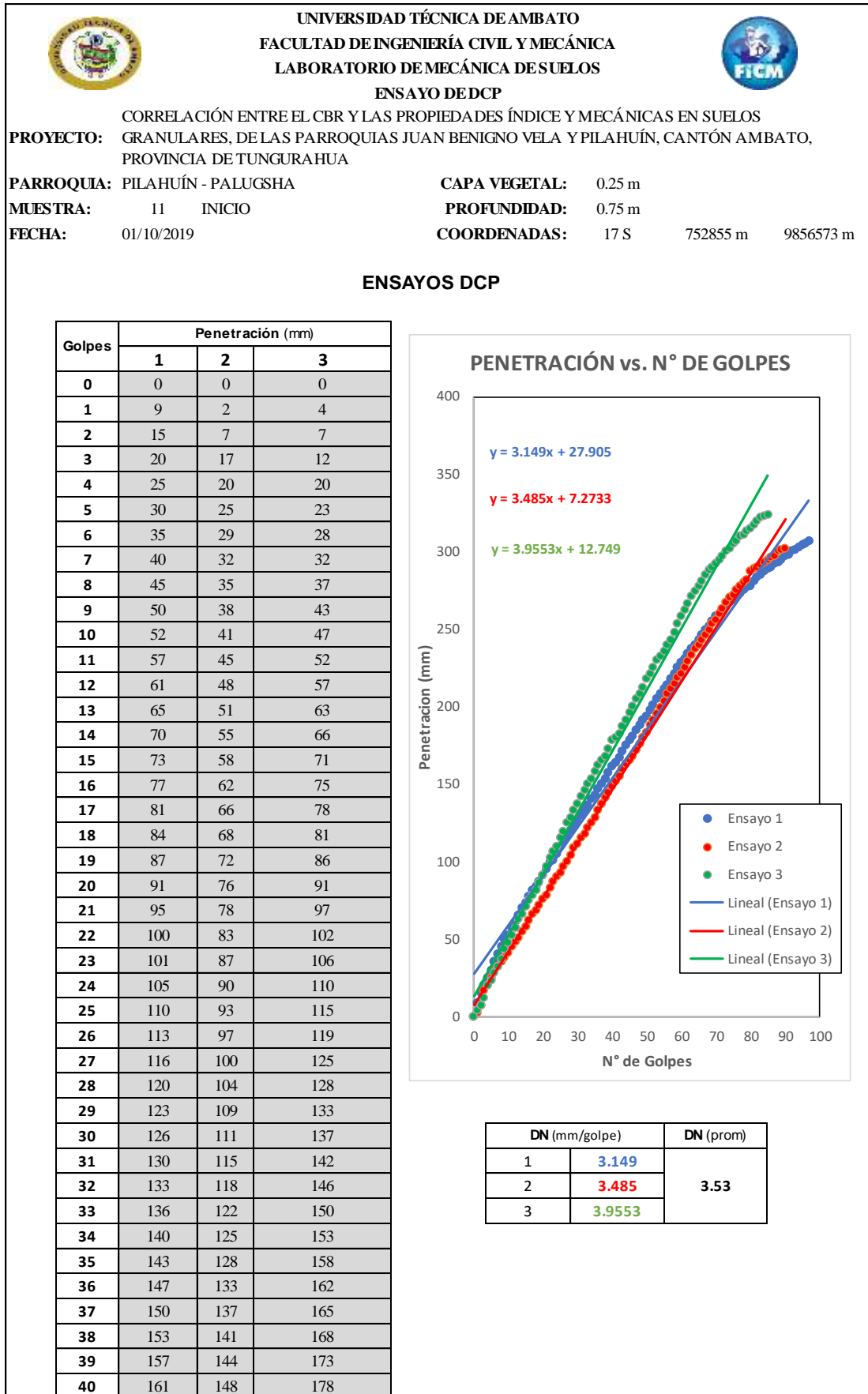
Autor: Christian González

Tabla 135. Tabla de ensayo de DCP del pozo 10



Autor: Christian González

Tabla 136. Tabla de ensayo de DCP del pozo 11



41	164	152	180
42	167	155	182
43	171	160	187
44	175	163	191
45	178	165	196
46	181	168	200
47	185	172	205
48	188	176	208
49	191	180	212
50	194	183	218
51	198	188	221
52	201	191	225
53	205	195	230
54	208	199	232
55	211	203	236
56	214	208	240
57	218	211	243
58	221	215	248
59	225	219	253
60	228	221	258
61	231	225	262
62	234	229	266
63	237	233	271
64	240	237	274
65	243	240	278
66	246	243	281
67	249	246	285
68	252	249	288
69	255	253	290
70	258	256	292
71	260	260	295
72	262	263	297
73	265	267	300
74	267	270	302
75	269	272	305
76	272	275	307
77	273	278	310
78	275	280	311
79	277	282	313
80	278	287	315
81	281	289	317
82	283	290	320
83	285	291	322
84	287	293	323
85	289	295	324
86	290	296	
87	292	297	
88	293	300	
89	295	301	
90	297	302	
91	298		
92	300		
93	301		
94	303		
95	304		
96	305		
97	307		

Autor: Christian González

Tabla 137. Tabla de ensayo de DCP del pozo 12



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO DE DCP

PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

PARROQUIA: PILAHUÍN - PALUGSHA

CAPA VEGETAL: 0.20 m

MUESTRA: 12 FINAL

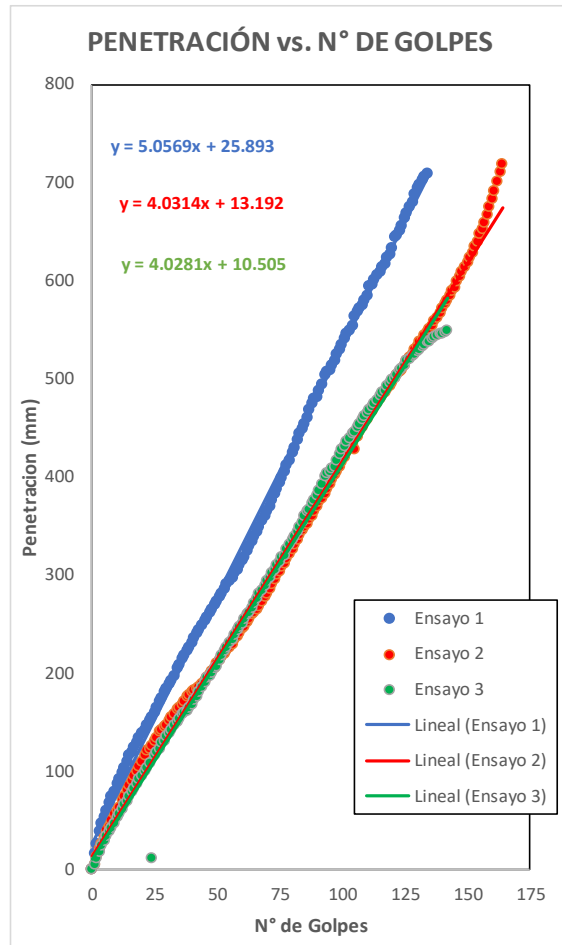
PROFUNDIDAD: 0.70 m

FECHA: 01/10/2019

COORDENADAS: 17 S 752788 m 9856260 m

ENSAYOS DCP

Golpes	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	15	5	4
2	25	13	11
3	38	20	17
4	46	26	23
5	52	31	28
6	60	40	33
7	67	43	38
8	73	50	42
9	78	56	47
10	87	59	52
11	92	63	56
12	98	70	61
13	103	74	65
14	109	80	69
15	115	85	73
16	119	90	78
17	124	94	82
18	129	100	86
19	134	104	91
20	138	110	95
21	142	115	99
22	147	120	103
23	151	122	107
24	155	125	11
25	160	130	115
26	165	133	119
27	170	140	123
28	174	142	129
29	180	145	131
30	183	147	135
31	189	151	139
32	192	155	142
33	197	158	146
34	204	162	150
35	208	165	153
36	214	168	157
37	217	171	159
38	222	175	161
39	226	177	165
40	231	180	168



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	5.0569		4.37
2	4.0314	
3	4.0281	



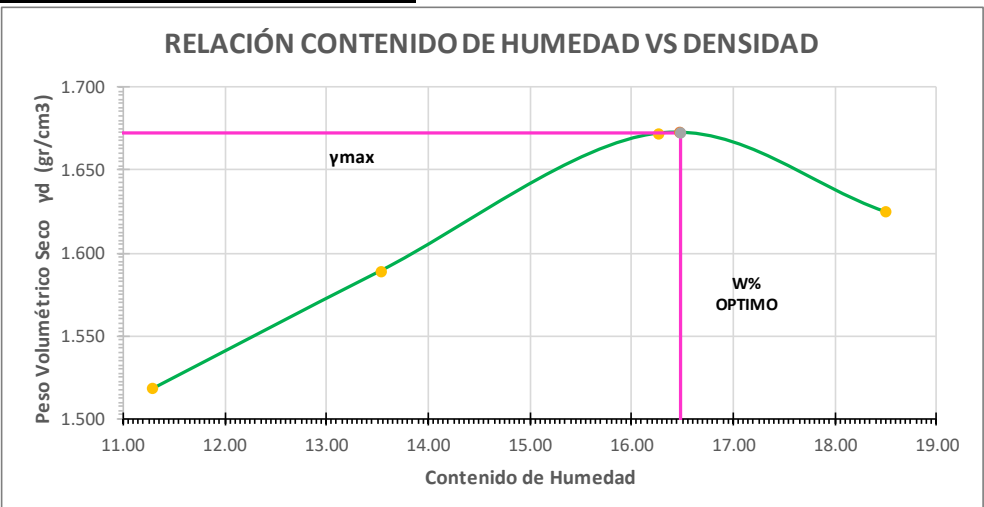
41	236	182	172
42	240	184	176
43	244	186	180
44	249	189	185
45	253	191	190
46	257	195	195
47	261	198	197
48	265	201	200
49	270	205	205
50	273	209	207
51	277	212	213
52	281	216	217
53	286	220	222
54	290	222	226
55	294	225	230
56	297	229	234
57	301	234	238
58	305	237	243
59	310	240	246
60	314	245	250
61	318	247	255
62	324	251	259
63	329	255	262
64	334	259	266
65	339	261	271
66	344	265	276
67	349	268	280
68	355	273	284
69	360	277	289
70	364	281	293
71	370	285	297
72	376	290	302
73	382	295	305
74	388	300	309
75	393	303	313
76	399	308	317
77	405	312	320
78	411	316	326
79	416	321	330
80	425	326	335
81	430	330	339
82	437	335	343
83	444	340	349
84	448	345	354
85	454	348	359
86	460	352	364
87	468	357	367
88	475	360	372
89	480	365	376
90	481	370	381
91	488	374	386
92	494	378	392
93	504	382	400
94	507	388	404
95	509	392	405
96	513	397	409
97	518	401	410
98	524	405	416
99	530	410	422
100	535	415	427

101	540	420	431
102	545	425	435
103	548	430	439
104	554	433	443
105	564	428	445
106	568	441	450
107	572	445	454
108	575	450	458
109	580	455	461
110	585	459	465
111	594	464	468
112	596	467	471
113	600	471	475
114	605	475	478
115	609	480	482
116	614	482	485
117	617	485	488
118	623	489	492
119	626	493	495
120	633	496	498
121	644	500	500
122	646	503	504
123	650	507	508
124	655	509	510
125	663	513	514
126	669	518	518
127	675	521	520
128	680	525	523
129	687	530	525
130	694	533	527
131	697	537	530
132	702	539	533
133	705	544	535
134	708	547	537
135		550	538
136		554	540
137		558	542
138		562	544
139		567	545
140		571	546
141		576	547
142		580	548
143		584	
144		589	
145		593	
146		599	
147		604	
148		609	
149		614	
150		618	
151		623	
152		628	
153		634	
154		640	
155		647	
156		653	
157		659	
158		667	
159		675	
160		683	
161		691	
162		700	
163		710	
164		719	

Autor: Christian González



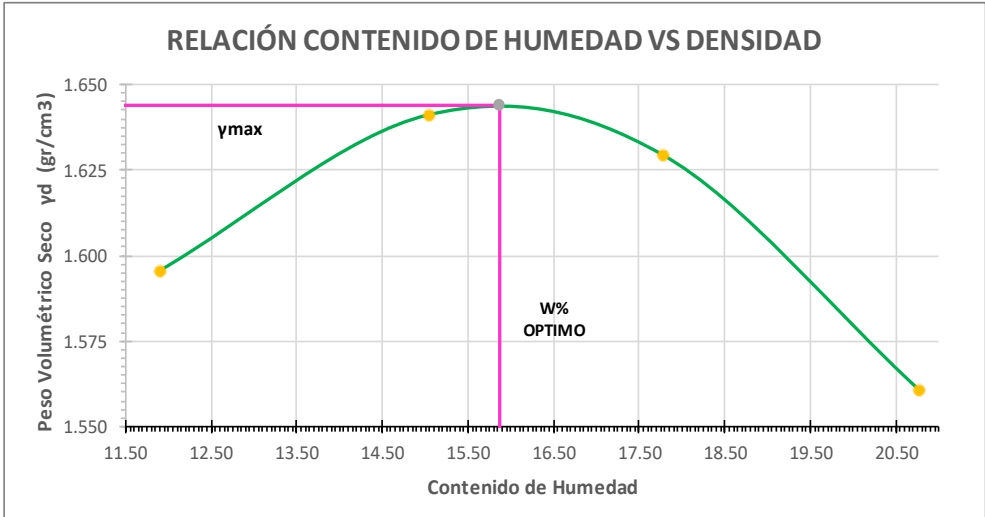
PROCTOR

Tabla 138. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 1

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO								
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PROYECTO:								
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO	CAPA VEGETAL:	0.20 m					
MUESTRA:	1	INICIO	PROFUNDIDAD:	0.75 m				
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	758398 m	9857029 m			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38 cm ³			
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	6	9	12	15				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19391	19653	19972	19930				
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3863	4125	4444	4402				
Peso unitario húmedo γm (gr/cm ³)	1.690	1.804	1.944	1.925				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	36	16	43	9	27	19	24	39
Peso del recipiente Wr	24.8	24.1	24.4	25.5	25.2	26.4	24	25.7
Rec+suelo húmedo Wr+Wm	81.8	82.5	84.3	88.1	87	85.4	87.3	84.7
Rec+suelo seco Ws + Wm	75.9	76.7	77.1	80.7	78.3	77.2	77.3	75.6
Peso sólidos Ws	51.1	52.6	52.7	55.2	53.1	50.8	53.3	49.9
Peso del agua Ww	5.9	5.8	7.2	7.4	8.7	8.2	10	9.1
Cont. Humedad ω%	11.55	11.03	13.66	13.41	16.38	16.14	18.76	18.24
Cont. Humedad promedio ω%	11.29		13.53		16.26		18.50	
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.518		1.589		1.672		1.625	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio ω%	16.48							
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.673							
								



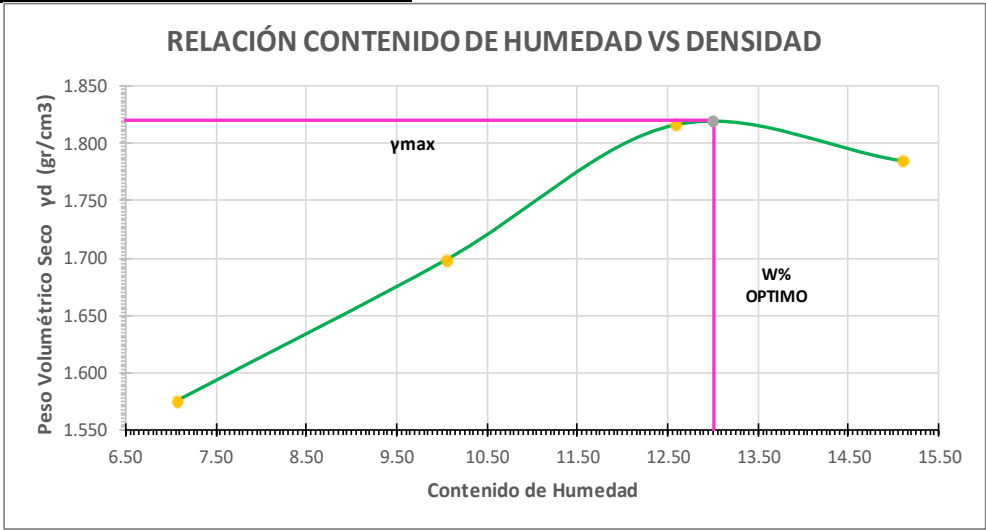
Autor: Christian González

Tabla 139. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO							
PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO CAPA VEGETAL: 0.15 m								
MUESTRA: 2 FINAL PROFUNDIDAD: 0.65 m								
FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 758330 m 9856218 m								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19610	19845	19916	19838				
Peso suelo humedo Wm (gr)	4082	4317	4388	4310				
Peso unitario humedo γm (gr/cm ³)	1.785	1.888	1.919	1.885				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	58	67	82	72	48	8	4	5
Peso del recipiente Wr	30.9	30.4	30.8	30.8	37.8	26.7	40.7	40.8
Rec+suelo humedo Wr+Wm	94.5	97.7	98.8	105.8	151.6	132	248	271.2
Rec+suelo seco Ws + Wm	87.6	90.7	90	95.9	134.9	115.7	212.2	231.8
Peso solidos Ws	56.7	60.3	59.2	65.1	97.1	89	171.5	191
Peso del agua Ww	6.9	7	8.8	9.9	16.7	16.3	35.8	39.4
Cont. Humedad ω%	12.17	11.61	14.86	15.21	17.20	18.31	20.87	20.63
Cont. Humedad promedio ω%	11.89		15.04		17.76		20.75	
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.596		1.641		1.630		1.561	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio ω%	15.87							
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.644							
								



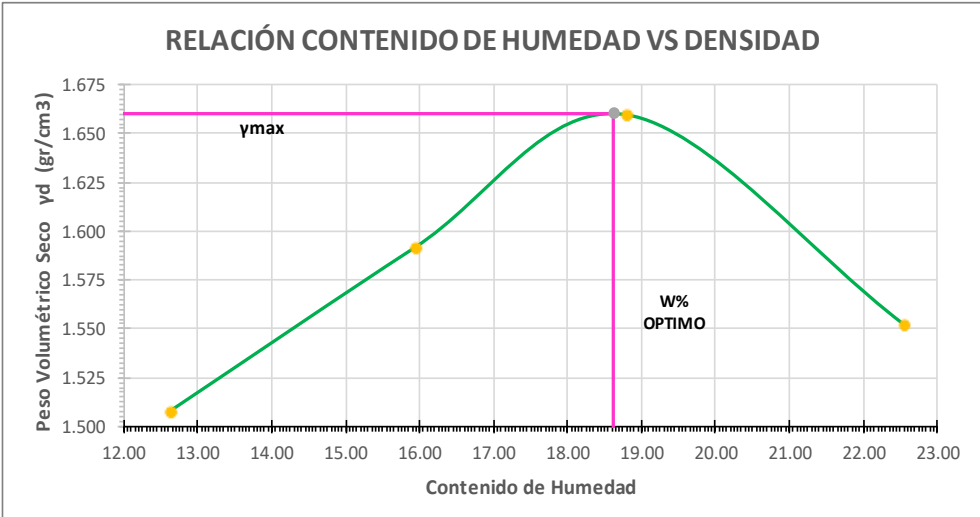
Autor: Christian González

Tabla 140. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO						
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - CHACAPU								
		CAPA VEGETAL: 0.20 m						
MUESTRA: 3		INICIO		PROFUNDIDAD: 0.70 m				
FECHA: 01/10/2019				COORDENADAS: 17 S		756233 m 9854631 m		
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	6	9	12	15				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19385	19802	20204	20226				
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3857	4274	4676	4698				
Peso unitario húmedo γ_m (gr/cm ³)	1.687	1.869	2.045	2.055				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	36	16	43	9	27	19	24	39
Peso del recipiente W _r	24.8	24.1	24.4	25.5	25.2	26.4	24	25.7
Rec+suelo húmedo W _r +W _m	104	94	96.2	99.4	102.5	96	123.6	113.6
Rec+suelo seco W _s + W _m	99.1	89.1	89.6	92.7	94	88.1	110.5	102.1
Peso solidos W _s	74.3	65	65.2	67.2	68.8	61.7	86.5	76.4
Peso del agua W _w	4.9	4.9	6.6	6.7	8.5	7.9	13.1	11.5
Cont. Humedad $\omega\%$	6.59	7.54	10.12	9.97	12.35	12.80	15.14	15.05
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	7.07		10.05		12.58		15.10	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.576		1.699		1.817		1.785	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	13.01							
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.820							
								



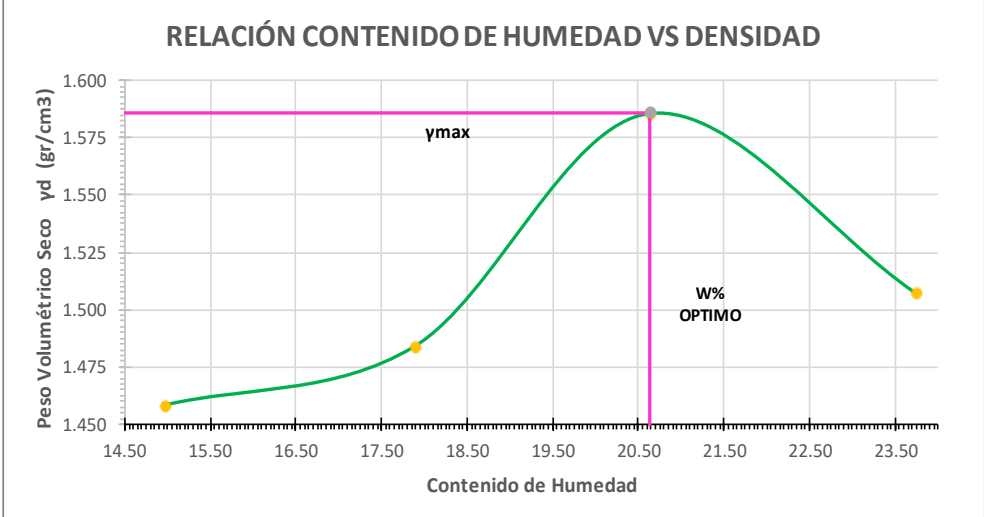
Autor: Christian González

Tabla 141. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO							
PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PARROQUIA: JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUÍ CAPA VEGETAL: 0.20 m								
MUESTRA: 4 FINAL PROFUNDIDAD: 0.75 m								
FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 756253 m 9854550 m								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19412	19747	20036	19878				
Peso suelo humedo Wm (gr)	3884	4219	4508	4350				
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1.699	1.845	1.972	1.903				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	58	67	82	72	48	8	4	5
Peso del recipiente W _r	30.9	30.4	30.8	30.8	37.8	26.7	40.7	40.8
Rec+suelo humedo W _r +W _m	90.9	90.8	99.9	111.5	157.5	127.3	213.7	178.1
Rec+suelo seco W _s + W _m	84.2	84	90.5	100.3	138.9	111.1	181.3	153.3
Peso solidos W _s	53.3	53.6	59.7	69.5	101.1	84.4	140.6	112.5
Peso del agua W _w	6.7	6.8	9.4	11.2	18.6	16.2	32.4	24.8
Cont. Humedad $\omega\%$	12.57	12.69	15.75	16.12	18.40	19.19	23.04	22.04
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	12.63		15.93		18.80		22.54	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.508		1.592		1.660		1.553	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	18.63							
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.661							
								



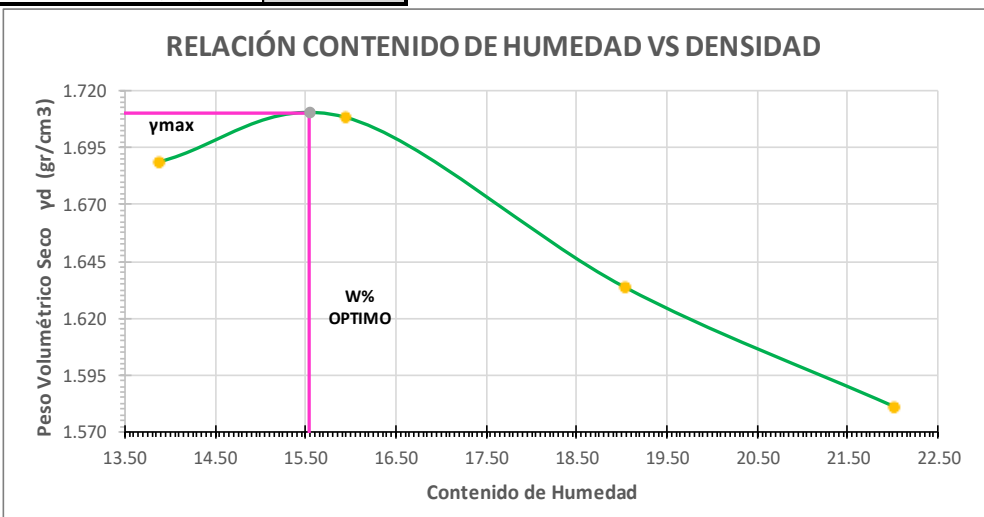
Autor: Christian González

Tabla 142. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO			
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS			
PROYECTO:	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ A	CAPA VEGETAL:	0.20 m
MUESTRA:	5	INICIO	PROFUNDIDAD: 0.70 m
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S 756259 m 9855856 m
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR			
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb
Energía de Compactación		Normas	AASHTO T-180
Peso Inicial Deseado	6000		6000
			6000
			6000
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Numero	1	2	3
Humedad inicial añadida en %	9	12	15
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19361	19527	19902
Peso suelo humedo Wm (gr)	3833	3999	4374
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1.676	1.749	1.913
			1.865
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Recipiente numero	36	16	43
	9	27	19
	24	39	
Peso del recipiente W _r	24.8	24.1	24.4
	25.5	25.2	26.4
	24	25.7	
Rec+suelo humedo W _r +W _m	103.3	98.5	97.8
	99.8	117	109.4
	122.9	116.1	
Rec+suelo seco W _s + W _m	93.1	88.8	86.7
	88.5	101.3	95.2
	104.1	98.6	
Peso solidos W _s	68.3	64.7	62.3
	63	76.1	68.8
	80.1	72.9	
Peso del agua W _w	10.2	9.7	11.1
	11.3	15.7	14.2
	18.8	17.5	
Cont. Humedad $\omega\%$	14.93	14.99	17.82
	17.94	20.63	20.64
	23.47	24.01	
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	14.96	17.88	20.64
		23.74	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.458	1.484	1.586
		1.586	1.507
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	20.64		
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.586		
			



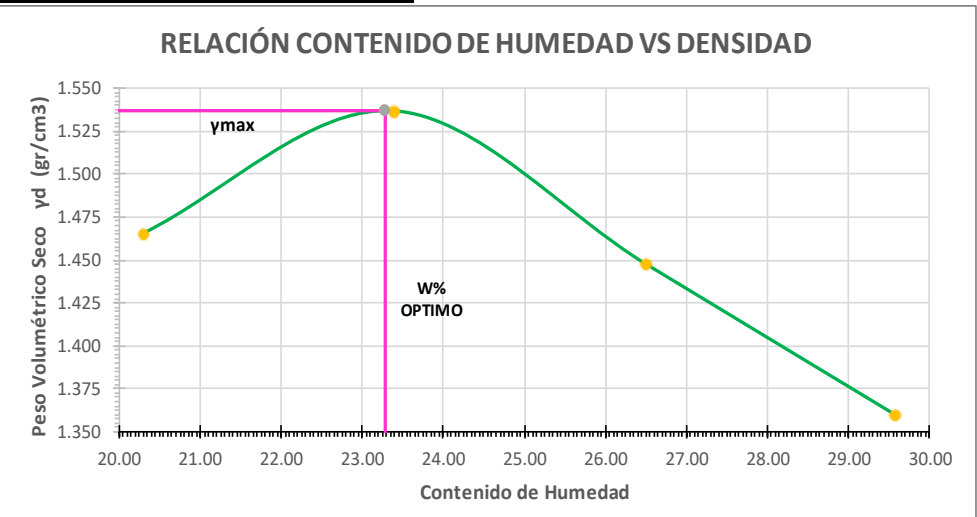
Autor: Christian González

Tabla 143. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO							
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PROYECTO:	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ A	CAPA VEGETAL: 0.10 m						
MUESTRA:	6 FINAL	PROFUNDIDAD: 0.75 m						
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 756074 m 9855484 m						
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación	Normas AASHTO		T-180					
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19925	20057	19975	19940				
Peso suelo humedo Wm (gr)	4397	4529	4447	4412				
Peso unitario humedo γm (gr/cm ³)	1.923	1.981	1.945	1.930				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	84	78	58	67	82	72	48	8
Peso del recipiente Wr	31	30.8	30.9	30.4	30.8	30.8	37.8	26.7
Rec+suelo humedo Wr+Wm	105.6	92.9	118.2	111.8	132.9	111.3	125.6	114.1
Rec+suelo seco Ws + Wm	96.8	85.1	106.1	100.7	116.5	98.5	109.8	98.3
Peso solidos Ws	65.8	54.3	75.2	70.3	85.7	67.7	72	71.6
Peso del agua Ww	8.8	7.8	12.1	11.1	16.4	12.8	15.8	15.8
Cont. Humedad ω%	13.37	14.36	16.09	15.79	19.14	18.91	21.94	22.07
Cont. Humedad promedio ω%	13.87		15.94		19.02		22.01	
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.689		1.709		1.634		1.582	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio ω%	15.54							
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.711							
								



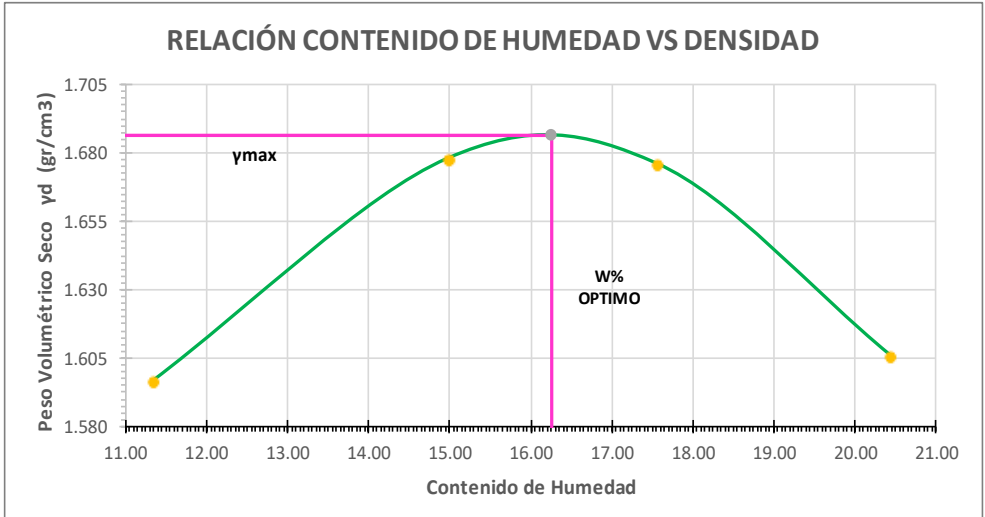
Autor: Christian González

Tabla 144. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 7

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO						
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PARROQUIA: CHIBULEO SAN FRANCISCO - LA M CAPA VEGETAL: 0.15 m								
MUESTRA: 7 INICIO PROFUNDIDAD: 0.70 m								
FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 754352 m 9854985 m								
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19559	19864	19715	19558				
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4031	4336	4187	4030				
Peso unitario húmedo γm (gr/cm ³)	1.763	1.896	1.831	1.763				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	36	16	43	9	24	19	27	39
Peso del recipiente Wr	24.8	24.1	24.4	25.5	24	26.4	25.2	25.7
Rec+suelo húmedo Wr+Wm	102	89.8	101.7	98	112.1	109.6	112.7	106.5
Rec+suelo seco Ws + Wm	89	78.7	86.9	84.4	93.4	92.4	92.7	88.1
Peso solidos Ws	64.2	54.6	62.5	58.9	69.4	66	67.5	62.4
Peso del agua Ww	13	11.1	14.8	13.6	18.7	17.2	20	18.4
Cont. Humedad ω%	20.25	20.33	23.68	23.09	26.95	26.06	29.63	29.49
Cont. Humedad promedio ω%	20.29		23.38		26.50		29.56	
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.466		1.537		1.448		1.360	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio ω%	23.28							
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.537							
								



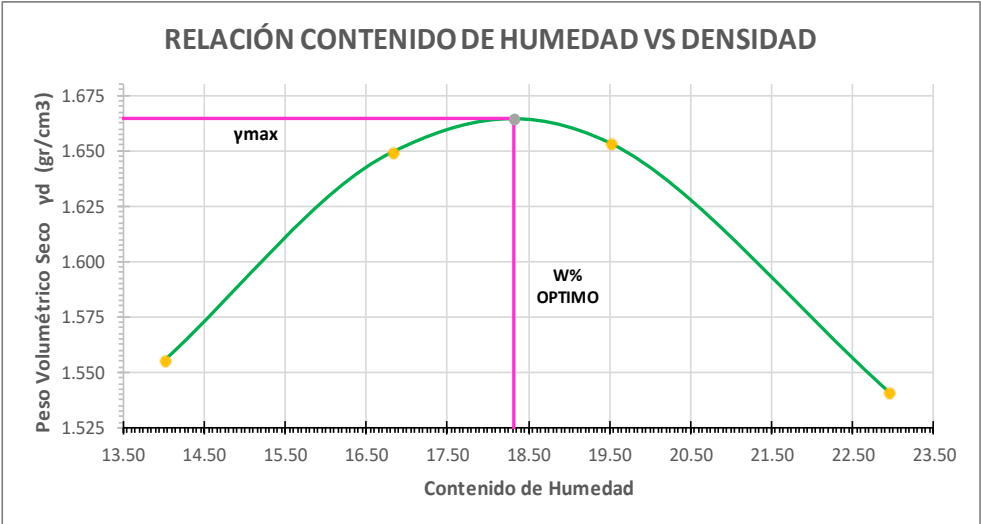
Autor: Christian González

Tabla 145. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO							
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PROYECTO:	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA:	CHIBULEO SAN FRANCISCO - LA M CAPA VEGETAL: 0.20 m							
MUESTRA:	8 FINAL	PROFUNDIDAD: 0.70 m						
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 754085 m 9854808 m						
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19592	19939	20033	19950				
Peso suelo humedo Wm (gr)	4064	4411	4505	4422				
Peso unitario humedo γm (gr/cm ³)	1.777	1.929	1.970	1.934				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	84	78	58	67	82	72	48	8
Peso del recipiente Wr	31	30.8	30.9	30.4	30.8	30.8	37.8	26.7
Rec+suelo humedo Wr+Wm	87	84.8	124.7	115.6	124.3	129.5	136.6	131.9
Rec+suelo seco Ws + Wm	81.4	79.2	112.6	104.4	110.4	114.7	120	113.9
Peso solidos Ws	50.4	48.4	81.7	74	79.6	83.9	82.2	87.2
Peso del agua Ww	5.6	5.6	12.1	11.2	13.9	14.8	16.6	18
Cont. Humedad ω%	11.11	11.57	14.81	15.14	17.46	17.64	20.19	20.64
Cont. Humedad promedio ω%	11.34		14.97		17.55		20.42	
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.596		1.678		1.676		1.606	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio ω%	16.25							
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.687							
								



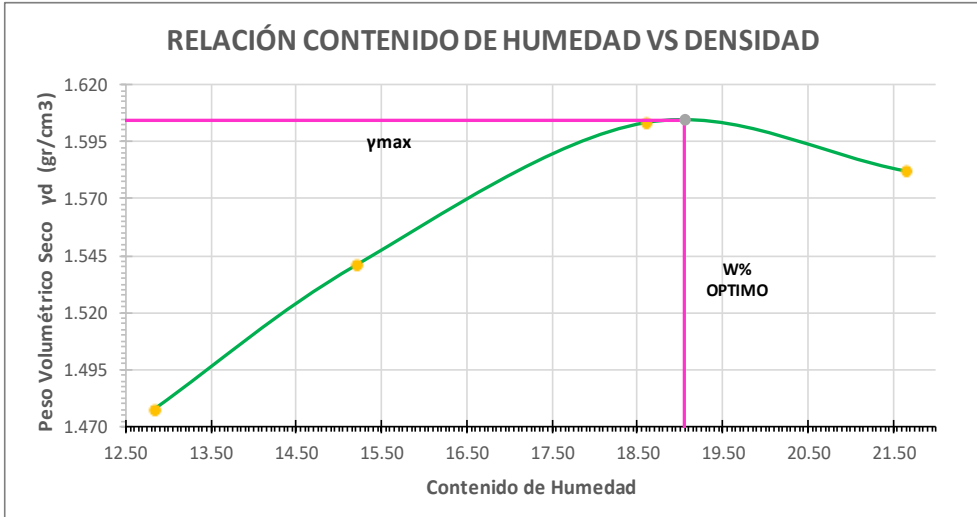
Autor: Christian González

Tabla 146. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 9

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO			
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
PARROQUIA: PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN CAPA VEGETAL: 0.30 m			
MUESTRA: 9 INICIO: PROFUNDIDAD: 0.85 m			
FECHA: 01/10/2019 COORDENADAS: 17 S 754524 m 9856136 m			
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR			
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb
Energía de Compactación		Normas	AASHTO T-180
Peso Inicial Deseado	6000		6000
			6000
			6000
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Numero	1	2	3
Humedad inicial añadida en %	9	12	15
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19583	19933	20046
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4055	4405	4518
Peso unitario húmedo γm (gr/cm3)	1.774	1.927	1.976
			1.895
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Recipiente numero	36	16	43
Peso del recipiente Wr	24.8	24.1	24.4
Rec+suelo húmedo Wr+Wm	114.5	110.2	118
Rec+suelo seco Ws + Wm	103.6	99.5	104.5
Peso solidos Ws	78.8	75.4	80.1
Peso del agua Ww	10.9	10.7	13.5
Cont. Humedad ω%	13.83	14.19	16.85
			16.78
			19.27
			19.77
			22.68
			23.24
Cont. Humedad promedio ω%	14.01		16.82
			19.52
			22.96
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm3)	1.556		1.649
			1.653
			1.541
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Cont. Humedad promedio ω%	18.33		
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm3)	1.665		
			



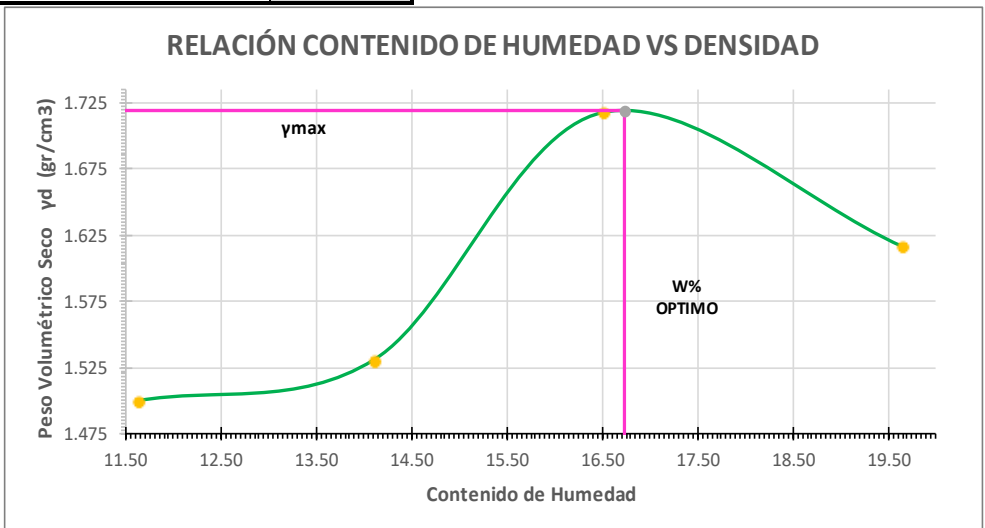
Autor: Christian González

Tabla 147. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 10

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO							
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PROYECTO:	GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA							
PARROQUIA:	PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN	CAPA VEGETAL: 0.15 m						
MUESTRA:	10 FINAL	PROFUNDIDAD: 0.85 m						
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS: 17 S 755089 m 9857028 m						
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	12	15	18	21				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19341	19587	19875	19928				
Peso suelo humedo Wm (gr)	3813	4059	4347	4400				
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1.668	1.775	1.901	1.924				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	58	67	82	72	48	8	4	5
Peso del recipiente W _r	30.9	30.4	30.8	30.8	37.8	26.7	40.7	40.8
Rec+suelo humedo W _r +W _m	110.6	108	108.4	112.3	127	115.5	175.5	167.4
Rec+suelo seco W _s + W _m	101.4	99.3	98.2	101.5	113	101.6	151.5	144.9
Peso solidos W _s	70.5	68.9	67.4	70.7	75.2	74.9	110.8	104.1
Peso del agua W _w	9.2	8.7	10.2	10.8	14	13.9	24	22.5
Cont. Humedad $\omega\%$	13.05	12.63	15.13	15.28	18.62	18.56	21.66	21.61
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	12.84		15.20		18.59		21.64	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.478		1.541		1.603		1.582	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	19.05							
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.605							
								



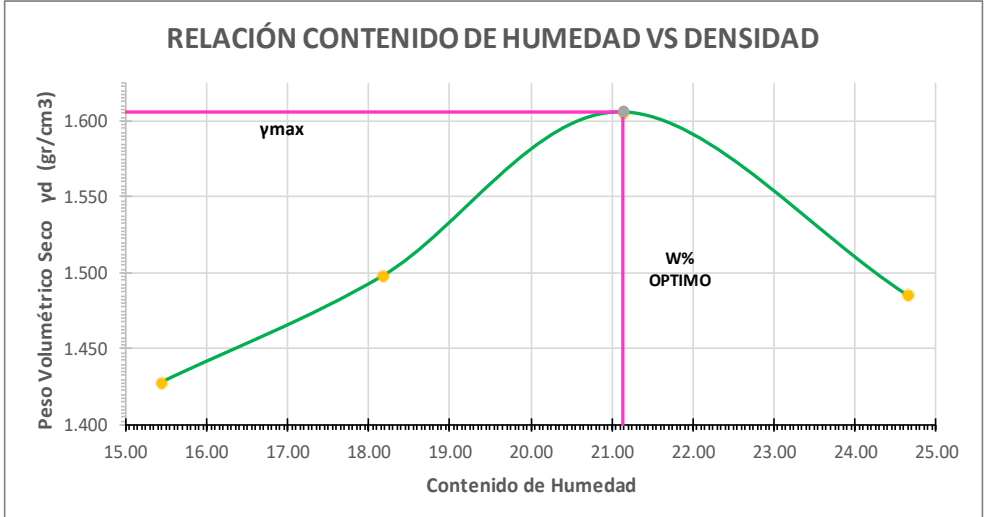
Autor: Christian González

Tabla 148. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 11

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO						
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS								
PROYECTO: GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PARROQUIA: PILAHUÍN - PALUGSHA				CAPA VEGETAL: 0.25 m				
MUESTRA: 11 INICIO		PROFUNDIDAD: 0.75 m						
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S 752855 m 9856573 m						
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19355	19521	20103	19949				
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3827	3993	4575	4421				
Peso unitario húmedo γm (gr/cm ³)	1.674	1.746	2.001	1.934				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	36	16	43	9	27	19	24	39
Peso del recipiente Wr	24.8	24.1	24.4	25.5	25.2	26.4	24	25.7
Rec+suelo húmedo Wr+Wm	111.6	113.8	108.7	109.4	104.6	104.4	109.9	124.2
Rec+suelo seco Ws + Wm	102.7	104.3	98.3	99	93.3	93.4	95.9	107.9
Peso solidos Ws	77.9	80.2	73.9	73.5	68.1	67	71.9	82.2
Peso del agua Ww	8.9	9.5	10.4	10.4	11.3	11	14	16.3
Cont. Humedad ω%	11.42	11.85	14.07	14.15	16.59	16.42	19.47	19.83
Cont. Humedad promedio ω%	11.64		14.11		16.51		19.65	
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.499		1.530		1.717		1.616	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio ω%	16.74							
Peso Volumétrico Seco γd (gr/cm ³)	1.719							
								

Autor: Christian González



Tabla 149. Tabla de ensayo de proctor modificado del pozo 12

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO							
PROYECTO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA								
PARROQUIA: PILAHUÍN - PALUGSHA		CAPA VEGETAL: 0.20 m						
MUESTRA: 12 FINAL		PROFUNDIDAD: 0.70 m						
FECHA: 01/10/2019		COORDENADAS: 17 S 752788 m 9856260 m						
ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15528	gr		
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2286.38	cm ³		
Energía de Compactación		Normas	AASHTO	T-180				
Peso Inicial Deseado	6000		6000		6000	6000		
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	9	12	15	18				
P. molde+Suelo húmedo (gr)	19297	19576	19977	19762				
Peso suelo humedo Wm (gr)	3769	4048	4449	4234				
Peso unitario humedo γ_m (gr/cm ³)	1.648	1.770	1.946	1.852				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	84	78	58	67	82	72	48	8
Peso del recipiente W _r	31	30.8	30.9	30.4	30.8	30.8	37.8	26.7
Rec+suelo humedo W _r +W _m	104.4	104.8	100.5	105.9	119.7	117.8	142.3	116.3
Rec+suelo seco W _s + W _m	94.4	95.1	89.7	94.4	104.1	102.7	121.5	98.7
Peso solidos W _s	63.4	64.3	58.8	64	73.3	71.9	83.7	72
Peso del agua W _w	10	9.7	10.8	11.5	15.6	15.1	20.8	17.6
Cont. Humedad $\omega\%$	15.77	15.09	18.37	17.97	21.28	21.00	24.85	24.44
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	15.43		18.17		21.14		24.65	
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.428		1.498		1.606		1.486	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Cont. Humedad promedio $\omega\%$	21.14							
Peso Volumétrico Seco γ_d (gr/cm ³)	1.606							
								

Autor: Christian González

CBR

Tabla 150. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 1



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO	CAPA VEGETAL:	0.20 m									
MUESTRA:	1 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.75 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	758398 m	9857029 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	10799	11146	10909	11290	12680	13172						
Peso Molde	6968		6724		8298							
P. Humedo	3831	4178	4185	4566	4382	4874						
Volumen Muestra	2268.24	2268.24	2286.38	2286.38	2268.24	2268.24						
Densidad Humedad	1.689	1.842	1.830	1.997	1.932	2.149						
Densidad Seca	1.452	1.505	1.566	1.623	1.664	1.698						
Den. Seca Prom.	1.479		1.595		1.681							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	84	82	84	82	67	72	67	72	78	58	78	58
P. Hum. + Recipiente	99.6	108.4	109.1	112.8	104.0	110.3	102.6	110.8	102.4	131.1	129.7	117.2
P. Seco + Recipiente	90.0	97.5	94.7	97.9	93.4	98.8	88.9	96.0	92.4	117.3	109.1	99.0
Peso Recipiente	30.9	30.9	30.9	30.9	30.3	30.8	30.3	30.8	30.8	30.9	30.8	30.9
Peso Agua	9.6	10.9	14.4	14.9	10.6	11.5	13.7	14.8	10.0	13.8	20.6	18.2
Peso de Sólidos	59.1	66.6	63.8	67.0	63.1	68.0	58.6	65.2	61.6	86.4	78.3	68.1
Contenido Humedad %	16.24	16.37	22.57	22.24	16.80	16.91	23.38	22.70	16.23	15.97	26.31	26.73
Con. Hum. Prom. %	16.31		22.40		16.86		23.04		16.10		26.52	
Datos	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3					
Altura (cm)	12.50			12.60			12.50					
Diametro (cm)	15.20			15.20			15.20					
Area (cm ²)	181.46			181.46			181.46					
Volumen (cm ³)	2268.24			2286.38			2268.24					

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min			
MoIde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
					lb/pulg ²				lb/pulg ²				lb/pulg ²		
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.0	0.00		
0	0	0.64	25	109.5	36.50			373.6	124.53			675.6	225.20		
1	0	1.27	50	143.9	47.97			545.0	181.67			987.3	329.10		
1	0	1.91	75	174.0	58.00			689.1	229.70			1293.6	431.20		
2	0	2.54	100	204.3	68.10	68.10	6.81	759.3	253.10	253.10	25.31	1593.6	531.20	531.20	53.12
3	0	3.81	150	263.3	87.77			933.0	311.00			1990.3	663.43		
4	0	5.08	200	336.7	112.23	112.23	7.48	1180.3	393.43	393.43	26.23	2220.0	740.00	740.00	49.33
5	0	6.35	250	371.8	123.93			1328.2	442.73			2450.0	816.67		
6	0	7.62	300	424.9	141.63			1553.2	517.73			2623.3	874.43		
8	0	10.16	400	523.3	174.43			1906.0	635.33			3196.3	1065.43		
10	0	12.70	500	625.4	208.47			2253.3	751.10			3897.9	1299.30		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.															
<p>Presión - Penetración</p>								<p>CBR - Densidad Seca</p>							
DENSIDADES 1.479 gr/cm ³ 1.595 gr/cm ³ 1.681 gr/cm ³				CBR 0.1 plg 6.81 0.2 plg 7.48 % 25.31 26.23 % 53.12 49.33 %				DENSIDAD MAX 1.6725 gr/cm ³ 95% DE DM 1.589 gr/cm ³ CBR 0.1 plg 25.30 % CBR 0.2 plg 24.10 %							

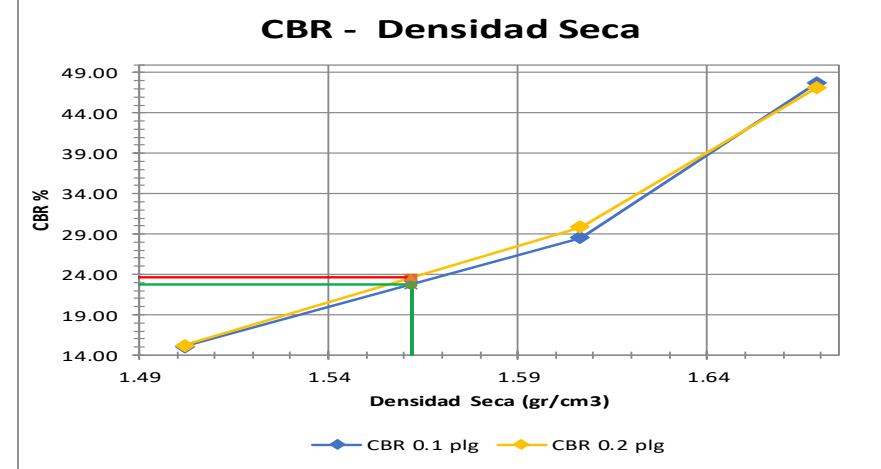
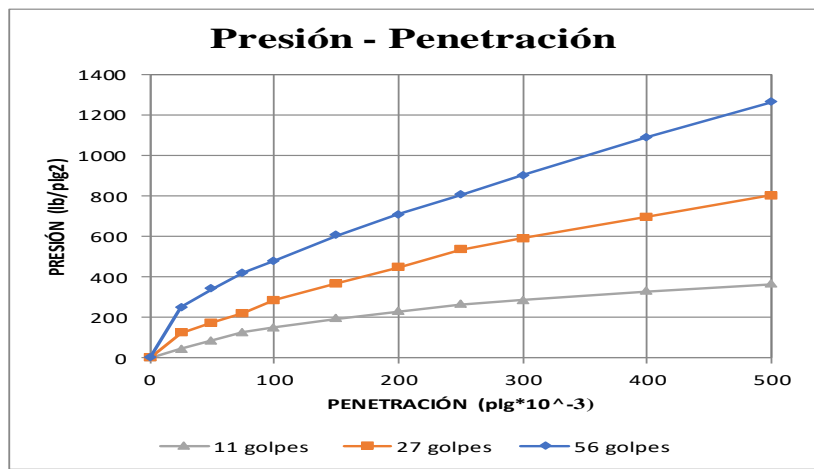
Autor: Christian González

Tabla 151. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - SAN PABLO	CAPA VEGETAL:	0.15 m									
MUESTRA:	2 FINAL	PROFUNDIDAD:	0.65 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	758330 m	9856218 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	12200	12757	10888	11449	12655	13124						
Peso Molde	8341		6721		8294							
P. Humedo	3859	4416	4167	4728	4361	4830						
Volumen Muestra	2274.21	2274.21	2307.56	2307.56	2299.94	2299.94						
Densidad Humedad	1.697	1.942	1.806	2.049	1.896	2.100						
Densidad Seca	1.468	1.536	1.559	1.654	1.641	1.697						
Den. Seca Prom.	1.502		1.607		1.669							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	52	55	52	55	78	58	78	58	84	82	84	82
P. Hum. + Recipiente	123.5	116.8	113.7	107.9	118.3	107.3	104.4	95.0	91.6	103.6	113.7	108.9
P. Seco + Recipiente	111.0	105.1	96.2	91.9	106.4	96.8	90.0	82.8	83.5	93.7	98.0	93.7
Peso Recipiente	30.9	30.3	30.9	30.3	30.7	30.8	30.7	30.8	30.8	30.7	30.8	30.7
Peso Agua	12.5	11.7	17.5	16.0	11.9	10.5	14.4	12.2	8.1	9.9	15.7	15.2
Peso de Sólidos	80.1	74.8	65.3	61.6	75.7	66.0	59.3	52.0	52.7	63.0	67.2	63.0
Contenido Humedad %	15.61	15.64	26.80	25.97	15.72	15.91	24.28	23.46	15.37	15.71	23.36	24.13
Con. Hum. Prom. %	15.62		26.39		15.81		23.87		15.54		23.75	
Datos	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3					
Altura (cm)	12.50			12.70			12.60					
Diametro (cm)	15.22			15.21			15.25					
Area (cm ²)	181.94			181.70			182.53					
Volumen (cm ³)	2274.21			2307.56			2299.94					

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 m m/min (0,05 pulg/m in)					
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %	Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %	Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	133.00	44.33			369.00	123.00			753.00	251.00		
1	0	1.27	50	256.60	85.53			518.80	172.93			1026.20	342.07		
1	0	1.91	75	381.90	127.30			663.50	221.17			1259.00	419.67		
2	0	2.54	100	452.60	150.87	150.87	15.09	856.20	285.40	285.40	28.54	1433.90	477.97	477.97	47.80
3	0	3.81	150	584.30	194.77			1099.30	366.43			1816.80	605.60		
4	0	5.08	200	685.10	228.37	228.37	15.22	1342.60	447.53	447.53	29.84	2122.10	707.37	707.37	47.16
5	0	6.35	250	792.20	264.07			1603.50	534.50			2413.60	804.53		
6	0	7.62	300	858.60	286.20			1772.80	590.93			2702.60	900.87		
8	0	10.16	400	990.20	330.07			2086.80	695.60			3263.30	1087.77		
10	0	12.70	500	1091.60	363.87			2399.80	799.93			3783.70	1261.23		



GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES	CBR	0.1 plg	0.2 plg		DENSIDAD MAX		
1.502 gr/cm ³		15.09	15.22	%	1.644		gr/cm ³
1.607 gr/cm ³		28.54	29.84	%	1.562		gr/cm ³
1.669 gr/cm ³		47.80	47.16	%		CBR 0.1 plg	23.60 %
						CBR 0.2 plg	22.70 %

Autor: Christian González

Tabla 152. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 3



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNO	CAPA VEGETAL:	0.20 m									
MUESTRA:	3 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.70 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	756233 m	9854631 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	10869	11857	11621	12650	11791	12859						
Peso Molde	6430		7095		7007							
P. Humedo	4439	5427	4526	5555	4784	5852						
Volumen Muestra	2313.63	2313.63	2292.41	2292.41	2298.47	2298.47						
Densidad Humedad	1.919	2.346	1.974	2.423	2.081	2.546						
Densidad Seca	1.670	1.749	1.715	1.836	1.811	1.923						
Den. Seca Prom.	1.710		1.775		1.867							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	55	52	55	52	58	78	58	78	84	82	84	82
P. Hum. + Recipiente	105.6	93.3	107.3	104.2	99.2	101.5	101.0	105.6	112.3	117.5	92.1	100.5
P. Seco + Recipiente	95.8	85.3	87.8	85.5	90.4	92.0	83.9	87.5	101.8	106.1	77.3	83.2
Peso Recipiente	30.4	31.0	30.4	31.0	30.7	30.7	30.7	30.7	30.8	30.7	30.8	30.7
Peso Agua	9.8	8.0	19.5	18.7	8.8	9.5	17.1	18.1	10.5	11.4	14.8	17.3
Peso de Sólidos	65.4	54.3	57.4	54.5	59.7	61.3	53.2	56.8	71.0	75.4	46.5	52.5
Contenido Humedad %	14.98	14.73	33.97	34.31	14.74	15.50	32.14	31.87	14.79	15.12	31.83	32.95
Con. Hum. Prom. %	14.86		34.14		15.12		32.00		14.95		32.39	
Datos	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3					
Altura (cm)	12.70			12.70			12.70					
Diametro (cm)	15.23			15.16			15.18					
Area (cm ²)	182.18			180.51			180.98					
Volumen (cm ³)	2313.63			2292.41			2298.47					

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb	lb/pulg ²	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	lb/pulg ²	%	lb	lb/pulg ²	lb/pulg ²	%
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	59.30	19.77			133.60	44.53			208.40	69.47		
1	0	1.27	50	98.30	32.77			166.30	55.43			256.60	85.53		
1	0	1.91	75	134.60	44.87			209.30	69.77			303.80	101.27		
2	0	2.54	100	160.40	53.47	53.47	5.35	242.80	80.93	80.93	8.09	343.20	114.40	114.40	11.44
3	0	3.81	150	200.10	66.70			300.30	100.10			436.20	145.40		
4	0	5.08	200	229.10	76.37	76.37	5.09	345.30	115.10	115.10	7.67	518.80	172.93	172.93	11.53
5	0	6.35	250	257.60	85.87			385.30	128.43			598.80	199.60		
6	0	7.62	300	275.50	91.83			443.00	147.67			673.00	224.33		
8	0	10.16	400	320.70	106.90			532.00	177.33			822.30	274.10		
10	0	12.70	500	353.90	117.97			630.60	210.20			982.00	327.33		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.															
DENSIDADES 1.710 gr/cm ³ 1.775 gr/cm ³ 1.867 gr/cm ³				CBR 0.1 plg 5.35 % 0.2 plg 5.09 % 8.09 % 7.67 % 11.44 % 11.53 %				DENSIDAD MAX 1.820 gr/cm ³ 95% DE DM 1.729 gr/cm ³ CBR 0.1 plg 6.20 % CBR 0.2 plg 5.80 %							

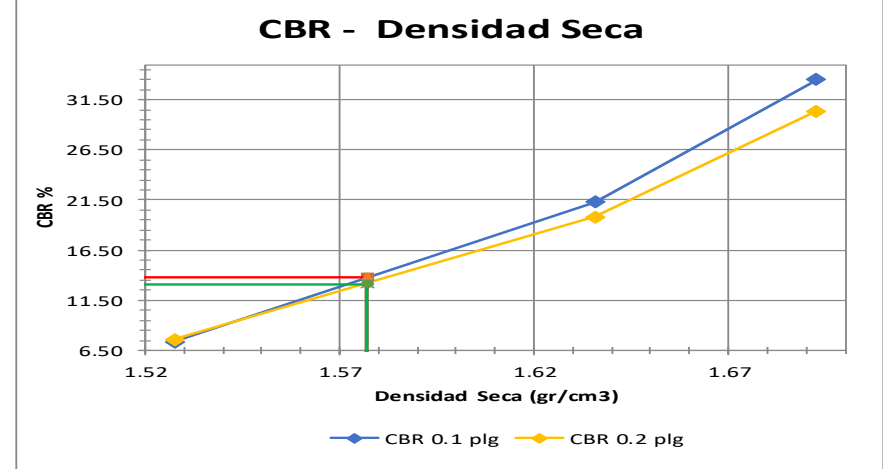
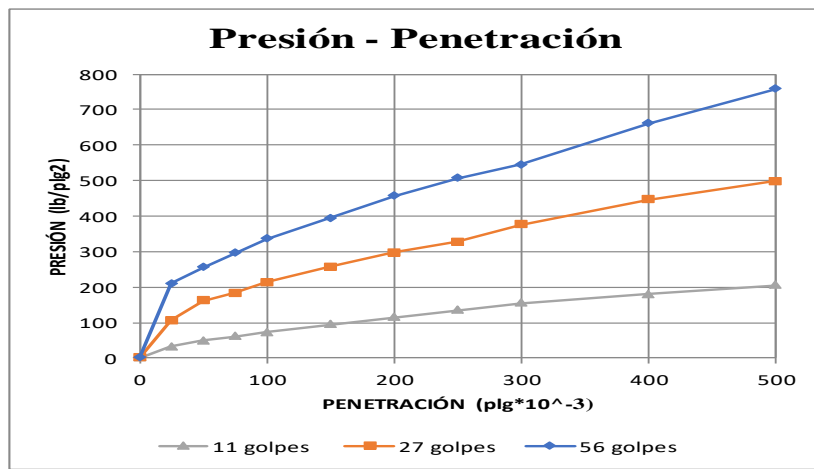
Autor: Christian González

Tabla 153. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 4

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - CHACAPUNO	CAPA VEGETAL:	0.20 m									
MUESTRA:	4 FINAL	PROFUNDIDAD:	0.75 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	756253 m	9854550 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
Nº de Capas	5		5		5							
Nº de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	10499	10876	11518	11660	11569	11691						
Peso Molde	6430		7095		7007							
P. Humedo	4069	4446	4423	4565	4562	4684						
Volumen Muestra	2313.63	2313.63	2292.41	2292.41	2298.47	2298.47						
Densidad Humedad	1.759	1.922	1.929	1.991	1.985	2.038						
Densidad Seca	1.488	1.568	1.610	1.661	1.669	1.717						
Den. Seca Prom.	1.528		1.636		1.693							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente Nº	55	52	55	52	58	78	58	78	84	82	84	82
P. Hum. + Recipiente	109.4	111.0	99.7	105.0	113.3	109.1	88.9	89.0	104.3	109.8	100.4	104.5
P. Seco + Recipiente	97.3	98.6	86.8	91.5	100.4	95.4	79.1	79.5	92.6	97.2	89.5	92.8
Peso Recipiente	30.4	31.0	30.4	31.0	30.7	30.7	30.7	30.7	30.8	30.7	30.8	30.7
Peso Agua	12.1	12.4	12.9	13.5	12.9	13.7	9.8	9.5	11.7	12.6	10.9	11.7
Peso de Sólidos	66.9	67.6	56.4	60.5	69.7	64.7	48.4	48.8	61.8	66.5	58.7	62.1
Contenido Humedad %	18.09	18.34	22.87	22.31	18.51	21.17	20.25	19.47	18.93	18.95	18.57	18.84
Con. Hum. Prom. %	18.21		22.59		19.84		19.86		18.94		18.70	
Datos	MOLDE 1 MOLDE 2 MOLDE 3											
Altura (cm)	12.70	12.70	12.70									
Diametro (cm)	15.23	15.16	15.18									
Area (cm ²)	182.18	180.51	180.98									
Volumen (cm ³)	2313.63	2292.41	2298.47									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	pulg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	95.30	31.77			320.60	106.87			630.40	210.13		
1	0	1.27	50	148.20	49.40			483.00	161.00			766.50	255.50		
1	0	1.91	75	182.40	60.80			549.80	183.27			886.30	295.43		
2	0	2.54	100	219.80	73.27	73.27	7.33	637.70	212.57	212.57	21.26	1005.30	335.10	335.10	33.51
3	0	3.81	150	282.10	94.03			770.90	256.97			1180.60	393.53		
4	0	5.08	200	342.20	114.07	114.07	7.60	890.00	296.67	296.67	19.78	1366.50	455.50	455.50	30.37
5	0	6.35	250	405.00	135.00			979.30	326.43			1520.70	506.90		
6	0	7.62	300	465.30	155.10			1126.10	375.37			1633.60	544.53		
8	0	10.16	400	538.60	179.53			1338.30	446.10			1978.90	659.63		
10	0	12.70	500	613.20	204.40			1494.60	498.20			2272.90	757.63		



GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES	CBR	0.1 plg	0.2 plg	
1.528 gr/cm ³		7.33	7.60	%
1.636 gr/cm ³		21.26	19.78	%
1.693 gr/cm ³		33.51	30.37	%
DENSIDAD MAX		1.661		gr/cm ³
95% DE DM		1.577		gr/cm ³
	CBR 0.1 plg	13.80		%
	CBR 0.2 plg	13.10		%

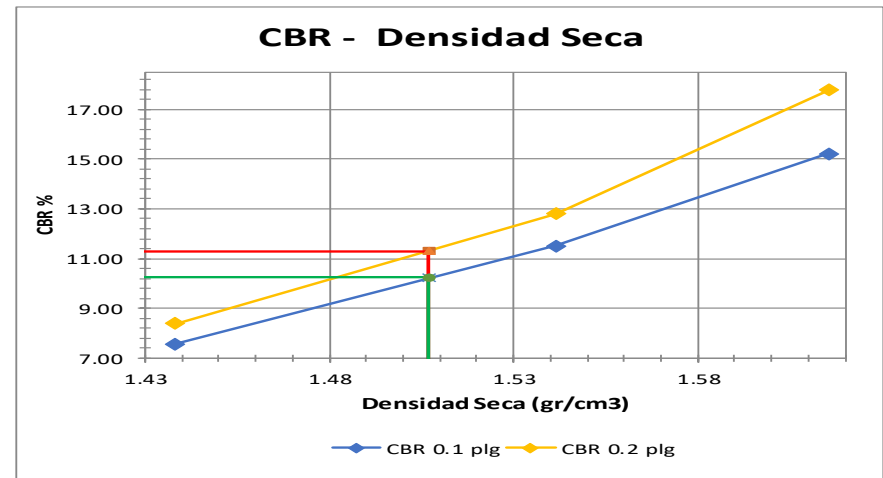
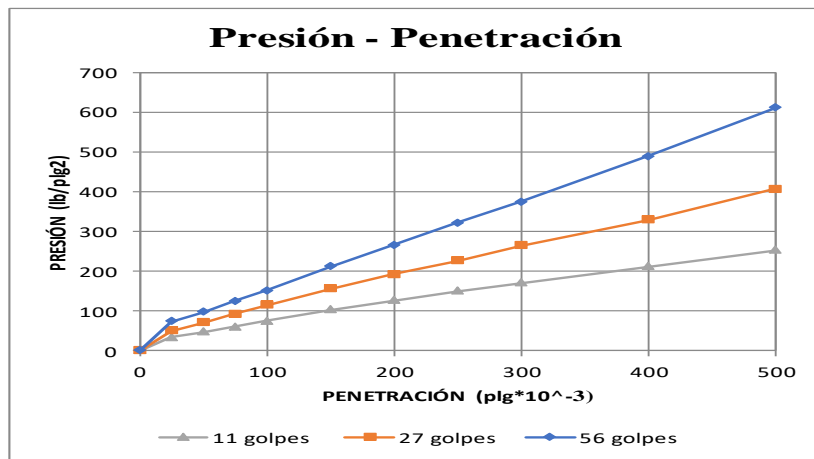
Autor: Christian González

Tabla 154. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ AL' CAPA VEGETAL: 0.20 m											
MUESTRA:	5 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.70 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	756259 m	9855856 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	11176	11725	12508	13051	13958	14339						
Peso Molde	7278		8387		9629							
P. Humedo	3898	4447	4121	4664	4329	4710						
Volumen Muestra	2296.92	2296.92	2280.37	2280.37	2259.29	2259.29						
Densidad Humedad	1.697	1.936	1.807	2.045	1.916	2.085						
Densidad Seca	1.402	1.475	1.488	1.595	1.584	1.647						
Den. Seca Prom.	1.438		1.541		1.615							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	7	8	7	8	5	6	5	6	2	3	2	3
P. Hum. + Recipiente	134.7	139.8	126.0	112.5	135.9	127.8	113.1	123.6	111.3	97.5	93.2	107.0
P. Seco + Recipiente	118.9	122.5	106.3	95.5	119.0	113.0	97.5	105.6	97.6	86.6	80.4	91.9
Peso Recipiente	43.6	40.8	43.6	40.8	40.8	43.5	40.8	43.5	32.8	34.3	32.8	34.3
Peso Agua	15.8	17.3	19.7	17.0	16.9	14.8	15.6	18.0	13.7	10.9	12.8	15.1
Peso de Sólidos	75.3	81.7	62.7	54.7	78.2	69.5	56.7	62.1	64.8	52.3	47.6	57.6
Contenido Humedad %	20.98	21.18	31.42	31.08	21.61	21.29	27.51	28.99	21.14	20.84	26.89	26.22
Con. Hum. Prom. %	21.08		31.25		21.45		28.25		20.99		26.55	
Datos	MOLDE 1 MOLDE 2 MOLDE 3											
Altura (cm)	12.60	12.60	12.50									
Diametro (cm)	15.24	15.18	15.17									
Area (cm2)	182.30	180.98	180.74									
Volumen (cm3)	2296.92	2280.37	2259.29									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	103.30	34.43			152.30	50.77			222.60	74.20		
1	0	1.27	50	143.90	47.97			215.00	71.67			293.20	97.73		
1	0	1.91	75	183.30	61.10			278.20	92.73			375.60	125.20		
2	0	2.54	100	226.90	75.63	75.63	7.56	345.30	115.10	115.10	11.51	456.50	152.17	152.17	15.22
3	0	3.81	150	307.80	102.60			466.30	155.43			633.90	211.30		
4	0	5.08	200	377.80	125.93	125.93	8.40	575.80	191.93	191.93	12.80	799.30	266.43	266.43	17.76
5	0	6.35	250	449.00	149.67			679.30	226.43			963.20	321.07		
6	0	7.62	300	510.60	170.20			793.60	264.53			1123.60	374.53		
8	0	10.16	400	635.20	211.73			987.00	329.00			1465.80	488.60		
10	0	12.70	500	756.00	252.00			1219.30	406.43			1828.30	609.43		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.





DENSIDADES		CBR	0.1 plg	0.2 plg	
1.438	gr/cm ³		7.56	8.40	%
1.541	gr/cm ³		11.51	12.80	%
1.615	gr/cm ³		15.22	17.76	%

DENSIDAD MAX	1.586	gr/cm ³
95% DE DM	1.507	gr/cm ³
CBR 0.1 plg	11.30	%
CBR 0.2 plg	10.25	%

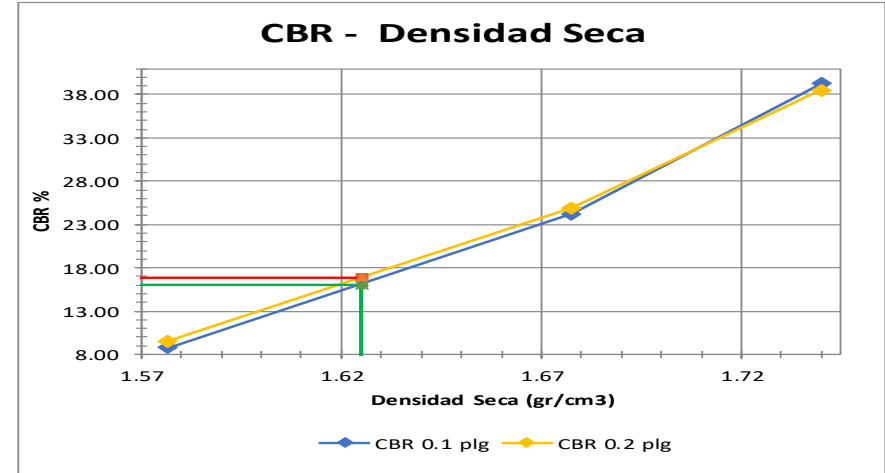
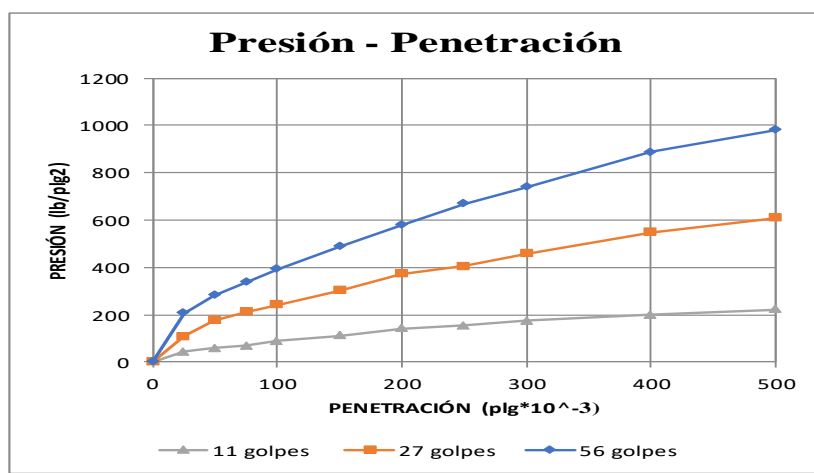
Autor: Christian González

Tabla 155. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	JUAN BENIGNO VELA - PATALÓ AL CAPA VEGETAL:		0.10 m									
MUESTRA:	6 FINAL	PROFUNDIDAD:	0.75 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	756074 m	9855484 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	11384	11826	12655	13252	14082	14412						
Peso Molde	7278		8387		9629							
P. Humedo	4106	4548	4268	4865	4453	4783						
Volumen Muestra	2296.92	2296.92	2280.37	2280.37	2259.29	2259.29						
Densidad Humedad	1.788	1.980	1.872	2.133	1.971	2.117						
Densidad Seca	1.545	1.609	1.622	1.734	1.710	1.770						
Den. Seca Prom.	1.577		1.678		1.740							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	T11	T12	52	55	T13	T14	78	58	T27	T30	82	84
P. Hum. + Recipiente	68.1	65.7	95.4	93.2	63.6	67.5	93.7	91.6	70.9	64.2	88.3	91.6
P. Seco + Recipiente	60.0	57.7	83.2	81.5	56.7	59.0	81.8	80.3	62.8	56.4	79.0	81.5
Peso Recipiente	7.7	7.5	30.9	30.3	8.1	7.9	30.7	30.8	7.5	7.4	30.7	30.8
Peso Agua	8.1	8.0	12.2	11.7	6.9	8.5	11.9	11.3	8.1	7.8	9.3	10.1
Peso de Sólidos	52.3	50.2	52.3	51.2	48.6	51.1	51.1	49.5	55.3	49.0	48.3	50.7
Contenido Humedad %	15.49	15.94	23.33	22.85	14.20	16.63	23.29	22.83	14.65	15.92	19.25	19.92
Con. Hum. Prom. %	15.71		23.09		15.42		23.06		15.28		19.59	
Datos	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3					
Altura (cm)	12.60			12.60			12.50					
Diametro (cm)	15.24			15.18			15.17					
Area (cm2)	182.30			180.98			180.74					
Volumen (cm3)	2296.92			2280.37			2259.29					

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %	Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %	Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	133.30	44.43			326.60	108.87			618.80	206.27		
1	0	1.27	50	173.20	57.73			529.90	176.63			843.80	281.27		
1	0	1.91	75	203.90	67.97			633.80	211.27			1016.40	338.80		
2	0	2.54	100	264.30	88.10	88.10	8.81	726.30	242.10	242.10	24.21	1178.30	392.77	392.77	39.28
3	0	3.81	150	332.90	110.97			905.90	301.97			1463.60	487.87		
4	0	5.08	200	428.30	142.77	142.77	9.52	1120.10	373.37	373.37	24.89	1733.20	577.73	577.73	38.52
5	0	6.35	250	462.20	154.07			1218.40	406.13			2003.50	667.83		
6	0	7.62	300	524.50	174.83			1375.10	458.37			2218.00	739.33		
8	0	10.16	400	599.50	199.83			1646.00	548.67			2663.00	887.67		
10	0	12.70	500	669.50	223.17			1823.60	607.87			2943.30	981.10		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.





DENSIDADES		CBR		0.1 plg		0.2 plg	
1.577	gr/cm ³	8.81	9.52	%			
1.678	gr/cm ³	24.21	24.89	%			
1.740	gr/cm ³	39.28	38.52	%			

DENSIDAD MAX		1.711		gr/cm ³	
95% DE DM		1.625		gr/cm ³	
CBR 0.1 plg		16.90		%	
CBR 0.2 plg		16.00		%	

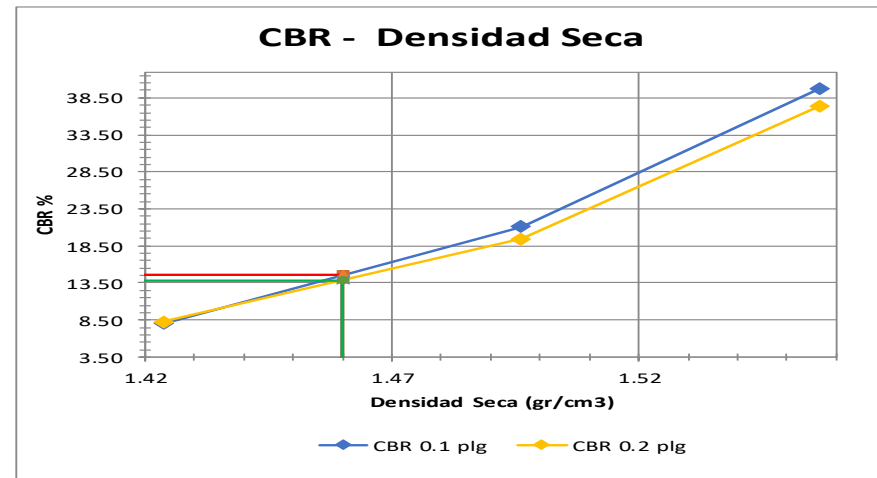
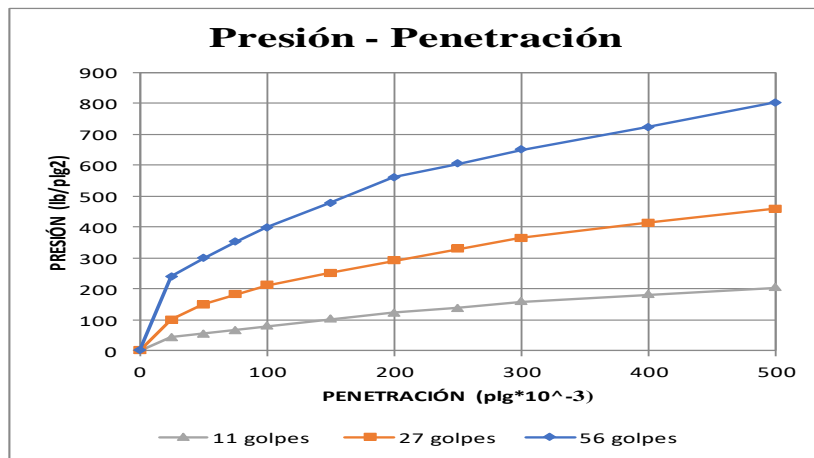
Autor: Christian González

Tabla 156. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 7

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	CHIBULEO SAN FRANCISCO - LA ME CAPA VEGETAL: 0.15 m											
MUESTRA:	7 INICIO	PROFUNDIDAD:		0.70 m								
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:		17 S 754352 m	9854985 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:		10 lb							
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:		18"							
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)		10.50							
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	10383	11050	11254	11781	11377	11768						
Peso Molde	6430		7095		7007							
P. Humedo	3953	4620	4159	4686	4370	4761						
Volumen Muestra	2313.63	2313.63	2292.41	2292.41	2298.47	2298.47						
Densidad Humedad	1.709	1.997	1.814	2.044	1.901	2.071						
Densidad Seca	1.386	1.461	1.466	1.527	1.541	1.573						
Den. Seca Prom.	1.424		1.496		1.557							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	7	82	2	3	70	76	5	6	T34	32	7	8
P. Hum. + Recipiente	128.9	108.6	101.6	111.0	137.7	96.7	108.1	114.5	64.1	105.4	105.7	103.0
P. Seco + Recipiente	110.7	93.9	83.2	90.3	122.1	84.2	91.2	96.3	53.4	90.5	90.8	87.9
Peso Recipiente	32.8	30.6	32.6	34.2	57.6	30.7	40.7	43.3	7.9	26.4	43.4	40.7
Peso Agua	18.2	14.7	18.4	20.7	15.6	12.5	16.9	18.2	10.7	14.9	14.9	15.1
Peso de Sólidos	77.9	63.3	50.6	56.1	64.5	53.5	50.5	53.0	45.5	64.1	47.4	47.2
Contenido Humedad %	23.36	23.22	36.36	36.90	24.19	23.36	33.47	34.34	23.52	23.24	31.43	31.99
Con. Hum. Prom. %	23.29		36.63		23.78		33.90		23.38		31.71	
Datos	MOLDE 1 MOLDE 2 MOLDE 3											
Altura (cm)	12.70	12.70	12.70									
Diametro (cm)	15.23	15.16	15.18									
Area (cm2)	182.18	180.51	180.98									
Volumen (cm3)	2313.63	2292.41	2298.47									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)					AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²			NORMA: ASTM D-1883			VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min		
											(0,05 pulg/min)				
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10-3		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	131.30	43.77			299.80	99.93			720.60	240.20		
1	0	1.27	50	165.30	55.10			449.90	149.97			893.60	297.87		
1	0	1.91	75	198.60	66.20			542.30	180.77			1053.90	351.30		
2	0	2.54	100	239.50	79.83	79.83	7.98	633.70	211.23	211.23	21.12	1193.30	397.77	397.77	39.78
3	0	3.81	150	306.50	102.17			756.00	252.00			1433.30	477.77		
4	0	5.08	200	370.70	123.57	123.57	8.24	873.30	291.10	291.10	19.41	1682.30	560.77	560.77	37.38
5	0	6.35	250	412.70	137.57			983.60	327.87			1808.30	602.77		
6	0	7.62	300	475.20	158.40			1090.30	363.43			1948.80	649.60		
8	0	10.16	400	546.40	182.13			1239.20	413.07			2163.80	721.27		
10	0	12.70	500	612.60	204.20			1376.30	458.77			2403.80	801.27		



GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES		CBR	0.1 plg	0.2 plg		DENSIDAD MAX	1.537	gr/cm ³
1.424	gr/cm ³		7.98	8.24	%	95% DE DM	1.460	gr/cm ³
1.496	gr/cm ³		21.12	19.41	%	CBR 0.1 plg	14.60	%
1.557	gr/cm ³		39.78	37.38	%	CBR 0.2 plg	13.85	%

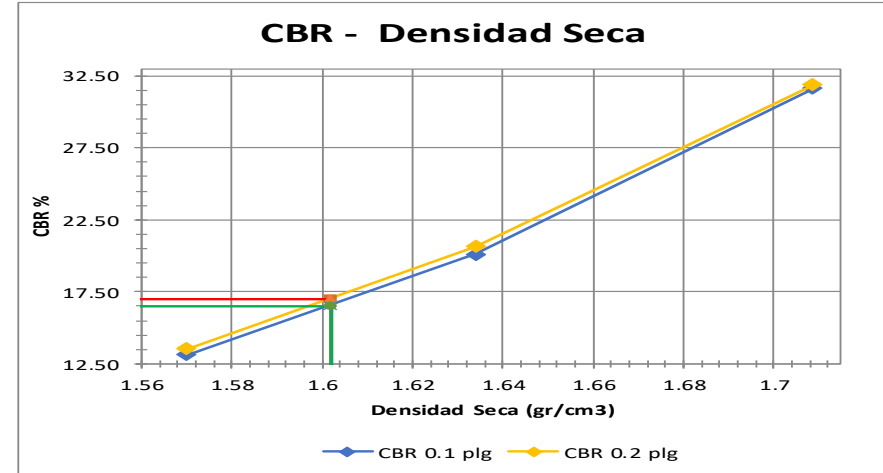
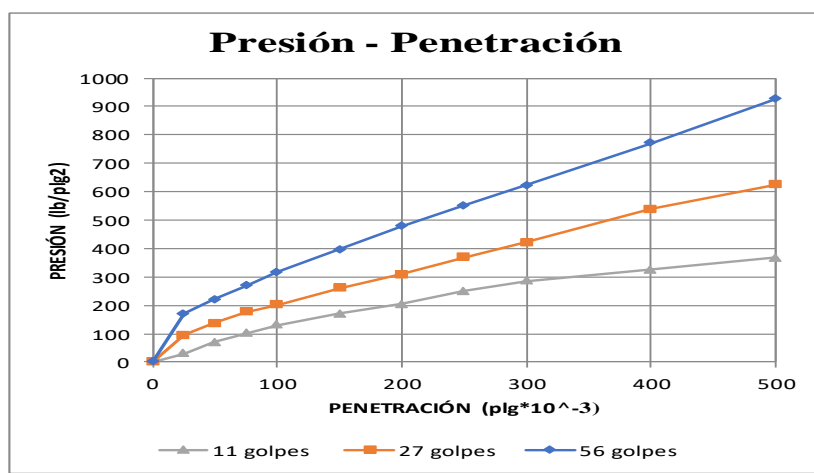
Autor: Christian González

Tabla 157. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 8

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	CHIBULEO SAN FRANCISCO - LA MI CAPA VEGETAL:		0.20 m									
MUESTRA:	8 FINAL		PROFUNDIDAD: 0.70 m									
FECHA:	01/10/2019		COORDENADAS: 17 S 754085 m 9854808 m									
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:		10 lb							
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:		18"							
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)		10.50							
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
Nº de Capas	5		5		5							
Nº de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	10568	10987	11376	11821	11505	12106						
Peso Molde	6430		7095		7007							
P. Humedo	4138	4557	4281	4726	4498	5099						
Volumen Muestra	2313.63	2313.63	2292.41	2292.41	2298.47	2298.47						
Densidad Humedad	1.789	1.970	1.867	2.062	1.957	2.218						
Densidad Seca	1.541	1.599	1.606	1.662	1.684	1.734						
Den. Seca Prom.	1.570		1.634		1.709							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente Nº	T11	T12	52	55	T13	T14	78	58	T30	T34	82	84
P. Hum. + Recipiente	57.7	61.3	92.2	90.7	61.2	65.8	90.8	89.2	78.3	65.4	96.5	95.5
P. Seco + Recipiente	50.8	53.8	80.7	79.3	53.8	57.7	79.2	77.8	68.2	57.5	82.4	81.1
Peso Recipiente	7.6	7.4	30.8	30.3	8.2	8.0	30.7	30.7	7.3	7.7	30.7	30.8
Peso Agua	6.9	7.5	11.5	11.4	7.4	8.1	11.6	11.4	10.1	7.9	14.1	14.4
Peso de Sólidos	43.2	46.4	49.9	49.0	45.6	49.7	48.5	47.1	60.9	49.8	51.7	50.3
Contenido Humedad %	15.97	16.16	23.05	23.27	16.23	16.30	23.92	24.20	16.58	15.86	27.27	28.63
Con. Hum. Prom. %	16.07		23.16		16.26		24.06		16.22		27.95	
Datos	MOLDE 1 MOLDE 2 MOLDE 3											
Altura (cm)	12.70	12.70	12.70									
Diametro (cm)	15.23	15.16	15.18									
Area (cm ²)	182.18	180.51	180.98									
Volumen (cm ³)	2313.63	2292.41	2298.47									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %	Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %	Q Carga lb	Presiones lb/pulg ²		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	89.80	29.93			283.20	94.40			510.60	170.20		
1	0	1.27	50	212.30	70.77			413.10	137.70			660.30	220.10		
1	0	1.91	75	303.30	101.10			528.00	176.00			803.50	267.83		
2	0	2.54	100	393.70	131.23	131.23	13.12	603.90	201.30	201.30	20.13	948.30	316.10	316.10	31.61
3	0	3.81	150	513.40	171.13			779.90	259.97			1186.50	395.50		
4	0	5.08	200	610.30	203.43	203.43	13.56	928.20	309.40	309.40	20.63	1433.40	477.80	477.80	31.85
5	0	6.35	250	748.30	249.43			1105.60	368.53			1653.20	551.07		
6	0	7.62	300	853.90	284.63			1263.30	421.10			1868.30	622.77		
8	0	10.16	400	973.50	324.50			1618.30	539.43			2312.80	770.93		
10	0	12.70	500	1101.70	367.23			1870.60	623.53			2776.20	925.40		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.





DENSIDADES		CBR	0.1 plg	0.2 plg	
1.570	gr/cm ³		13.12	13.56	%
1.634	gr/cm ³		20.13	20.63	%
1.709	gr/cm ³		31.61	31.85	%

DENSIDAD MAX		1.687	gr/cm ³
95% DE DM		1.602	gr/cm ³
CBR 0.1 plg		17.00	%
CBR 0.2 plg		16.50	%

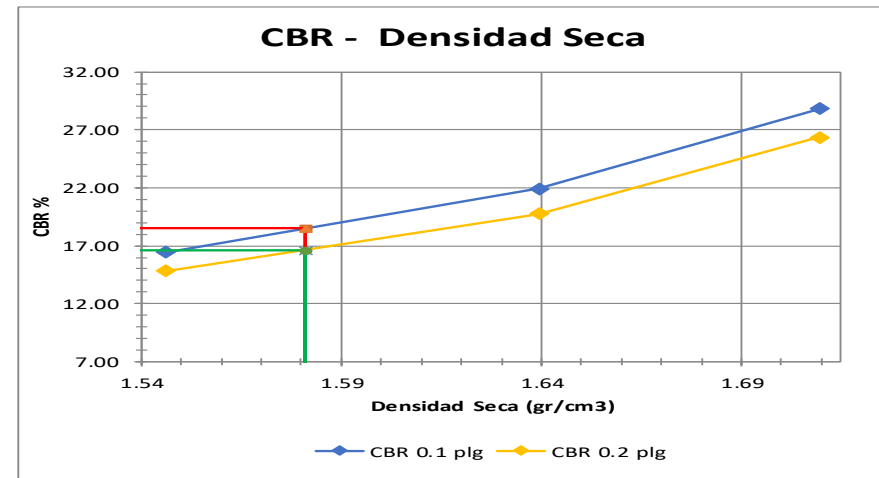
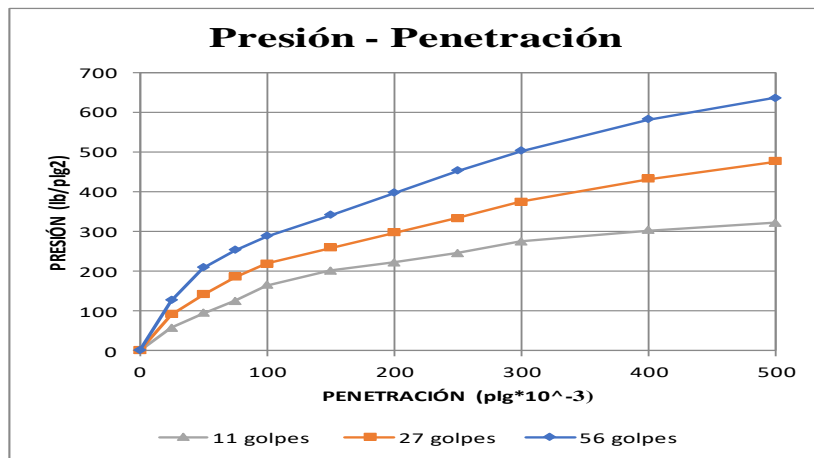
Autor: Christian González

Tabla 158. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 9

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN	CAPA VEGETAL:	0.30 m									
MUESTRA:	9 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.85 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	754524 m	9856136 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	10595	11053	11451	11860	11606	11999						
Peso Molde	6430		7095		7007							
P. Humedo	4165	4623	4356	4765	4599	4992						
Volumen Muestra	2313.63	2313.63	2292.41	2292.41	2298.47	2298.47						
Densidad Humedad	1.800	1.998	1.900	2.079	2.001	2.172						
Densidad Seca	1.517	1.575	1.599	1.680	1.673	1.746						
Den. Seca Prom.	1.546		1.639		1.710							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	7	8	T11	T12	5	6	T13	T14	2	3	T30	T34
P. Hum. + Recipiente	124.5	127.7	61.4	60.4	131.4	129.6	65.6	64.7	114.7	119.2	62.6	61.4
P. Seco + Recipiente	111.9	113.9	49.7	49.4	116.9	116.1	54.3	54.0	101.1	105.5	51.7	50.9
Peso Recipiente	43.6	40.8	7.5	7.1	40.9	43.5	7.9	7.7	32.8	34.3	7.3	7.6
Peso Agua	12.6	13.8	11.7	11.0	14.5	13.5	11.3	10.7	13.6	13.7	10.9	10.5
Peso de Sólidos	68.3	73.1	42.2	42.3	76.0	72.6	46.4	46.3	68.3	71.2	44.4	43.3
Contenido Humedad %	18.45	18.88	27.73	26.00	19.08	18.60	24.35	23.11	19.91	19.24	24.55	24.25
Con. Hum. Prom. %	18.66		26.86		18.84		23.73		19.58		24.40	
Datos	MOLDE1 MOLDE2 MOLDE3											
Altura (cm)	12.70	12.70	12.70									
Diametro (cm)	15.23	15.16	15.18									
Area (cm2)	182.18	180.51	180.98									
Volumen (cm3)	2313.63	2292.41	2298.47									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	173.20	57.73			273.50	91.17			378.30	126.10		
1	0	1.27	50	282.60	94.20			423.20	141.07			623.80	207.93		
1	0	1.91	75	373.80	124.60			556.30	185.43			759.30	253.10		
2	0	2.54	100	493.20	164.40	164.40	16.44	658.20	219.40	219.40	21.94	863.90	287.97	287.97	28.80
3	0	3.81	150	603.30	201.10			773.20	257.73			1019.60	339.87		
4	0	5.08	200	666.30	222.10	222.10	14.81	888.30	296.10	296.10	19.74	1186.60	395.53	395.53	26.37
5	0	6.35	250	736.20	245.40			998.60	332.87			1353.20	451.07		
6	0	7.62	300	823.80	274.60			1123.60	374.53			1506.80	502.27		
8	0	10.16	400	906.20	302.07			1293.60	431.20			1743.80	581.27		
10	0	12.70	500	964.20	321.40			1426.80	475.60			1903.80	634.60		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.





DENSIDADES		CBR		0.1 plg		0.2 plg	
1.546	gr/cm ³	16.44	14.81	%			
1.639	gr/cm ³	21.94	19.74	%			
1.710	gr/cm ³	28.80	26.37	%			

DENSIDAD MAX		1.665		gr/cm ³	
95% DE DM		1.581		gr/cm ³	
CBR 0.1 plg		18.50		%	
CBR 0.2 plg		16.60		%	

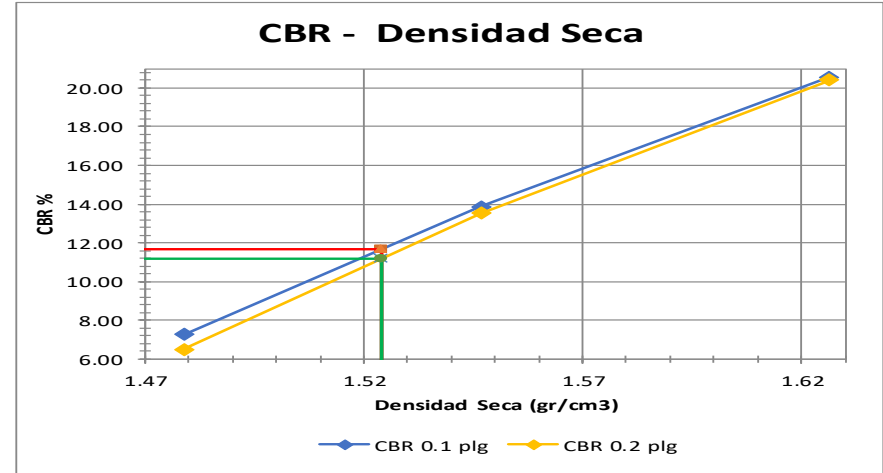
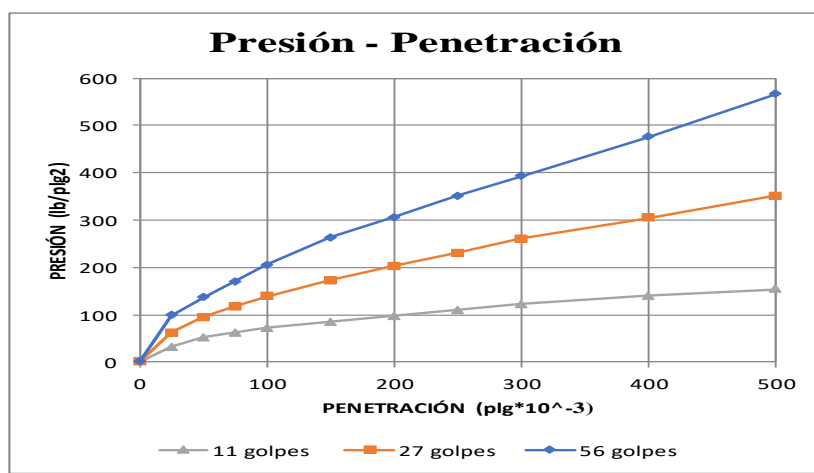
Autor: Christian González

Tabla 159. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 10

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	PILAHUÍN - COMPLEJO AGUAJÁN	CAPA VEGETAL:	0.15 m									
MUESTRA:	10 FINAL	PROFUNDIDAD:	0.85 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	755089 m	9857028 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	11232	11866	12523	13430	13937	14475						
Peso Molde	7278		8387		9629							
P. Humedo	3954	4588	4136	5043	4308	4846						
Volumen Muestra	2296.92	2296.92	2280.37	2280.37	2259.29	2259.29						
Densidad Humedad	1.721	1.997	1.814	2.211	1.907	2.145						
Densidad Seca	1.446	1.511	1.516	1.578	1.602	1.651						
Den. Seca Prom.	1.479		1.547		1.626							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	1	5	1	5	52	55	52	55	82	84	82	84
P. Hum. + Recipiente	97.6	98.7	100.3	98.8	105.3	105.9	90.1	91.5	114.6	120.4	91.5	91.4
P. Seco + Recipiente	85.6	87.0	81.6	80.7	93.1	93.5	76.0	71.4	100.9	106.4	77.4	77.6
Peso Recipiente	23.7	24.2	23.7	24.2	31.0	30.4	31.0	30.4	30.8	30.9	30.8	30.9
Peso Agua	12.0	11.7	18.7	18.1	12.2	12.4	14.1	20.1	13.7	14.0	14.1	13.8
Peso de Sólidos	61.9	62.8	57.9	56.5	62.1	63.1	45.0	41.0	70.1	75.5	46.6	46.7
Contenido Humedad %	19.39	18.63	32.30	32.04	19.65	19.65	31.33	49.02	19.54	18.54	30.26	29.55
Con. Hum. Prom. %	19.01		32.17		19.65		40.18		19.04		29.90	
Datos	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3					
Altura (cm)	12.60			12.60			12.50					
Diametro (cm)	15.24			15.18			15.17					
Area (cm ²)	182.30			180.98			180.74					
Volumen (cm ³)	2296.92			2280.37			2259.29					

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	pulg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
0	0	0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	95.90	31.97			185.00	61.67			296.40	98.80		
1	0	1.27	50	154.70	51.57			283.40	94.47			409.50	136.50		
1	0	1.91	75	187.40	62.47			350.50	116.83			508.90	169.63		
2	0	2.54	100	217.90	72.63	72.63	7.26	415.80	138.60	138.60	13.86	616.80	205.60	205.60	20.56
3	0	3.81	150	253.70	84.57			518.20	172.73			789.80	263.27		
4	0	5.08	200	292.70	97.57	97.57	6.50	608.90	202.97	202.97	13.53	918.00	306.00	306.00	20.40
5	0	6.35	250	329.30	109.77			692.80	230.93			1053.20	351.07		
6	0	7.62	300	367.00	122.33			782.10	260.70			1176.50	392.17		
8	0	10.16	400	420.60	140.20			913.80	304.60			1423.80	474.60		
10	0	12.70	500	462.70	154.23			1053.10	351.03			1695.20	565.07		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.





DENSIDADES		CBR	0.1 plg	0.2 plg	
1.479	gr/cm3		7.26	6.50	%
1.547	gr/cm3		13.86	13.53	%
1.626	gr/cm3		20.56	20.40	%

DENSIDAD MAX	1.605	gr/cm3
95% DE DM	1.524	gr/cm3
CBR 0.1 plg	11.70	%
CBR 0.2 plg	11.20	%

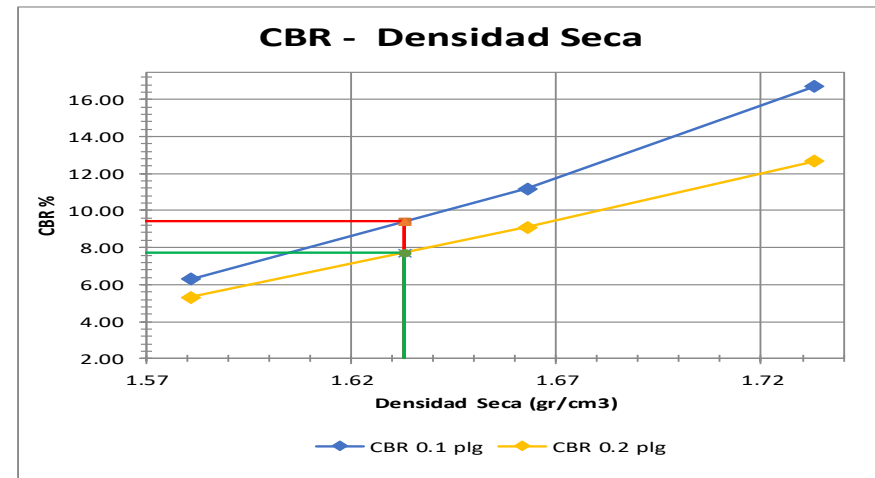
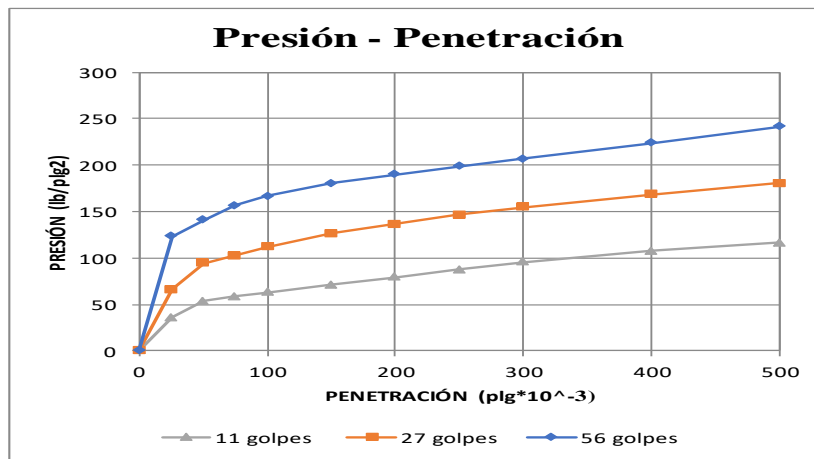
Autor: Christian González

Tabla 160. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 11

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	PILAHUÍN - PALUGSHA	CAPA VEGETAL:	0.25 m									
MUESTRA:	11 INICIO	PROFUNDIDAD:	0.75 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	752855 m	9856573 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO	PESO DEL MARTILLO:	10 lb									
NORMA:	AASHTO T-180	ALTURA DE CAIDA:	18"									
PESO MUESTRA (gr):	6000	CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%)	10.50									
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1	2	3									
N° de Capas	5	5	5									
N° de Golpes	11	27	56									
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	12338	13241	10721	11464	12740	13484						
Peso Molde	8341		6400		8293							
P. Humedo	3997	4900	4321	5064	4447	5191						
Volumen Muestra	2262.54	2262.54	2292.40	2292.40	2279.59	2279.59						
Densidad Humedad	1.767	2.166	1.885	2.209	1.951	2.277						
Densidad Seca	1.543	1.619	1.638	1.688	1.700	1.766						
Den. Seca Prom.	1.581		1.663		1.733							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	T03	T07	T03	T07	T10	T11	T10	T11	T12	T13	T12	T13
P. Hum. + Recipiente	71.9	72.1	74.0	77.1	70.0	73.8	72.3	73.5	74.5	71.2	79.0	74.9
P. Seco + Recipiente	63.9	63.8	57.3	59.5	61.5	65.4	57.1	57.8	65.9	63.0	62.8	59.9
Peso Recipiente	7.9	7.4	7.9	7.4	7.2	7.6	7.2	7.6	7.1	7.9	7.1	7.9
Peso Agua	8.0	8.3	16.7	17.6	8.5	8.4	15.2	15.7	8.6	8.2	16.2	15.0
Peso de Sólidos	56.0	56.4	49.4	52.1	54.3	57.8	49.9	50.2	58.8	55.1	55.7	52.0
Contenido Humedad %	14.29	14.72	33.81	33.78	15.65	14.53	30.46	31.27	14.63	14.88	29.08	28.85
Con. Hum. Prom. %	14.50		33.79		15.09		30.87		14.75		28.97	
Datos	MOLDE 1 MOLDE 2 MOLDE 3											
Altura (cm)	12.40	12.60	12.50									
Diametro (cm)	15.24	15.22	15.24									
Area (cm2)	182.46	181.94	182.37									
Volumen (cm3)	2262.54	2292.40	2279.59									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =		1,27 mm/min		(0,05 pulg/min)	
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
		0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0	0	0.64	25	108.10	36.03			198.80	66.27			369.80	123.27		
1	0	1.27	50	161.70	53.90			283.20	94.40			423.60	141.20		
1	0	1.91	75	175.10	58.37			308.30	102.77			469.20	156.40		
2	0	2.54	100	188.70	62.90	62.90	6.29	335.60	111.87	111.87	11.19	500.70	166.90	166.90	16.69
3	0	3.81	150	214.00	71.33			379.20	126.40			540.70	180.23		
4	0	5.08	200	238.60	79.53	79.53	5.30	409.80	136.60	136.60	9.11	570.30	190.10	190.10	12.67
5	0	6.35	250	262.70	87.57			439.60	146.53			596.30	198.77		
6	0	7.62	300	286.30	95.43			463.90	154.63			620.30	206.77		
8	0	10.16	400	323.00	107.67			506.20	168.73			670.60	223.53		
10	0	12.70	500	349.80	116.60			541.30	180.43			724.30	241.43		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.





DENSIDADES		CBR	0.1 plg	0.2 plg	
1.581	gr/cm ³		6.29	5.30	%
1.663	gr/cm ³		11.19	9.11	%
1.733	gr/cm ³		16.69	12.67	%

DENSIDAD MAX	1.719	gr/cm ³
95% DE DM	1.633	gr/cm ³
CBR 0.1 plg	9.40	%
CBR 0.2 plg	7.70	%

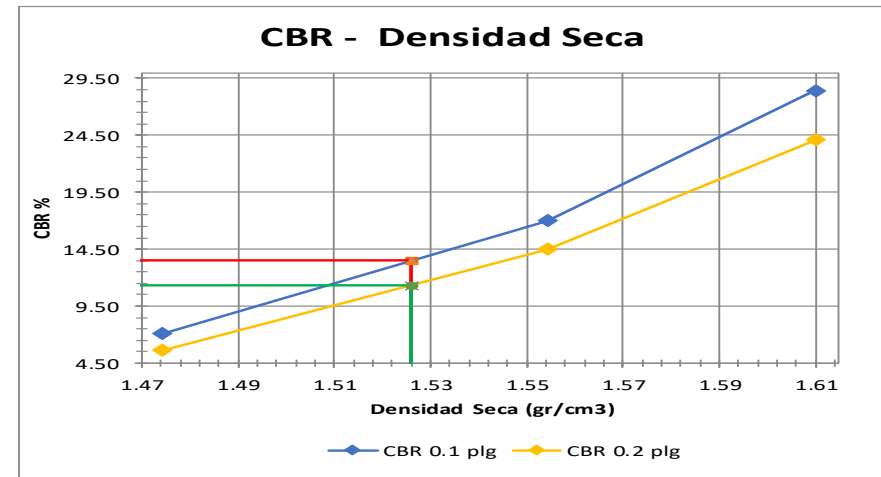
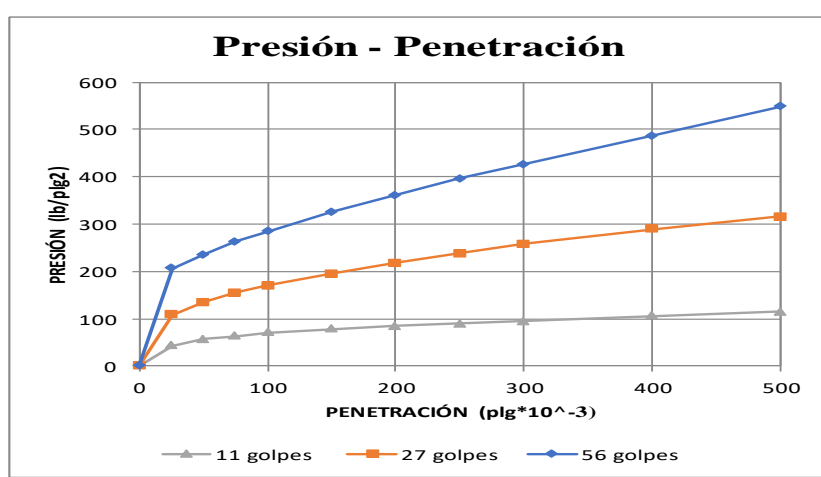
Autor: Christian González

Tabla 161. Tabla de ensayo de la determinación del CBR del pozo 12

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CBR										
PROYECTO:	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS JUAN BENIGNO VELA Y PILAHUÍN, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA											
PARROQUIA:	PILAHUÍN - PALUGSHA	CAPA VEGETAL:	0.20 m									
MUESTRA:	12 FINAL	PROFUNDIDAD:	0.70 m									
FECHA:	01/10/2019	COORDENADAS:	17 S	752788 m	9856260 m							
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO												
TIPO:	PROCTOR MODIFICADO		PESO DEL MARTILLO:	10 lb								
NORMA:	AASHTO T-180		ALTURA DE CAIDA:	18"								
PESO MUESTRA (gr):	6000		CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):	10.50								
ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.												
MOLDE	1		2		3							
N° de Capas	5		5		5							
N° de Golpes	11		27		56							
Cond. Muestra	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo						
P. Hum. + Molde	12255	13107	10824	11549	12600	13252						
Peso Molde	8341		6721		8294							
P. Humedo	3914	4766	4103	4828	4306	4958						
Volumen Muestra	2313.63	2313.63	2292.41	2292.41	2298.47	2298.47						
Densidad Humedad	1.692	2.060	1.790	2.106	1.873	2.157						
Densidad Seca	1.432	1.517	1.517	1.592	1.583	1.637						
Den. Seca Prom.	1.474		1.554		1.610							
CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente N°	T14	T28	T14	T28	T29	T30	T29	T30	T31	T34	T31	T34
P. Hum. + Recipiente	78.1	84.3	76.1	76.6	76.4	73.3	65.7	65.2	79.5	76.7	77.3	74.2
P. Seco + Recipiente	67.3	72.5	58.0	58.5	65.9	63.2	51.2	51.3	68.5	65.8	60.1	58.5
Peso Recipiente	7.8	7.6	7.8	7.6	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.7	7.3	7.7
Peso Agua	10.8	11.8	18.1	18.1	10.5	10.1	14.5	13.9	11.0	10.9	17.2	15.7
Peso de Sólidos	59.5	64.9	50.2	50.9	58.6	55.9	43.9	44.0	61.2	58.1	52.8	50.8
Contenido Humedad %	18.15	18.18	36.06	35.56	17.92	18.07	33.03	31.59	17.97	18.76	32.58	30.91
Con. Hum. Prom. %	18.17		35.81		17.99		32.31		18.37		31.74	
Datos	MOLDE 1 MOLDE 2 MOLDE 3											
Altura (cm)	12.70	12.70	12.70									
Diametro (cm)	15.23	15.16	15.18									
Area (cm ²)	182.18	180.51	180.98									
Volumen (cm ³)	2313.63	2292.41	2298.47									

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN															
Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)					AREA DEL PISTÓN = 3 plg ²		NORMA: ASTM D-1883		VELOCIDAD DE CARGA =			1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Molde Número				1				2				3			
TIEMPO		PENET.		Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %	Q Carga lb	Presiones		CBR %
Min.	Seg.	mm	plg *10 ⁻³		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
				lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²		lb/pulg ²			
0	0	0.64	25	129.50	43.17			323.80	107.93			620.30	206.77		
1	0	1.27	50	170.30	56.77			403.30	134.43			706.30	235.43		
1	0	1.91	75	190.20	63.40			465.40	155.13			789.10	263.03		
2	0	2.54	100	211.98	70.66	70.66	7.07	509.90	169.97	169.97	17.00	852.30	284.10	284.10	28.41
3	0	3.81	150	236.80	78.93			586.80	195.60			975.80	325.27		
4	0	5.08	200	252.60	84.20	84.20	5.61	652.60	217.53	217.53	14.50	1083.80	361.27	361.27	24.08
5	0	6.35	250	269.60	89.87			712.20	237.40			1188.20	396.07		
6	0	7.62	300	285.30	95.10			774.60	258.20			1277.00	425.67		
8	0	10.16	400	316.80	105.60			869.20	289.73			1459.60	486.53		
10	0	12.70	500	343.60	114.53			946.70	315.57			1643.90	547.97		

GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.



DENSIDADES		CBR	0.1 plg	0.2 plg	
1.474	gr/cm ³		7.07	5.61	%
1.554	gr/cm ³		17.00	14.50	%
1.610	gr/cm ³		28.41	24.08	%

DENSIDAD MAX	1.606	gr/cm ³
95% DE DM	1.526	gr/cm ³
CBR 0.1 plg	13.50	%
CBR 0.2 plg	11.30	%

Autor: Christian González