



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES
ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DEL CANTÓN PÍLLARO;
PARROQUIA MARCOS ESPINEL; DE LA PROVINCIA DE
TUNGURAHUA”.**

AUTOR: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

TUTOR: Ing. Msc. Favio Paúl Portilla Yandún

AMBATO – ECUADOR

Marzo – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, con el tema: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DEL CANTÓN PÍLLARO; PARROQUIA MARCOS ESPINEL; DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por la Srta. Patricia Monserrath Manzano Ortiz, portadora de la cedula de ciudadanía: C.I. 1804961264, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.


Ambato, Marzo 2021

Ing. Msc. Favio Paúl Portilla Yandún
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Patricia Monserrath Manzano Ortiz, con C.I. 1804961264, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DEL CANTÓN PÍLLARO; PARROQUIA MARCOS ESPINEL; DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



Patricia Monserrath Manzano Ortiz
C.I: 1804961264
AUTORA

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, Marzo 2021



Patricia Monserrath Manzano Ortiz
C.I: 1804961264
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Patricia Monserrath Manzano Ortiz de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DEL CANTÓN PÍLLARO; PARROQUIA MARCOS ESPINEL; DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado
Miembro Calificador

Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme y ser mi fortaleza en toda mi carrera, en los momentos más difíciles y por permitirme cumplir uno de los anhelos más deseados en mi vida.

A mis padres Patricio y Silvia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en todo momento, sin su sacrificio ningún logro sería posible.

A mi hermano Byron, por ser un gran amigo; por su amor y estar a mi lado siempre en cada etapa de mi vida.

Patricia Monserrath Manzano Ortiz

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar cada paso en mi vida, por ser el apoyo y fortaleza en los momentos de dificultad en este proceso, por darme la paciencia necesaria para culminar mi carrera.

A mi familia por todo su amor, comprensión y motivación; por siempre creer en mi y por todo el apoyo que me han brindado para cumplir mis metas.

A la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por abrirme sus puertas y permitirme estudiar mi carrera, a mis docentes por impartir sus conocimientos que serán muy importantes en mi vida profesional.

A mi tutor, Ing. Favio Portilla, por su apoyo, paciencia y dedicación brindada para el desarrollo de mi trabajo experimental.

A mis amigos: Nancy, Darío, Carlos y Andrés, por todo su apoyo en este proceso, por las risas, aventuras y experiencias vividas en los últimos semestres de la carrera, su amistad la llevaré presente siempre en mi corazón.

Patricia Monserrath Manzano Ortiz

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	3
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	4
1.1.3.1. El Suelo.....	4
1.1.3.2. Tamaño de partículas del suelo.....	4
1.1.3.3. Sistema Unificado de Clasificación de suelos S.U.C.S	5
1.1.3.4. Sistema de Clasificación de suelos AASHTO.....	7
1.1.3.5. Propiedades de los suelos	9
1.1.3.5.1. Propiedades Índice.....	9
1.1.3.5.1.1. Peso Específico de Masa (γ_m).....	10
1.1.3.5.1.2. Contenido de Humedad ($\omega\%$)	10
1.1.3.5.1.3. Peso Específico de Sólidos (γ_s).....	11
1.1.3.5.1.4. Peso Específico Seco (γ_d)	11
1.1.3.5.1.5. Gravedad Específica (S_s)	11
1.1.3.5.1.6. Densidad Aparente (ρ)	11
1.1.3.5.1.7. Relación de Vacíos (e)	11
1.1.3.5.1.8. Porosidad (n)	12

1.1.3.5.1.9. Grado de Saturación de Agua ($G_w\%$).....	12
1.1.3.5.1.10. Grado de Saturación de Aire ($G_a\%$).....	12
1.1.3.5.1.11. Plasticidad	12
1.1.3.5.2. Propiedades Mecánicas.....	14
1.1.3.5.2.1. Compactación.....	14
1.1.3.5.2.2. Prueba de Proctor	16
1.1.3.5.2.3. Cono Dinámico de Penetración.....	19
1.1.3.5.2.4. Relación de Soporte de California.....	21
1.1.3.6. Pavimentos.....	23
1.1.3.6.1. Definición	23
1.1.3.6.2. Componentes	23
1.1.3.6.3. Tipos de Pavimentos.....	25
1.1.3.6.3.1. Pavimentos Flexibles.....	25
1.1.3.6.3.2. Pavimentos Rígidos.....	25
1.1.3.6.3.3. Pavimentos Semirrígidos.....	26
1.1.3.6.4. Diseño de Pavimento Flexible	26
1.1.3.7. Análisis de Correlaciones	34
1.1.3.7.1. Correlación Lineal	35
1.1.3.7.2. Método de los mínimos cuadrados	36
1.1.3.7.3. Correlación Múltiple.....	37
1.1.4. Hipótesis.....	38
1.2 OBJETIVOS.....	38
1.2.1. Objetivo General	38
1.2.2. Objetivos Específicos.....	38
CAPÍTULO II	39
METODOLOGÍA	39
2.1 NIVELES DE INVESTIGACIÓN	39
2.1.1. Investigación Exploratoria	39
2.1.2. Investigación de laboratorio.....	39
2.1.3. Investigación de campo.....	39
2.1.4. Investigación Analítica.....	39

2.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	39
2.2.1.	Población.....	39
2.2.2.	Muestra.....	40
2.3	EQUIPOS Y MATERIALES	43
2.4	MÉTODOS.....	44
2.4.1.	Plan de Recolección de Datos	44
2.4.2.	Ensayos de Campo y Laboratorio	45
2.4.3.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	50
CAPÍTULO III.....		51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		51
3.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	51
3.2	DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 93 79	
3.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	96
CAPÍTULO IV.....		97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		97
4.1	Conclusiones.....	97
4.2	Recomendaciones.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....		102
ANEXOS.....		105
A.	FOTOGRAFÍAS	105
B.	TABLAS DE RESULTADOS	118
C.	CONTEO DE TRÁFICO VEHICULAR.....	202

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo.....	5
Tabla 2. Sistema de Clasificación SUCS	6
Tabla 3. Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO	8
Tabla 4. Fases que componen al suelo - Volumen y Peso	10
Tabla 5. Especificaciones de la prueba Proctor Estándar- Norma ASTM 698.....	17
Tabla 6. Especificaciones de la prueba Proctor Modificada- Norma ASTM 1577...	18
Tabla 7. Valores de carga unitaria.....	22
Tabla 8. Clasificación General de acuerdo con el número CBR.....	23
Tabla 9. Estructura de Pavimento	24
Tabla 10. Relaciones CBR-Mr.....	27
Tabla 11. Periodos de Diseño en función del tipo de carretera.....	28
Tabla 12. Porcentaje de W18 según el carril de diseño	28
Tabla 13. Niveles de serviciabilidad	29
Tabla 14. Valores de Nivel de Confianza R de acuerdo al tipo de camino.....	29
Tabla 15. Factores de Desviación Normal	30
Tabla 16. Espesores Mínimos en pulgadas, en función de los ejes equivalentes.....	31
Tabla 17. Capacidad del Drenaje	34
Tabla 18. Valores m_2 y m_3 para modificar los coeficientes estructurales en pavimentos flexibles.....	34
Tabla 19. Ubicación de las calicatas	40
Tabla 20. Equipos y materiales	43
Tabla 21. Plan de Recolección de Datos	44
Tabla 22. Nomenclatura y Unidades de las variables	51
Tabla 23. Propiedades índice del suelo	52
Tabla 24. Propiedades Mecánicas del Suelo	53
Tabla 25. Correlaciones entre las propiedades del suelo	55
Tabla 26. Vehículos hora pico.....	79
Tabla 27. Índice de crecimiento vehicular	80
Tabla 28. Tráfico actual total del proyecto	81
Tabla 29. Período de Diseño según el tipo de vía	81
Tabla 30. Tráfico para el período de diseño.....	82
Tabla 31. Factor de Daño según el tipo de vehículo	82

Tabla 32. Tráfico futuro a 20 años	83
Tabla 33. Nivel de confiabilidad R	84
Tabla 34. Desviación Estándar Normal Zr.....	84
Tabla 35. Calidad de drenaje.....	89
Tabla 36. Valores m2 y m3 según la capacidad de drenaje.	89
Tabla 37. Diseño de Pavimento CBR laboratorio	91
Tabla 38. Espesores de cada capa del pavimento diseñado	92
Tabla 39. Diseño de Pavimento CBR de la correlación.....	95
Tabla 40. Espesores de cada capa del pavimento diseñado	96
Tabla 41. Ensayo 1 Contenido de Humedad y Granulometría.....	118
Tabla 42. Ensayo 1 Límites de Atterberg.....	119
Tabla 43. Ensayo 1 Densidad de Campo y Gravedad Específica	120
Tabla 44. Ensayo 1 Proctor Modificado.....	121
Tabla 45. Ensayo 1 DCP	122
Tabla 46. Ensayo 1 CBR.....	123
Tabla 47. Ensayo 2 Contenido de Humedad y Granulometría.....	125
Tabla 48. Ensayo 2 Límites de Atterberg.....	126
Tabla 49. Ensayo 2 Densidad de Campo y Gravedad Específica	127
Tabla 50. Ensayo 2 Proctor Modificado.....	128
Tabla 51. Ensayo 2 DCP	129
Tabla 52. Ensayo 2 CBR.....	130
Tabla 53. Ensayo 3 Contenido de Humedad y Granulometría.....	132
Tabla 54. Ensayo 3 Límites de Atterberg.....	133
Tabla 55. Ensayo 3 Densidad de Campo y Gravedad Específica	134
Tabla 56. Ensayo 3 Proctor Modificado.....	135
Tabla 57. Ensayo 3. DCP	136
Tabla 58. Ensayo 3 CBR.....	137
Tabla 59. Ensayo 4 Contenido de Humedad y Granulometría.....	139
Tabla 60. Ensayo 4 Límites de Atterberg.....	140
Tabla 61. Ensayo 4 Densidad de Campo y Gravedad Específica	141
Tabla 62. Ensayo 4 Proctor Modificado.....	142
Tabla 63. Ensayo 4 DCP	143
Tabla 64. Ensayo 4 CBR.....	144

Tabla 65. Ensayo 5. Contenido de Humedad y Granulometría.....	146
Tabla 66. Ensayo 5 Límites de Atterberg.....	147
Tabla 67. Ensayo 5 Densidad de Campo y Gravedad Específica	148
Tabla 68. Ensayo 5 Proctor Modificado.....	149
Tabla 69. Ensayo 5 DCP	150
Tabla 70. Ensayo 5 CBR	151
Tabla 71. Ensayo 6 Contenido de Humedad y Granulometría.....	153
Tabla 72. Ensayo 6 Límites de Atterberg.....	154
Tabla 73. Ensayo 6 Densidad de Campo y Gravedad Específica	155
Tabla 74. Ensayo 6 Proctor Modificado.....	156
Tabla 75. Ensayo 6 DCP	157
Tabla 76. Ensayo 6 CBR	158
Tabla 77. Ensayo 7 Contenido de Humedad y Granulometría.....	160
Tabla 78. Ensayo 7 Límites de Atterberg.....	161
Tabla 79. Ensayo 7 Densidad de Campo y Gravedad Específica	162
Tabla 80. Ensayo 7 Proctor Modificado.....	163
Tabla 81. Ensayo 7 DCP	164
Tabla 82. Ensayo 7 CBR	165
Tabla 83. Ensayo 8 Contenido de Humedad y Granulometría.....	167
Tabla 84. Ensayo 8 Límites de Atterberg.....	168
Tabla 85. Ensayo 8 Densidad de Campo y Gravedad Específica	169
Tabla 86. Ensayo 8 Proctor Modificado.....	170
Tabla 87. Ensayo 8 DCP	171
Tabla 88. Ensayo 8 CBR	172
Tabla 89. Ensayo 9 Contenido de Humedad y Granulometría.....	174
Tabla 90. Ensayo 9 Límites de Atterberg.....	175
Tabla 91. Ensayo 9 Densidad de Campo y Gravedad Específica	176
Tabla 92. Ensayo 9 Proctor Modificado.....	177
Tabla 93. Ensayo 9 DCP	178
Tabla 94. Ensayo 9 CBR	179
Tabla 95. Ensayo 10 Contenido de Humedad y Granulometría.....	181
Tabla 96. Ensayo 10 Límites de Atterberg.....	182
Tabla 97. Ensayo 10 Densidad de Campo y Gravedad Específica	183

Tabla 98. Ensayo 10 Proctor Modificado.....	184
Tabla 99. Ensayo 10 DCP	185
Tabla 100. Ensayo 10 CBR	186
Tabla 101. Ensayo 11 Contenido de Humedad y Granulometría.....	188
Tabla 102. Ensayo 11 Límites de Atterberg.....	189
Tabla 103. Ensayo 11 Densidad de Campo y Gravedad Específica	190
Tabla 104. Ensayo 11 Proctor Modificado.....	191
Tabla 105. Ensayo 11 DCP	192
Tabla 106. Ensayo 11 CBR	193
Tabla 107. Ensayo 12 Contenido de Humedad y Granulometría.....	195
Tabla 108. Ensayo 12 Límites de Atterberg.....	196
Tabla 109. Ensayo 12 Densidad de Campo y Gravedad Específica	197
Tabla 110. Ensayo 12 Proctor Modificado.....	198
Tabla 111. Ensayo 12 DCP	199
Tabla 112. Ensayo 12 CBR	200
Tabla 113. Conteo tráfico vehicular 1	202
Tabla 114. Conteo tráfico vehicular 2.....	203
Tabla 115. Conteo tráfico vehicular 3	204
Tabla 116. Conteo tráfico vehicular 4.....	205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rangos de plasticidad para la Clasificación Unificada de Suelos.	7
Figura 2. Rangos del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6, A-7.....	9
Figura 3. Diagrama de fases que componen el suelo.....	10
Figura 4. Límites de Atterberg.....	13
Figura 5. Principios de compactación.....	14
Figura 6. Tipos de curvas de compactación en suelos.....	15
Figura 7. Representación de equipo DCP según ASTM D-6951-03.....	20
Figura 8. Curva DCP para tres capas diferentes.....	21
Figura 9. Estructura típica de un pavimento.....	24
Figura 10. Capas que forman un pavimento flexible.....	25
Figura 11. Capas que forman un pavimento rígido.....	25
Figura 12. Capas que forman un pavimento semirrígido.....	26
Figura 13. Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica "a ₁ "	31
Figura 14. Ábaco para estimar el número estructural de la capa granular "a ₂ "	32
Figura 15. Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular "a ₃ ".	33
Figura 16. Correlación lineal positiva.....	35
Figura 17. Correlación lineal negativa.....	35
Figura 18. Ubicación de calicatas del proyecto.....	41
Figura 19. Zonificación de los suelos de la parroquia según la clasificación SUCS Y AASHTO.....	42
Figura 20. Pozo a cielo abierto.....	45
Figura 21. Determinación densidad de campo.....	46
Figura 22. Golpes para la penetración de DCP.....	46
Figura 23. Colocación de la muestra de suelo.....	47
Figura 24. Tamizado de la muestra de suelo.....	47
Figura 25. Ensayo Copa Casagrande.....	48
Figura 26. Rollitos de muestra de suelo.....	48
Figura 27. Golpes con el Martillo.....	49
Figura 28. 56 Golpes con el Martillo.....	49
Figura 29. Carta de Plasticidad del SUCS.....	54
Figura 30. Carta de Plasticidad de la AASHTO.....	54

Figura 31. Correlación LP -LL	56
Figura 32. Correlación Gw – Wnatural.....	57
Figura 33. Correlación Ga – Wnatural.....	58
Figura 34. Correlación Wnatural – Gs.....	59
Figura 35. Correlación Wóptima - LL- LP	60
Figura 36. Correlación Wóptima vs LL γ d in situ	61
Figura 37. Correlación Wóptima – LL.....	62
Figura 38. Correlación γ dmáx - LL - γ d in situ.....	63
Figura 39. Correlación γ dmáx - LL – Wnatural	64
Figura 40. γ dmáx - LL – LP	65
Figura 41. Correlación γ d in situ – e.....	66
Figura 42. γ dmáx - LL – % pasa N°200	67
Figura 43. Correlación DN – IP	68
Figura 44. Correlación DN – Wnatural.....	69
Figura 45. Correlación DN – Gw.....	70
Figura 46. Correlación DN - IP – Ga.....	71
Figura 47. Correlación γ d in situ - DN – γ dmáx	72
Figura 48. Correlación Wóptima vs LL – DN	73
Figura 49. Correlación CBR% vs LL% – LP%	74
Figura 50. Correlación CBR% - LP%.....	75
Figura 51. Correlación CBR% - Wnatural%	76
Figura 52. Correlación CBR% -DN.....	77
Figura 53. CBR% -DN.....	78
Figura 54. Carta para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a partir del módulo elástico.	86
Figura 55. Ábaco para estimar el coeficiente estructural a2	87
Figura 56. Ábaco para estimar el coeficiente estructural a3.....	88
Figura 57. Programa AASHTO 93	90
Figura 58. Espesor de cada capa del pavimento diseñado	92
Figura 59. Correlación CBR-DN	93
Figura 60. Programa AASHTO 93, cálculo SN.....	94
Figura 61. Espesor de cada capa del pavimento diseñado	96
Figura 62. Georreferenciación de los pozos.....	105

Figura 63. Extracción de la capa vegetal	105
Figura 64. Excavación del pozo 1m de profundidad	106
Figura 65. Colocación de la placa metálica	106
Figura 66. Extracción del suelo.....	107
Figura 67. Medición de la profundidad con el calibrador Pie de Rey	107
Figura 68. Colocación del cono y arena de Ottawa	108
Figura 69. Medición del peso final de la arena de Ottawa.....	108
Figura 70. Armado del martillo y regla para el ensayo.....	109
Figura 71. Ejecución de golpes del ensayo	109
Figura 72. Toma de temperatura del agua en el picnómetro.....	110
Figura 73. Colocación del suelo en el picnómetro.....	110
Figura 74. Extracción del aire en el picnómetro	111
Figura 75. Peso de la muestra para secar en el horno	111
Figura 76. Peso de la muestra de suelo que será tamizada	112
Figura 77. Ubicación de tamices en el orden correcto para tamizar	112
Figura 78. Tamizado de la muestra de suelo durante 15 minutos.....	113
Figura 79. Peso del suelo retenido en cada tamiz	113
Figura 80. Pulverización de la muestra de suelo con el mortero	114
Figura 81. Colocar la muestra de suelo en la Copa Casagrande.....	114
Figura 82. Separar la muestra de suelo con el ranurador	115
Figura 83. Elaboración de rollitos de espesor 3 mm.....	115
Figura 84. Apisonar con el martillo cada capa de suelo	116
Figura 85. Enrazar el suelo	116
Figura 86. Colocación de pesas en el molde.....	117
Figura 87. Sumergir el molde en agua	117

RESUMEN

El presente trabajo experimental tiene como finalidad determinar la correlación existente entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro, provincia de Tungurahua.

Para la investigación se tomó 12 muestras de suelo de diferentes vías de la parroquia, se realizó una calicata rectangular de 1.50 m x 1.50 m y 1.00 m de profundidad, retirando la capa de suelo vegetal, tomando una muestra alterada aproximadamente 30 kg en cada punto.

Se realizaron ensayos de campo y laboratorio para conocer el tipo de suelo y sus características, finalizados los ensayos se analizaron los resultados y se obtuvieron 22 correlaciones entre las propiedades del suelo cuyo coeficiente de determinación varía entre el 50 por ciento y 97 por ciento, es decir son correlaciones aceptables.

Los resultados obtenidos mediante las correlaciones sirven como guía para diseños preliminares de pavimentos ya que los ensayos que se realizan sirven para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos, además aportará en la zonificación de los diferentes tipos de suelos del cantón Píllaro, provincia de Tungurahua.

ABSTRACT

The purpose of this experimental work is to determine the correlation between the laboratory CBR and the index and mechanical properties of the soils of the Marcos Espinel parish of the Píllaro canton, Tungurahua province.

For the investigation, 12 soil samples were taken from different roads of the parish, a rectangular pit of 1.50 m x 1.50 m and 1.00 m deep was made, removing the topsoil layer, taking an altered sample of approximately 30 kg at each point.

Field and laboratory tests were carried out to know the type of soil and its characteristics, when the tests were completed, the results were analyzed and 22 correlations were obtained between the properties of the soil whose coefficient of determination varies between 50 percent and 97 percent, that is say are acceptable correlations.

The results obtained through the correlations serve as a guide for preliminary pavement designs and that the tests carried out serve to evaluate the quality of the terrain for subgrade, sub-base and pavement base, and will also contribute to the zoning of the different types of soils in the area, Píllaro canton, Tungurahua province.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1. Antecedentes

Para iniciar una construcción en pavimentos es primordial que se evalúe la estabilidad e idoneidad del suelo, esto garantiza que las estructuras se mantengan seguras y puedan resistir asentamientos y colapsos. Para obtener un diseño adecuado el suelo y sus condiciones deben ser estudiados. Es por esta razón que se ha determinado como uno de los parámetros más importantes en el diseño de estructuras de pavimentos el CBR. [1]

Este método ha sido utilizado en todo el mundo, por su sencillez y costo bajo para diseñar pavimentos flexibles. [2]

El ensayo CBR determina la capacidad de soporte del suelo y evalúa la calidad de la sub rasante, base y sub base de pavimentos, pues se obtiene en ensayos de campo y laboratorio. Este tipo de ensayos, los de campo generan costos y tiempos menores además de que sus resultados son más rápidos que los procedimientos de laboratorio que tienden a ser más elaborados y esto produce que el tiempo de entrega de resultados sea mayor, pero su valor obtenido es de mayor confianza. [3]

El DCP mide las propiedades in situ de las capas del suelo que forman parte de un pavimento, de manera no destructiva. [4] Una de las ventajas de su uso es el bajo costo de operación. [5]

Este ensayo da como resultado un valor representativo de penetración por golpe, el cual al aplicar una correlación establecida por numerosos ensayos y al ser aprobada con un valor alto de correlación entre DCP in situ y CBR se obtiene el valor CBR aproximado del suelo. [6]

C.H. Florez G. en su investigación sobre la correlación entre ensayos de Soporte de California (CBR) y Penetración de Cono Dinámico (DCP) ha encontrado mediante un modelo estadístico de regresión, que la desviación estándar es de 0.18, una correlación de 0.93 y el coeficiente de determinación corresponde a 0.86. Al realizar una

comparación de los valores que se calcularon en bases y subbases de estructuras de pavimentos se encontró una diferencia del 300%. Esto determina que el espesor de la estructura del pavimento es más robusto de acuerdo a condiciones geotécnicas e hidrogeológicas, lo que permite el diseño de estructuras de pavimento con condiciones iguales. [7]

Yusep Muslih Purwana, Hamid Nikraz en su artículo “La correlación entre el CBR y la resistencia al corte en condiciones de suelo no saturado” manifiesta que se han desarrollado varias investigaciones, y pruebas de laboratorio para determinar correlaciones entre el CBR y las propiedades de los suelos. Este tipo de correlaciones se aplicaron con ciertas particularidades de los suelos como son el tipo, la densidad, la consistencia y su grado de saturación.

Entre los primeros investigadores que experimentaron con la correlación entre el CBR y la resistencia del suelo se encuentra Scala. Este investigador desarrolló diversas pruebas en Australia utilizando un cono estático. Estas correlaciones se encuentran en curvas de golpes / pulgada-CBR de pruebas DCP, y la capacidad de carga CBR de pruebas de penetración de cono. Varios investigadores han realizado las mismas pruebas en distintos tipos de suelo mostrando resultados que no tienen una variación significativa. [2]

1.1.2. Justificación

La presente investigación tiene como propósito determinar las correlaciones experimentales entre el CBR, DCP y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro.

Los ensayos geotécnicos suministran los datos del suelo que se está estudiando, dichos ensayos se realizan en laboratorio donde se obtiene información de la muestra que se tomó en campo. Además, con ensayos realizados en el terreno se exploran las características geotécnicas del mismo. [8]

Se debe tener en cuenta que para llevar a cabo una obra civil que tenga relación con proyectos viales, es necesario realizar estudios previos para evaluar los materiales de la sub rasante y su capacidad de soporte mediante el índice CBR, que indica la resistencia al cortante y para su determinación se realiza ensayos de campo y laboratorio. [9].

Actualmente el ensayo DCP (Cono Dinámico de Penetración) es uno de los más utilizados para obtener la resistencia en campo, determina valores que son producto de ecuaciones de correlación para determinados tipos de suelos, con los ensayos de CBR con muestras en laboratorio e in situ. [10]

Los resultados obtenidos mediante las correlaciones sirven como guía para diseños preliminares de pavimentos ya que los ensayos que se realizan sirven para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos, además aportarán en la zonificación de los diferentes tipos de suelos del cantón Píllaro, provincia de Tungurahua.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. El Suelo

El suelo es una capa delgada de la corteza terrestre, la cual se origina de la desintegración mecánica y descomposición química de las rocas preexistentes. [11] La descomposición química es la acción de agentes químicos que son la oxidación, carbonatación e hidratación. La desintegración mecánica es la intemperización de la roca por agentes físicos como el sol, agua, viento y glaciares; se forman suelos como las gravas, arenas, limos y ocasionalmente arcilla. [12]

En Ingeniería Civil el suelo se utiliza como material de construcción en varios proyectos y en obras civiles con cimientos como material estructural, por eso es importante que el ingeniero civil realice estudios sobre las propiedades del suelo, tales como la distribución de tamaño de grano, resistencia al corte, compresión y capacidad de soporte de carga. [13]

1.1.3.2. Tamaño de partículas del suelo

El tamaño de las partículas del suelo varía en un amplio intervalo, generalmente los suelos se denominan arena, grava, limo o arcilla, dependiendo del tamaño de las partículas del suelo. Diferentes organizaciones han desarrollado límites de separación de tamaño de suelo para determinar cada tipo de suelo según el tamaño de grano en milímetros.

Las gravas tienen partículas esporádicas de cuarzo, feldespato, y otros minerales. La arena en sus partículas abunda el cuarzo y el feldespato. Los limos son fragmentos finos de cuarzo y fragmentos laminares de minerales micáceos. Las arcillas en su mayoría son partículas laminares microscópicas y submicroscópicas de minerales de arcilla y mica, se las define como partículas que al mezclarse con una cantidad específica de agua desarrollan plasticidad. [13]

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.75 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., linos y arcillas) <0.075	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [13]

1.1.3.3. Sistema Unificado de Clasificación de suelos S.U.C.S

Sistema propuesto por Arthur Casagrande en 1942, y adoptado con mínimas modificaciones por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para la construcción de aeropuertos, [14] describe que los suelos tienen 2 tipos de partículas: gruesas y finas, las cuales se diferencian mediante el tamizado del material por el tamiz N° 200. Los suelos que se quedan retenidos en el tamiz, se denominan suelos gruesos y los suelos finos son los que pasan el tamiz. Así si más del 50% de las partículas de un suelo quedan retenidas en el tamiz N°200 se considera un suelo grueso, y si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz, se considera un suelo fino. [11]

Para la identificación de los suelos se designan por símbolos de grupo los cuales constan de un prefijo que son las iniciales en inglés de los tipos de suelos tales como grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos y turba; y un sufijo que indican las subdivisiones de dichos grupos. [11]

Tabla 2. Sistema de Clasificación SUCS

Divisiones Mayores		Símbolo de grupo	Nombres Típicos	Criterios de clasificación para Suelos granulares		
Suelos de grano grueso (más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas Limpias (Pocos o ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezcladas gravosas, pocos o ningún fino.	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} * D_{60} < 3$	
			GP	Gravas pobremente graduadas, mezcladas grava-arena, pocos o ningún fino.		No cumplir todo los requisitos de gradación para GW
		Gravas con finos (Cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezcla grava arena-limo.	Límite de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
			GC	Grava arcillosas, mezcla grava-arena-arcillosa.	Límite de Atterberg por encima de la línea A ó $I_p > 7$	
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 4)	Arenas Limpias (Poco o ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} * D_{60} < 3$	
			SP	Arenas pobremente graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (Cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena – limo.	Límite de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	Si el material esta con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena -arcilla.	Límite de Atterberg por encima de la línea A ó $I_p > 7$	
Suelos de grano fino (más del 50 % del material pasa el tamiz N° 200)	Limos y arcillas (límite líquido WL < 50)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N° 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Más del 12% - GM, GC, SM, SC De 5 a 12% - Casos de frontera que requieren doble símbolo.		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a mediana, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limos y arcillas (límite líquido WL > 50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos arenosos finos, suelos elásticos.			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.			
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.			

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Joseph E. Bowles [14]

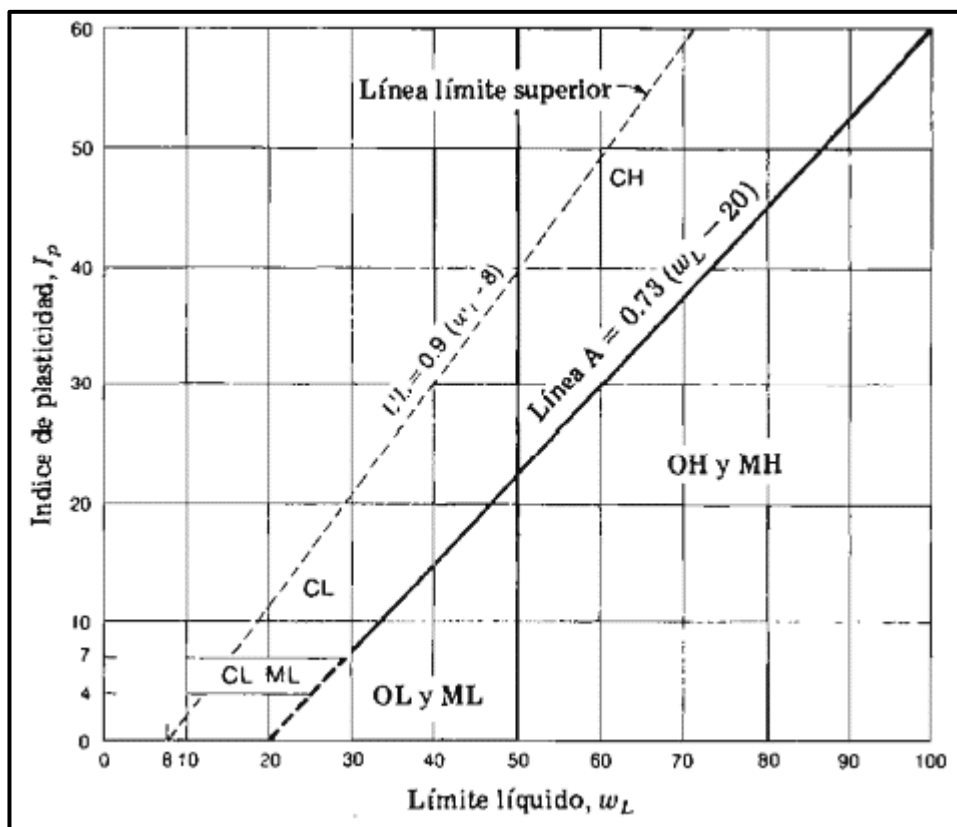


Figura 1. Rangos de plasticidad para la Clasificación Unificada de Suelos.

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Joseph E. Bowles [14]

1.1.3.4. Sistema de Clasificación de suelos AASHTO

Sistema desarrollado en 1929 como Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras, describe que el suelo se clasifica en siete grupos A-1 a A-7, los suelos que se encuentran en los 3 primeros grupos, es decir, A-1, A-2, A-3 son suelos granulares donde el 35% o menos de sus partículas pasan el tamiz N° 200. Los suelos de los grupos A-4, A-5, A-6, A-7, son limos y arcillas, donde más del 35% pasan el tamiz N° 200. Para los grupos de suelos A-2, A-4, A-5, A-6, A-7, se describe un rango de límite líquido y el índice de plasticidad. [13]

Tabla 3. Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N° 200)			
Clasificación de Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10 N° 40 N° 200	50 max 30 max 15 max	50 max 25 max	51 min 10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40 Límite Líquido, WL Índice Plástico, Ip	6 max		NP	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación General de la subrasante	Excelente a bueno							Regular a mano			

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das. [13]

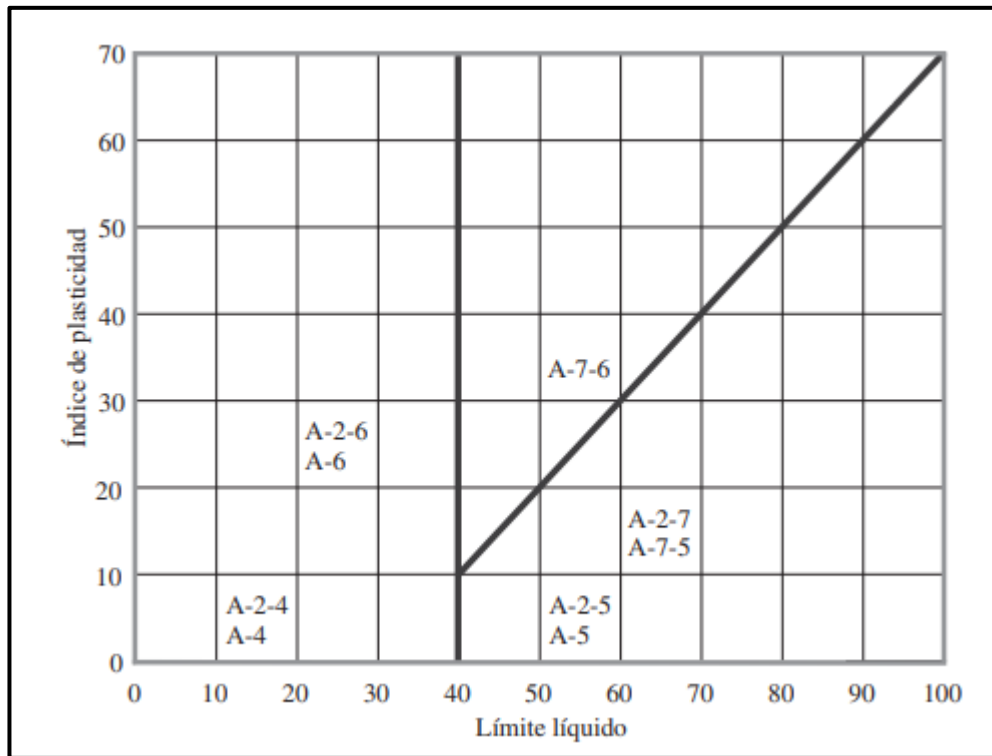


Figura 2. Rangos del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6, A-7

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das. [13]

1.1.3.5. Propiedades de los suelos

1.1.3.5.1. Propiedades Índice

El suelo está compuesto por tres fases que son: aire, agua y sólidos, para describir sus características se deben analizar sus propiedades físicas que permiten definir sus condiciones y comportamiento físico y diferenciar suelos de una misma categoría. [15]

Cada fase tiene peso (W) y volumen (V), se usan los subíndices: **a** para aire, **w** para agua, **s** para sólidos. Al volumen de aire V_a más el volumen de agua V_w se denomina vacíos V_v . [16]

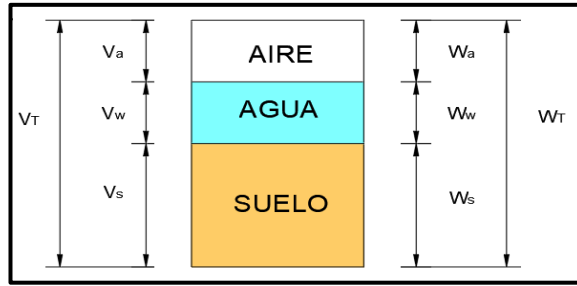


Figura 3. Diagrama de fases que componen el suelo

Fuente: Introducción a la Mecánica de suelos. Universidad Tecnológica de Chile [15]

Tabla 4. Fases que componen al suelo - Volumen y Peso

Volumen total del elemento	V _T	Peso total del elemento	W _T
Volumen de sólidos	V _s	Peso de sólidos	W _s
Volumen de vacíos	V _v	Peso de vacíos	W _v
Volumen de agua intersticial	V _w	Peso de agua intersticial	W _w
Volumen de aire en los poros	V _a	Peso de aire en los poros se supone igual a cero	W _a =0

Fuente: Introducción a la Mecánica de suelos. Universidad Tecnológica de Chile [15]

1.1.3.5.1.1. Peso Específico de Masa (γ_m)

Se define como la relación entre la masa de suelo y el volumen de masa, generalmente se mide en gr/cm^3 . [16]

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

1.1.3.5.1.2. Contenido de Humedad ($\omega\%$)

Se define como la relación entre el peso de agua contenida en el suelo y el peso de la fase sólida, se debe expresar en porcentaje. [16]

$$\omega = \frac{W_\omega}{W_s} * 100\%$$

Cuando la saturación es 100% el valor del contenido de humedad varía entre 15% y 30% para suelos granulares, entre 60% y 70% para suelos arcillosos y supera el 100% cuando son suelos con materia orgánica como la turba. [15]

1.1.3.5.1.3. Peso Específico de Sólidos (γ_s)

Es el cociente entre el peso y el volumen de la fase sólida del suelo. El peso específico relativo de los sólidos. [16]

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

1.1.3.5.1.4. Peso Específico Seco (γ_d)

Es el peso de una muestra seca, dividida entre el volumen de masa. [16]

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

1.1.3.5.1.5. Gravedad Específica (S_s)

Es la relación entre el peso específico de las partículas sólidas y el peso específico del agua a 4°C (1 gr/cm³). No tiene unidades. [16]

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

1.1.3.5.1.6. Densidad Aparente (γ)

Se denomina también densidad húmeda, es la relación entre la masa y el volumen de un suelo. [16]

$$\gamma = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{W_m}{V_m}$$

1.1.3.5.1.7. Relación de Vacíos (e)

Relación del volumen de vacíos de un suelo con respecto al volumen de sólidos de un suelo, se relaciona directamente con la porosidad. [16]

Los valores de la relación de vacíos varían de 0 a 15, si el suelo tiene valores bajos significa que está muy compactado, mientras que, si se tiene valores altos significa que el suelo está muy suelto y como es el caso de las arcillas puede ser compresible altamente. [12]

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_\omega + V_a}{V_s}$$

1.1.3.5.1.8. Porosidad (n)

Se define como el cociente entre el volumen de vacíos de un suelo y el volumen de la masa de un suelo. [16] Se expresa en porcentaje, sus valores van de 0 a 100%. [12]

$$n = \frac{V_v}{V_m}$$

Si el suelo tiene un porcentaje bajo de porosidad significa que está altamente consolidado, al contrario que si tiene un alto porcentaje de porosidad el suelo tiene gran cantidad de vacíos y es compresible. [12]

1.1.3.5.1.9. Grado de Saturación de Agua (G ω %)

Es la relación existente entre el volumen de agua en un suelo y el volumen de vacíos, se expresa en porcentaje. [16] Los valores varían de 0% que es un suelo totalmente seco a 100% que es suelo totalmente saturado. [12]

$$G\omega\% = \frac{V_\omega}{V_v} * 100\%$$

1.1.3.5.1.10. Grado de Saturación de Aire (Ga%)

Es la relación existente entre el volumen de aire en un suelo y el volumen de vacíos, se expresa en porcentaje. [16]

$$Ga\% = \frac{V_a}{V_v} * 100\%$$

1.1.3.5.1.11. Plasticidad

En Mecánica de Suelos la plasticidad se define como la capacidad de un suelo de soportar deformaciones rápidas sin variaciones volumétricas y sin agrietarse. [17] Los límites de Atterberg se utilizan para saber la plasticidad que tiene un suelo, separando los cuatro estados de consistencia del suelo, estos límites son: Límite

Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción. Todos los límites se determinan usando el suelo que pasa el tamiz N° 40.

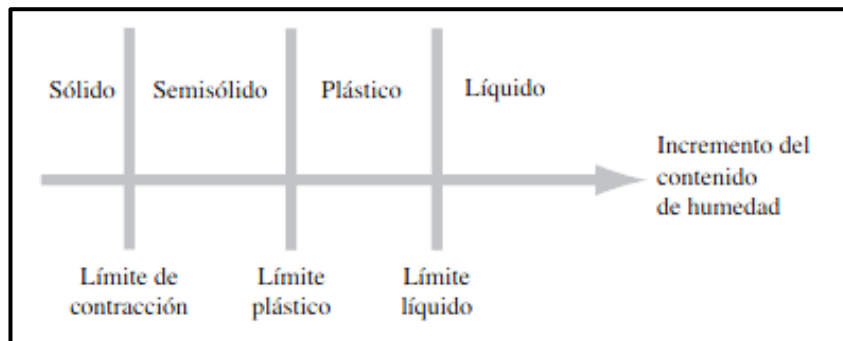


Figura 4. Límites de Atterberg

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [13]

Se denomina Índice Plástico (IP) a la diferencia de los valores del límite líquido y del límite plástico. Se dice que un suelo es no plástico cuando no se puede determinar el límite plástico. Atterberg define que un suelo es no plástico cuando tiene un índice plástico igual a cero, el suelo tiene baja plasticidad cuando el índice plástico es menor a 7, el suelo tiene mediana plasticidad cuando el índice plástico está entre 7 y 17, y cuando el índice de plasticidad es mayor a 17 el suelo es altamente plástico. [11]

Límite Líquido

Se define al límite líquido (LL) como el contenido de humedad en donde el suelo cambia de estado plástico a líquido, se expresa en porcentaje respecto al peso seco de la muestra. Según Atterberg los suelos plásticos tienen una resistencia al esfuerzo de corte en el límite líquido de 25 gr/cm^2 y en el límite líquido el suelo tiene cohesión nula. [11]

Límite Plástico

Se define al límite plástico (LP) como el contenido de humedad en donde el suelo pasa de estado semisólido a plástico, se expresa en porcentaje respecto al peso seco de la muestra secada al horno. [11] El límite plástico es el límite inferior del estado plástico del suelo. [13]

Límite de Contracción

Se define al límite de contracción (LC) como el porcentaje de humedad respecto al peso seco de la muestra, el volumen del suelo no disminuye, aunque se reduzca el agua. Se denomina Índice de Contracción (IC) a la diferencia entre límite plástico y el límite de contracción, el cual señala el rango de humedad del suelo en estado semisólido. [11]

1.1.3.5.2. Propiedades Mecánicas

1.1.3.5.2.1. Compactación

La Compactación se define como el mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas de los suelos, a través de medios mecánicos. Es importante la compactación de los suelos para aumentar su peso específico y disminuir sus vacíos, incrementando así la resistencia y disminuyendo la capacidad de deformación. Las técnicas de compactación generalmente se aplican a rellenos artificiales como son los terraplenes para caminos ferrocarriles, muelles y pavimentos. [17]

El grado de compactación de suelo se mide con respecto a su peso unitario seco, el agua actúa como suavizante de las partículas del suelo cuando se añade al suelo durante la compactación. El peso unitario seco se incrementa a medida que se aumenta el contenido de humedad. Cuando el contenido de humedad es cero, la unidad de peso húmedo es igual a la unidad de peso seco. [13]

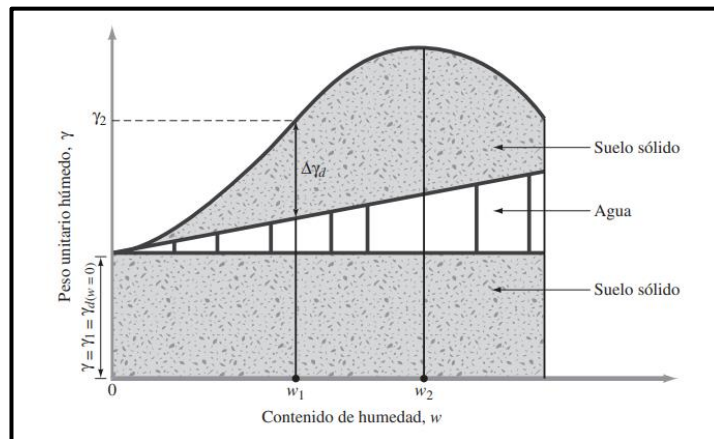


Figura 5. Principios de compactación

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [13]

El peso de los sólidos del suelo en unidad de volumen aumenta cuando se incrementa progresivamente el contenido de humedad y se utiliza para la compactación el mismo esfuerzo compactador. Se denomina contenido de humedad óptimo al contenido en el que se alcanza el peso unitario seco máximo. [13]

Factores que afectan la compactación del suelo

Además del contenido de humedad existen otros factores que afectan la compactación del suelo como son el tipo de suelo y la energía de compactación.

El tipo de suelo tiene gran influencia en el contenido de humedad óptimo y el peso seco máximo. En 1972 Lee y Suedkamp estudiaron 35 muestras de suelos diferentes y observaron cuatro tipos de curvas de compactación, las curvas tipo A se encuentran en suelos con límite líquido entre 30 y 70, las curvas tipo B y tipo C se encuentran en suelos con límite líquido menor a 30 y las curvas tipo D se encuentran en suelos con un límite líquido superior a 70 y son suelos no muy comunes.

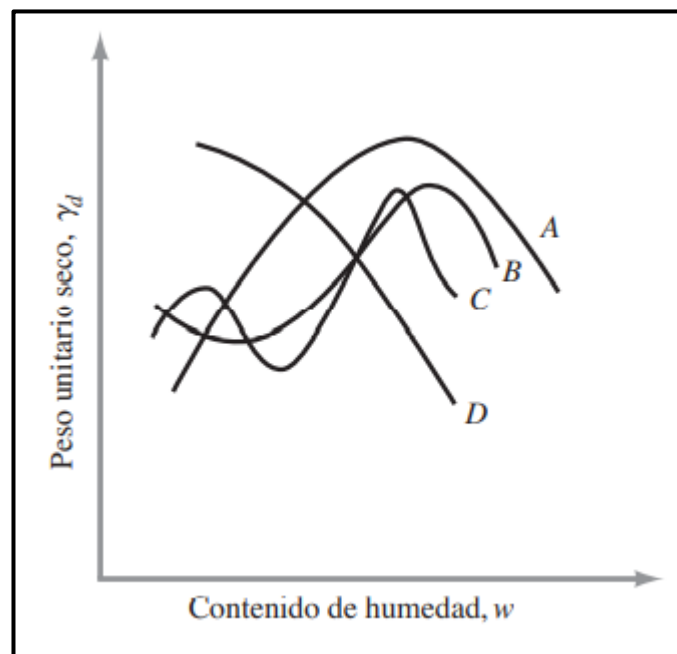


Figura 6. Tipos de curvas de compactación en suelos

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [13]

La energía de compactación por unidad de volumen se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{N * n * w * h}{V}$$

En donde:

- E_c = Energía de Compactación
- N = Número de golpes por capa
- n = Número de capas
- w = Peso del pisón
- h = Altura de caída del pisón
- V = Volumen total del suelo compactado

Valores con los que se puede obtener la energía de compactación de los ensayos estándar y modificados. [12] Al aumentar la energía de compactación se incrementa el peso volumétrico seco máximo y disminuye el contenido de humedad. [11]

1.1.3.5.2.2.Prueba de Proctor

La prueba de Proctor determina el peso por unidad de volumen del suelo compactado, es decir, el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar el suelo y el contenido de humedad al que debe realizarse la compactación, además determina el grado de compactación que alcanza el suelo durante la construcción o cuando ya están construidos caminos o calles, relacionando el peso volumétrico obtenido del sitio con el peso volumétrico máximo Proctor.

La prueba de Proctor se realiza en suelos que pasen totalmente el tamiz N°4 o que máximo esté retenido un 10% del suelo en este tamiz pero que pase totalmente por la malla 3/8". Si el suelo está retenido en la malla 3/8" se debe determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima con la prueba de Proctor Estándar. [11]

Proctor Estándar

La prueba Proctor Estándar es un ensayo de laboratorio que para realizarlo se debe compactar un molde de 101.6 mm de diámetro y 943.3 cm³ de volumen, durante esta prueba el molde se une a una placa en la parte inferior y en la parte superior a una extensión. Se compacta el suelo que es mezclado con cantidades variables de agua en tres capas iguales, se dan 25 golpes cada capa con un martillo que pesa 24.4 N y tiene una altura de caída de 304.8 mm. Este procedimiento está descrito en la Norma ASTM D-698 y la Norma AASHTO T-99. [13]

Tabla 5. Especificaciones de la prueba Proctor Estándar- Norma ASTM 698

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

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [13]

Proctor Modificada

Esta prueba es una modificación de la prueba Proctor Estándar, la cual se modificó para representar mejor las condiciones de campo mediante el uso de rodillos pesados para la compactación en campo. Para realizar esta prueba se debe compactar el molde de 101.6 mm de diámetro y 943.3 cm³ de volumen de igual forma que en la prueba estándar, se dan 25 golpes cada capa con un martillo que pesa 44.5 N y tiene una altura de caída de 457.2 mm. Este procedimiento está descrito en la Norma ASTM D-1557 y la Norma AASHTO T 180. [13]

Tabla 6. Especificaciones de la prueba Proctor Modificada- Norma ASTM 1577

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

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [13]

1.1.3.5.2.3. Cono Dinámico de Penetración

El ensayo de Cono Dinámico de Penetración (DCP) se realiza para estimar la resistencia a la penetración de los suelos en función de la profundidad, se puede correlacionar las diferentes capas del suelo si se tiene información geológica previa de zonas cercanas al sitio. Este ensayo se utiliza generalmente en estudios geotécnicos para obras lineales. [18]

El DCP se desarrolló por Scala en 1956, se utiliza principalmente para determinar la resistencia del suelo y estimar un valor de CBR en campo. La ventaja de realizar este ensayo es su economía y simplicidad en su manejo. [19]

Especificaciones del DCP

En la Norma ASTM D-6951-03 describe la metodología para el uso del DCP en pavimentos, consiste en una barra de acero con un martillo de 8 kg que tiene una altura de caída de 575 mm, en la punta tiene un cono intercambiable de 20 mm de diámetro con un ángulo de 60°. [19]

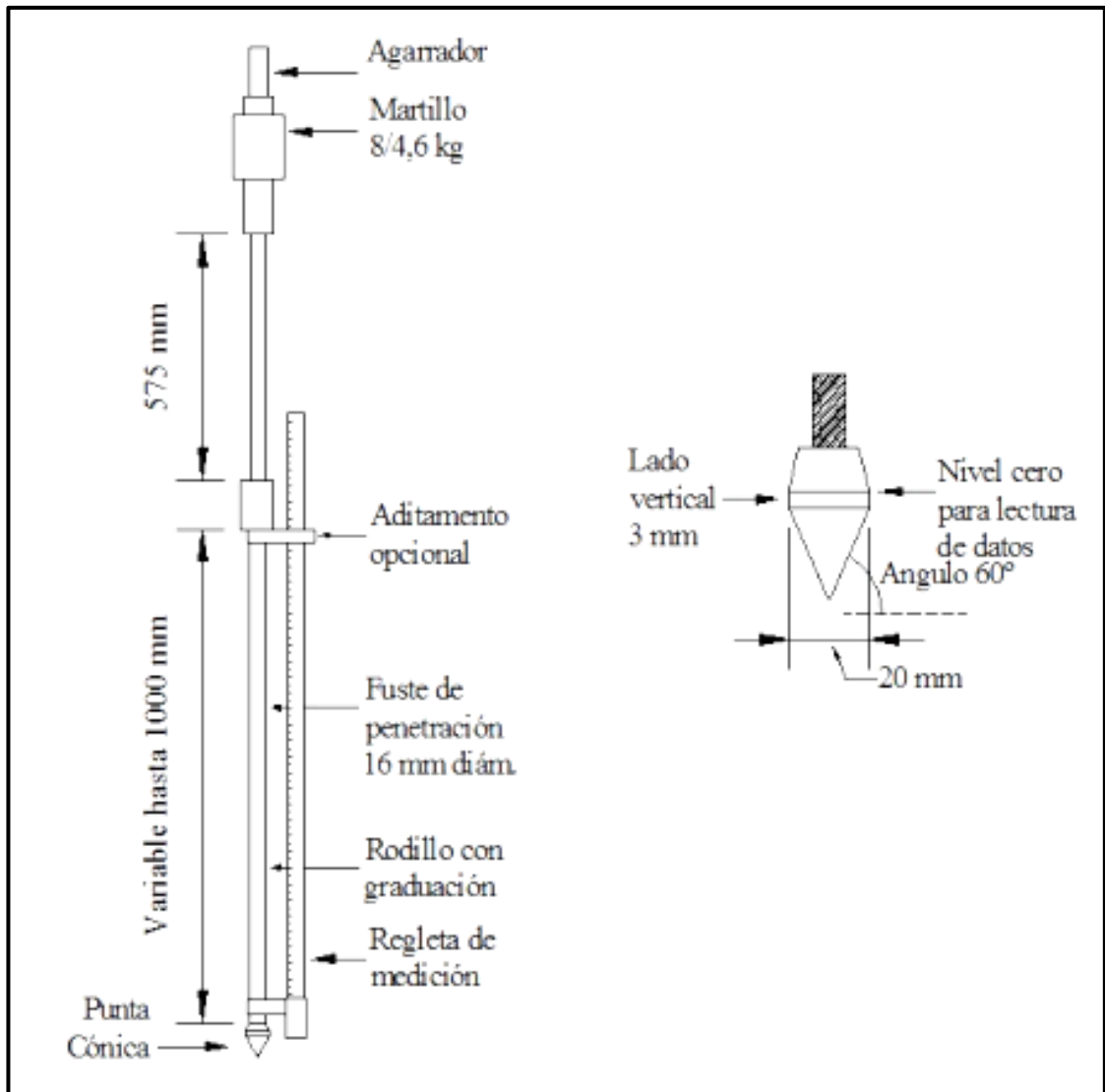


Figura 7. Representación de equipo DCP según ASTM D-6951-03

Fuente: El Cono Dinámico de Penetración y su aplicación en la evaluación de suelos -Viscarra F. [19]

La curva DCP es una representación de la penetración acumulada del equipo en función del número de golpes, se puede observar y determinar el espesor de las capas del suelo, que están representadas mediante rectas. El número DCP es el valor de la curva DCP para una capa específica, se expresa en mm/golpe, la resistencia del suelo será menor si la gradiente es más vertical. [19]

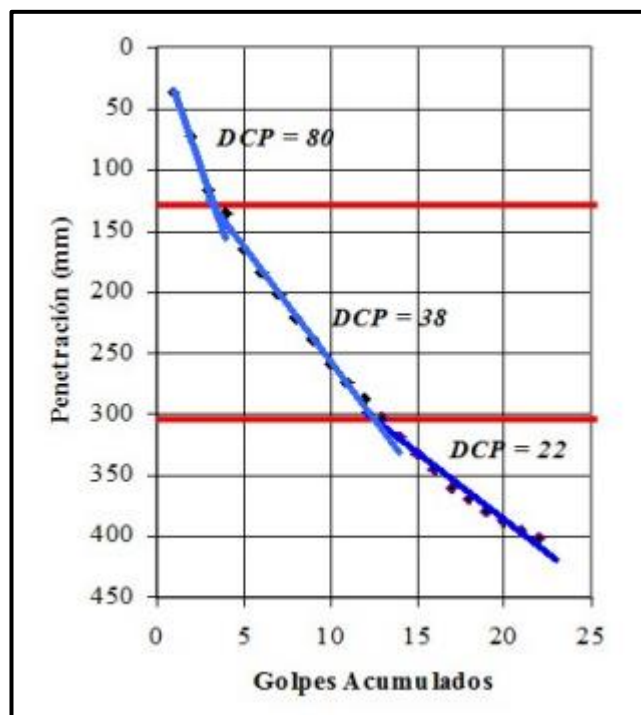


Figura 8. Curva DCP para tres capas diferentes.

Fuente: El Cono Dinámico de Penetración y su aplicación en la evaluación de suelos -Viscarra F. [19]

1.1.3.5.2.4. Relación de Soporte de California

El ensayo de Relación de Soporte California (CBR) fue desarrollado en 1929 por la División de Carreteras de California para determinar la capacidad de un suelo y clasificarlo como material de subrasante o base en las construcción de carreteras. Este ensayo mide la resistencia al corte del suelo en condiciones de humedad controladas.

El valor de CBR se obtiene mediante la relación de la carga unitaria del ensayo para obtener una profundidad de penetración del pistón dentro de una muestra compactada de suelo y de la carga unitaria patrón que se requiere para lograr la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. El número CBR está en porcentaje de la carga unitaria patrón. [14]

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

Tabla 7. Valores de carga unitaria

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN	
mm	pulg	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Joseph E. Bowles [14]

Usualmente el número CBR se establece con la relación de carga para una penetración de 2.5 mm, si el valor de CBR es mayor a una penetración de 5.0 mm se debe repetir el ensayo, si nuevamente el valor de CBR es mayor se debe aceptar como valor final del ensayo. Se establece una relación entre el comportamiento de los suelos para la utilización en base y subrasante bajo pavimentos de carreteras.

Para el diseño de pavimentos se utiliza la tabla siguiente donde se debe ver el número CBR, y se lee directamente el espesor de Subrasante, base y espesor del pavimento flexible. En algunas ocasiones el valor de CBR se convierte a módulo de subrasante antes de entrar a las tablas de diseño de pavimentos. [14]

Tabla 8. Clasificación General de acuerdo con el número CBR

N° CBR	Clasificación General	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Joseph E. Bowles [14]

1.1.3.6. Pavimentos

1.1.3.6.1. Definición

Conjunto de capas conformadas por varios materiales, que absorben de forma directa la carga de tránsito y la transmiten a las capas inferiores, los materiales que conforman los pavimentos deben ser de buena calidad y tener la capacidad de resistir las cargas. [20]

La función principal de un pavimento es proporcionar una superficie de rodamiento para que el tránsito de los vehículos sea seguro y confortable, bajo cualquier condición climática y a velocidades deseadas. [21]

1.1.3.6.2. Componentes

La estructura de un pavimento está formada por una superestructura sobre una fundación; la superestructura está compuesta por la capa de revestimiento y la capa base y la fundación está constituida por la capa sub-base y el suelo compactado. [21]

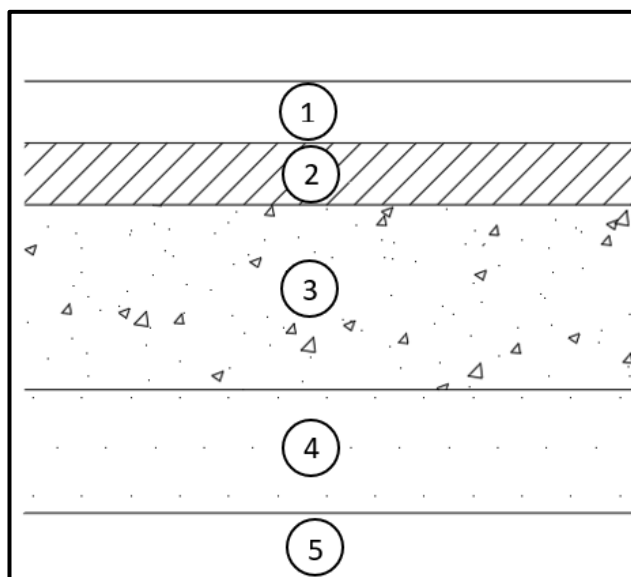


Figura 9. Estructura típica de un pavimento

Fuente: Pavimentos – Universidad Mayor de San Simón [21]

Tabla 9. Estructura de Pavimento

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

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

La capa de rodadura impermeabiliza el pavimento para que las capas inferiores mantengan su capacidad de soporte, proporciona una superficie antideslizante incluso en condiciones de humedad y reducen las tensiones verticales de las cargas sobre la capa base para controlar las deformaciones plásticas. La capa base reduce las tensiones verticales sobre las capas sub-base y suelo natural, drena el agua infiltrada en el pavimento, mediante drenajes laterales longitudinales.

La capa sub-base está conformada por un material con capacidad de soporte mayor a la del suelo compactado, permite la disminución del espesor de la capa base. La capa de suelos compactado es el suelo de terraplén que dependiendo su naturaleza está compactado a una cierta profundidad. [21]

1.1.3.6.3. Tipos de Pavimentos

1.1.3.6.3.1. Pavimentos Flexibles

La superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles es una carpeta asfáltica, las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores mediante la fricción de las partículas de los materiales y la estructura de la carpeta asfáltica sufre pequeñas deformaciones sin romperse. Las capas que forman la estructura del pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base, sub-base y subrasante. [20]

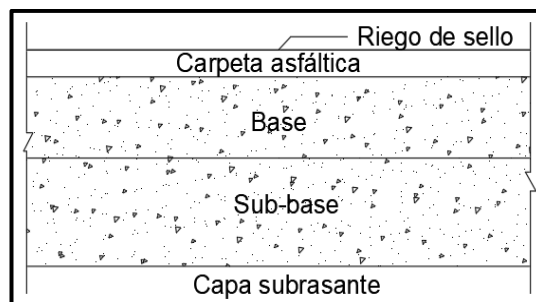


Figura 10. Capas que forman un pavimento flexible

Fuente: Estructuración de vías terrestres. Fernando Olivera Bustamante [20]

1.1.3.6.3.2. Pavimentos Rígidos

La superficie de rodamiento de los pavimentos rígidos es una losa de concreto hidráulico, las cargas de los vehículos se distribuyen en toda la superficie de la losa hacia las capas inferiores. [20] La losa es el principal componente estructural, su alta resistencia a la flexión alivia las tensiones en las capas inferiores. [21]. Los pavimentos rígidos están constituidos por la losa de concreto hidráulico, la capa sub-base y la capa subrasante. [20]

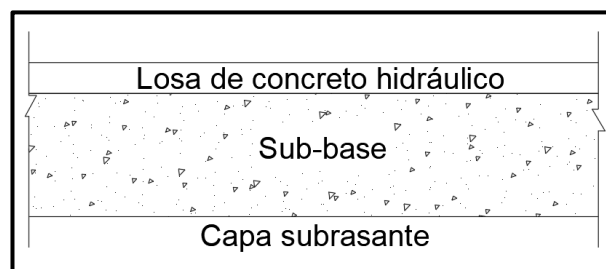


Figura 11. Capas que forman un pavimento rígido

Fuente: Estructuración de vías terrestres. Fernando Olivera Bustamante [20]

1.1.3.6.3.3. Pavimentos Semirrígidos

La estructura de los pavimentos semirrígido está formada por la combinación de pavimentos flexibles y pavimentos rígidos, generalmente la capa flexible está debajo de la capa rígida. [21] La capa base se debe rigidizar con cemento Portland para evitar pequeñas deformaciones de la base y que la carpeta asfáltica se agriete. [20]

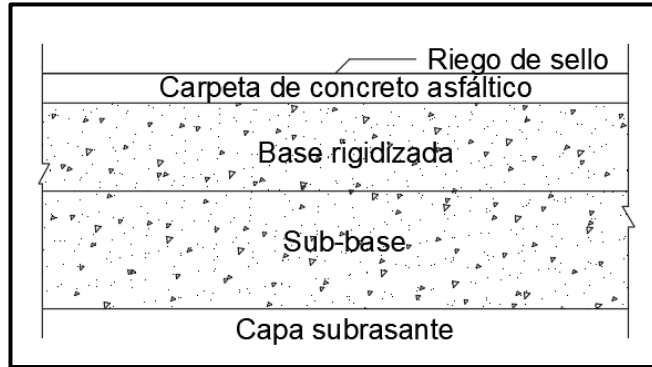


Figura 12. Capas que forman un pavimento semirrígido

Fuente: Estructuración de vías terrestres. Fernando Olivera Bustamante [20]

1.1.3.6.4. Diseño de Pavimento Flexible

El método de diseño para pavimentos flexibles es AASHTO 93, desarrollado en la década de los 60 en Estados Unidos, establece que la superficie de rodamiento está conformada por concreto asfáltico y tratamientos superficiales. Asume que soporta niveles significativos de tránsito. [22]

Ecuación de Diseño Método AASHTO 93

La ecuación propuesta por la norma AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles se basa en encontrar el número estructural (SN) que soporta el nivel de carga requerido. [21]

$$\log W_{18} = Z_r S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log(Mr) - 8.07$$

Donde:

- W_{18} = Número de aplicaciones de carga de 80 KN.
- Z_r = Desviación estándar normal
- S_0 = Desviación estándar global
- SN = Número estructural
- Δ PSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño
- Mr = Módulo de resiliente de la subrasante.

Módulo de Resiliencia

Es característica de la Subrasante, se establece el módulo de resiliencia (Mr) para evaluar las alteraciones en la resistencia del suelo que se produce por las variaciones de contenido de humedad que presenta la subrasante. La AASHTO propone el uso de la relación CBR-Módulo de Resiliencia, para países que no poseen los equipos para determinar el Mr. Con los valores de CBR se pueden obtener los valores de Mr utilizando las siguientes relaciones: [21]

- Para CBR <10%
 $Mr = 1500 * CBR$ (psi)
- Ecuación desarrollada en Sudáfrica
 $Mr = 3000 * CBR$ (psi)
- Para suelos granulares
 $Mr = 4326 * \ln CBR + 241$

El Instituto de Asfalto realizó ensayos de laboratorio en 1982 y obtuvo las siguientes relaciones [21]

Tabla 10. Relaciones CBR-Mr

Tipo de Suelo	% CBR	Mr (psi)
Arena	31	46500
Limo	20	30000
Arena magra	25	37500
Limo-arcilla	25	37500
Arcilla limosa	8	11400
Arcilla pesada	5	7800

Fuente: Pavimentos – Universidad Mayor de San Simón [21]

Periodo de Diseño

El periodo de diseño es el tiempo para el cual se determina las propiedades del pavimento, su comportamiento a largo plazo, con la finalidad de que en el periodo de diseño escogido satisfaga las exigencias del servicio. La AASHTO recomienda los siguientes periodos de diseño para diferentes tipos de carretera. [21]

Tabla 11. Periodos de Diseño en función del tipo de carretera

Tipo de Carretera	Periodo de diseño (años)
Urbana de tránsito elevado.	30-50
Interurbana de tránsito elevado.	20-50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito.	15-25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10-20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

Tránsito Equivalente

Para el cálculo del tránsito equivalente (W_{18}) se toma en cuenta los ejes equivalentes sencillos de 18000 lb acumulados durante el periodo de diseño seleccionado. [22]

Tabla 12. Porcentaje de W_{18} según el carril de diseño

Número de carriles en una dirección	Porcentaje del W_{18} en el carril de diseño
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Fuente: Diseño de Pavimento (AASHTO-93). [22]

Índice de Serviciabilidad

Se define como serviciabilidad a la capacidad del pavimento para proveer un manejo confortable y seguro a los usuarios en un momento determinado. Según los niveles de serviciabilidad se determina la condición del pavimento. [22]

Tabla 13. Niveles de serviciabilidad

PSR	Condición
0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy Buena

Fuente: Diseño de Pavimento (AASHTO-93). [22]

La disminución del índice de serviciabilidad (Δ PSI) representa el deterioro del pavimento y la pérdida de la calidad de servicio de la carretera. [21]

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_f$$

Donde:

- Δ PSI= Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final o terminal deseado.
- p_o = Índice de servicio inicial
- p_f = Índice de servicio final

Nivel de confianza y Desviación Estándar

El nivel de confianza está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las cargas exteriores. La confiabilidad (R) puede ser definida como la probabilidad que el pavimento tenga un comportamiento satisfactorio durante la vida de diseño del proyecto, bajo las cargas exteriores y el intemperismo. [21]

Tabla 14. Valores de Nivel de Confianza R de acuerdo al tipo de camino

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zona rurales
Autopistas	85-99.9	80-99.9
Carreteras de primer orden	80-99	75-95
Carreteras secundarias	80-95	75-95
Carreteras vecinales	50-80	20-80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

Cada valor de confiabilidad R está relacionado estadísticamente con un valor del coeficiente de desviación estándar normal (Z_r) que determina un factor de confiabilidad en conjunto con el factor de desviación estándar global (S_o). [21]
La AASHTO sugiere que el rango de S_o debe estar entre los siguientes valores:

$$0.40 \leq S_o \leq 0.50$$

Tabla 15. Factores de Desviación Normal

Confiabilidad	Z_R	Confiabilidad	Z_R
50	0	92	-1.405
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327

Fuente: Pavimentos – Universidad Mayor de San Simón. [21]

Determinación de espesores por capa

Los espesores de cada capa de la estructura del pavimento están en función del Número Estructural SN, la AASHTO establece la siguiente ecuación para obtener los espesores de cada capa. [21]

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

Donde:

- a_1, a_2, a_3 = Coeficientes estructurales de carpeta, base y sub-base respectivamente.
- D_1, D_2, D_3 = Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente.
- m_2, m_3 = Coeficientes de drenaje para base y sub-base respectivamente.

Para determinar los espesores D_1 y D_2 se sugiere respetar los valores mínimos de acuerdo al tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados. [21]

Tabla 16. Espesores Míminos en pulgadas, en función de los ejes equivalentes

Tránsito en ejes equivalentes	Carpetas de concreto asfáltico (D ₁)	Bases granulares (D ₂)
Menos de 50000	1.0 ó T.S.	4.0
50000-150000	2.0	4.0
150001-500000	2.5	4.0
500001-2000000	3.0	6.0
2000001-7000000	3.5	6.0
Mayor de 7000000	4.0	6.0

T. S= Tratamiento superficial

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

Los coeficientes a_1 , a_2 , a_3 están basados en las correlaciones obtenidas de diferentes pruebas de laboratorio como el Módulo Resiliente, Valor R y CBR. Para su determinación se utiliza los siguientes ábacos. [21]

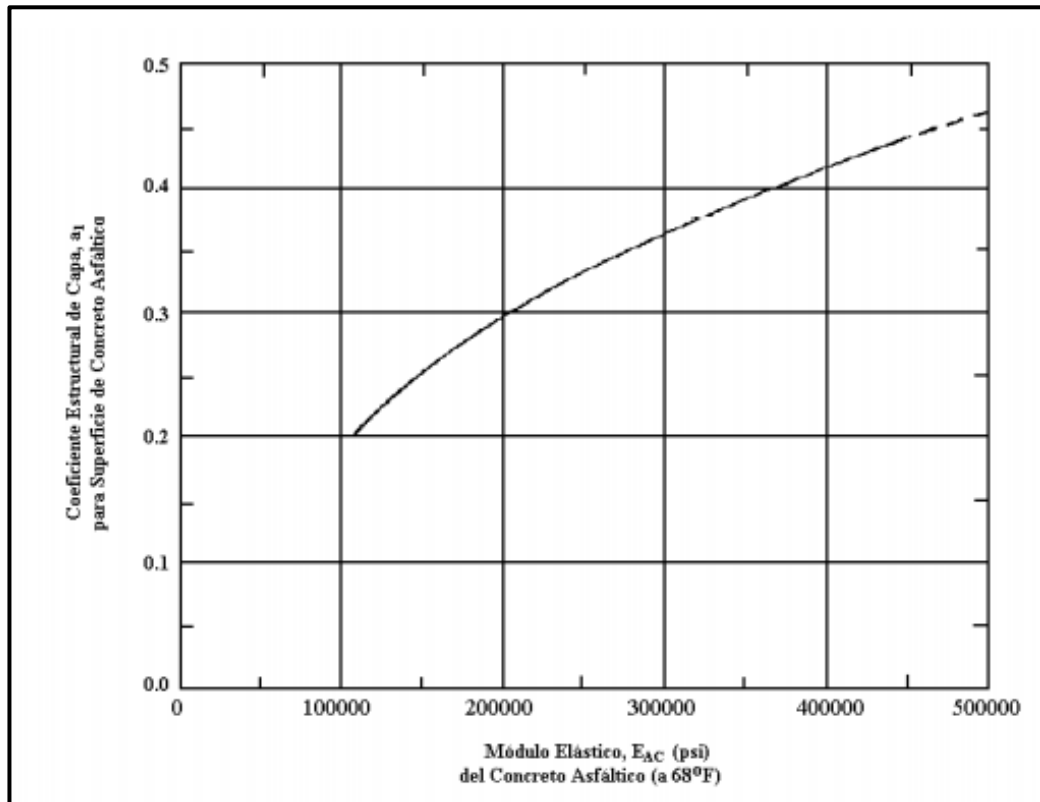


Figura 13. Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica " a_1 "

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

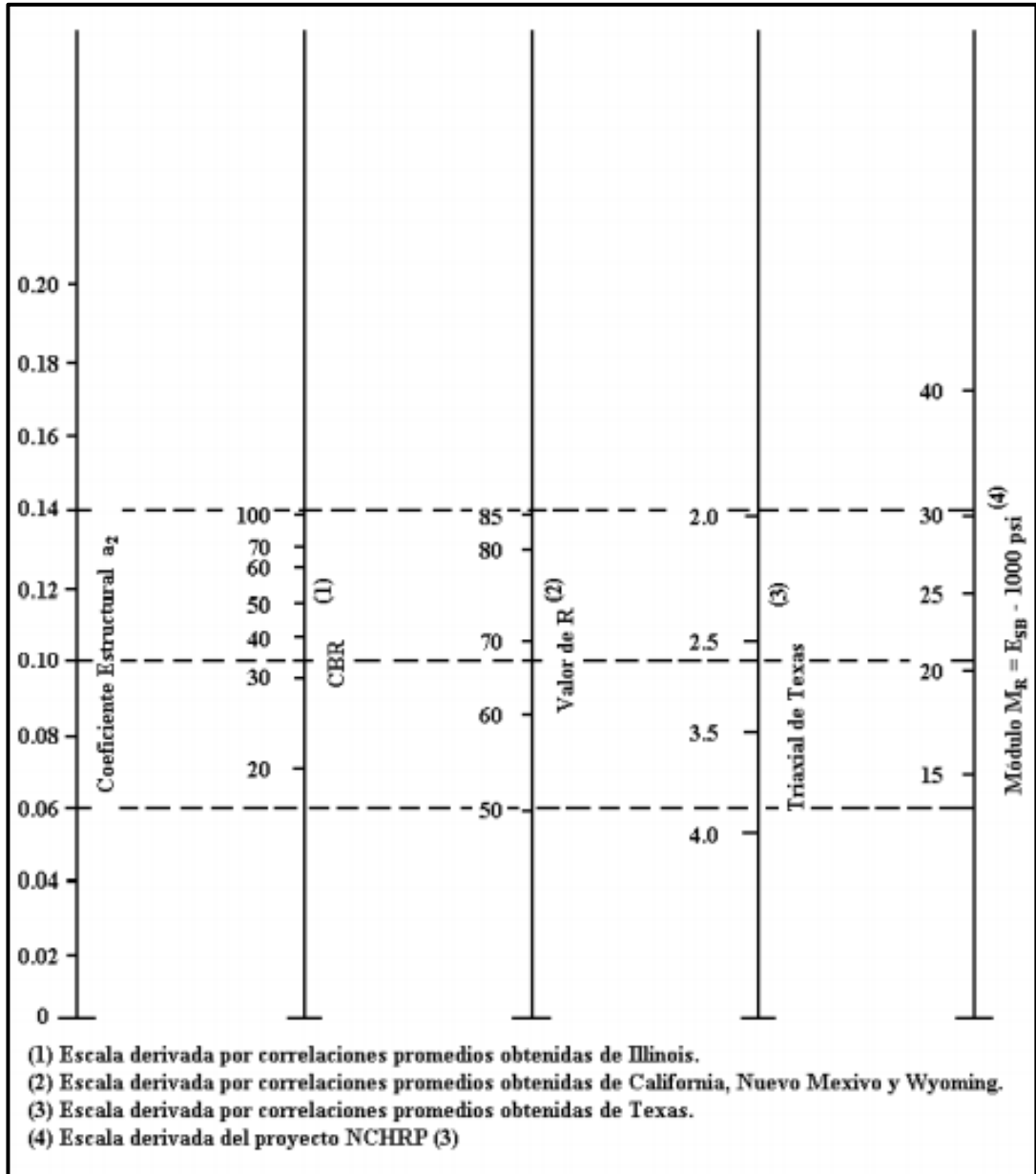


Figura 14. Ábaco para estimar el número estructural de la capa granular "a₂"

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

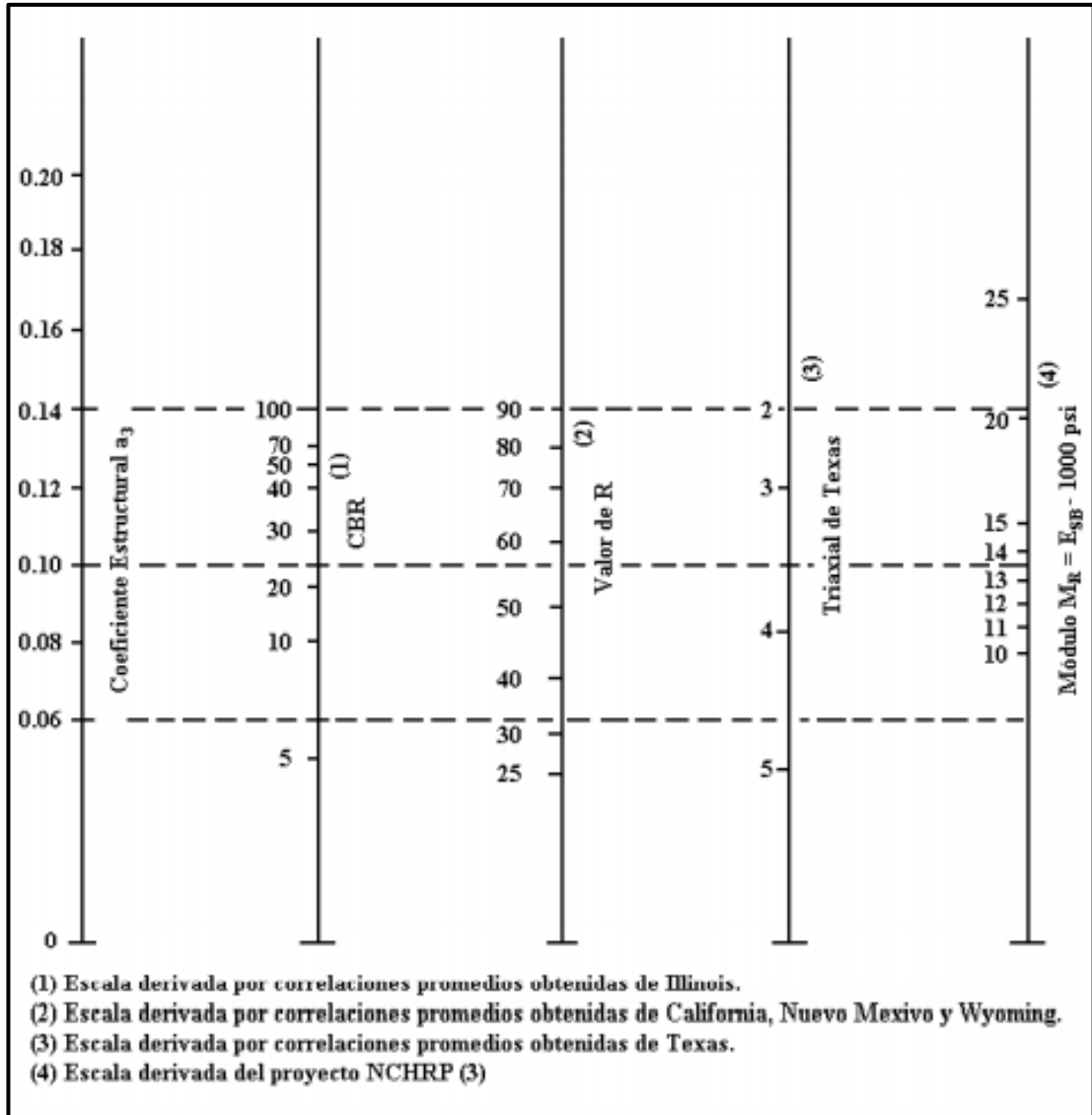


Figura 15. Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular "a3"

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

Coeficiente de Drenaje

El valor del coeficiente de drenaje (C_d) depende de la capacidad de drenaje, es decir, el tiempo que el agua tarda en ser evacuada de las capas granulares del pavimento y el porcentaje de tiempo en que el pavimento está en condiciones de humedad próximos a la saturación, el porcentaje depende de las condiciones de drenaje. [21]

Tabla 17. Capacidad del Drenaje

Calidad de drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drenada

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

La AASHTO de acuerdo a las capacidades de drenaje establece valores de corrección m_2 y m_3 para bases y sub-bases granulares sin estabilizar, en función de la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo a lo largo de un año en el cual la capas del pavimento están expuestas a niveles de humedad. [21]

Tabla 18. Valores m_2 y m_3 para modificar los coeficientes estructurales en pavimentos flexibles

Capacidad de Drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 a 5 %	5 a de 25 %	Más del 25 %
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	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
Malo	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993. [22]

1.1.3.7. Análisis de Correlaciones

Existe correlación cuando dos o más variables se relacionan entre sí de alguna manera. [23] Si los valores de todas las variables satisfacen una ecuación con precisión existe una correlación perfecta entre ellas. Cuando intervienen sólo dos variables es una correlación simple, si intervienen más de dos variables es una correlación múltiple. [24]

1.1.3.7.1. Correlación Lineal

Para dos variables X y Y se utiliza un diagrama de dispersión para mostrar la localización en un sistema de coordenadas rectangulares de los puntos (X, Y). Si todos los puntos en el diagrama están cerca de una línea recta se denomina una correlación lineal. Una correlación es positiva cuando Y tiende a aumentar cuando X aumenta, una correlación es negativa cuando Y tiende a disminuir cuando X aumenta. [24]

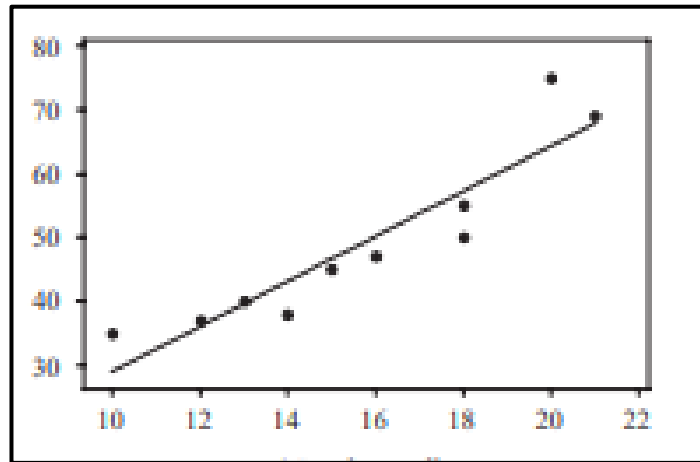


Figura 16. Correlación lineal positiva

Fuente: Estadística. Murray R. Spiegel, Larry J. Stephens. [24]

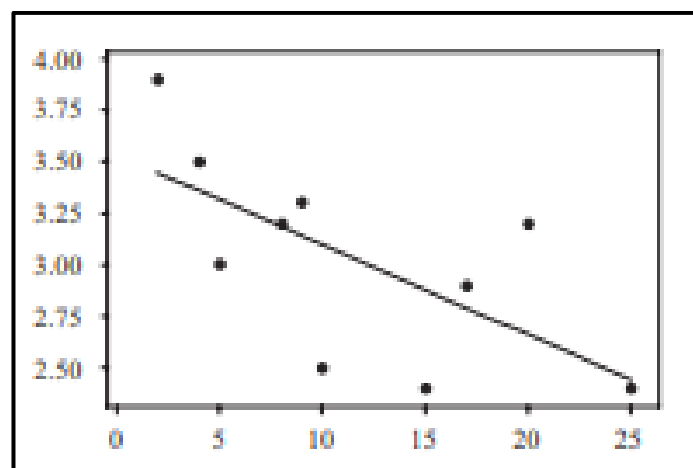


Figura 17. Correlación lineal negativa

Fuente: Estadística. Murray R. Spiegel, Larry J. Stephens. [24]

Coefficiente de correlación lineal

También conocido como coeficiente de correlación de Pearson (r), determina la relación lineal existente en una muestra entre las variables X y Y, se calcula con la siguiente fórmula: [23]

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

Donde:

- r = Coeficiente de correlación lineal de una muestra.
- n = Número de pares de datos presentes
- $\sum x$ = Suma de todos los valores de x
- $\sum x^2$ = Indica que cada valor de x debe elevarse al cuadrado y después deben sumarse esos cuadrados.
- $(\sum x)^2$ = Indica que los valores de x deben sumarse y el total elevarse al cuadrado.
- $(\sum xy)$ = Indica que cada valor de x debe multiplicarse primero por su valor correspondiente. Después de obtener todos estos productos, se calcula la suma.

1.1.3.7.2. Método de los mínimos cuadrados

Es un método de estimación que minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores independientes (X_i) y los valores dependientes Y_i .

$$\sum e_i^2 = \sum (X_i - Y_i)^2 = \text{mínimo}$$

Donde:

- e = Error de la estimación que debe ser mínimo frente a otros modelos, con la finalidad de proporcionar una representación adecuada de los puntos por la línea de regresión establecida. [25]

La recta de mínimos cuadrados de Y sobre X es:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Donde:

- a_0 y a_1 , se obtienen de las siguiente ecuaciones [24]

$$\begin{aligned}\sum Y &= a_0 N + a_1 \sum X \\ \sum XY &= a_0 \sum X + a_1 \sum X^2\end{aligned}$$

1.1.3.7.3. Correlación Múltiple

La correlación múltiple se define como el grado de relación existente entre tres o más variables. Al igual que existen rectas de mínimos cuadrados en un diagrama de dispersión para un conjunto de puntos (X, Y), existen planos de mínimos cuadrados en un diagrama tridimensional para un conjunto de N puntos (X₁, X₂, X₃). Las ecuaciones del método de mínimos cuadrados son: [24]

$$\begin{aligned}\sum Z &= a_0 N + a_1 \sum X + a_2 \sum Y \\ \sum XZ &= a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum XY \\ \sum YZ &= a_0 \sum Y + a_1 \sum XY + a_2 \sum Y^2\end{aligned}$$

1.1.4. Hipótesis

Existe una correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Determinar la correlación entre el CBR de laboratorio, DCP y las propiedades índice y mecánicas de los suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar mediante ensayos de campo y laboratorio las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro.
- Realizar un muestreo representativo de los suelos a lo largo de las distintas vías rurales del cantón Píllaro.
- Aplicar los resultados de la investigación en el diseño de pavimentos para vías rurales, del cantón Píllaro.
- Ampliar la base de datos existente, referente a estudios de correlación entre el CBR de laboratorio, DCP y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la provincia de Tungurahua.
- Zonificar los diferentes suelos de la parroquia en estudio, de acuerdo con la clasificación de suelos SUCS y AASHTO y las propiedades físicas y mecánicas obtenidas.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 NIVELES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Investigación Exploratoria

La investigación del presente proyecto es exploratoria ya que se realiza un recorrido por la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro para la obtención de 12 puntos de las calicatas para la toma de muestras respectivas y realizar los ensayos de campo y laboratorio.

2.1.2. Investigación de laboratorio

La investigación para la obtención de las propiedades y características de los suelos se realiza en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, los ensayos de laboratorio son: Contenido de Humedad, Granulometría, Gravedad Específica, Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR.

2.1.3. Investigación de campo

Se realiza una investigación de campo mediante ensayos in situ como son: El Método del Cono y Arena de Ottawa para la determinación de la densidad de campo y el ensayo DCP.

2.1.4. Investigación Analítica

La investigación es analítica ya que se realiza un análisis e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio para las correlaciones entre el CBR, DCP, las propiedades índice y mecánica.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1. Población

El área donde se realiza el presente proyecto está ubicada en la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro provincia de Tungurahua. La parroquia rural Marcos Espinel tiene una superficie de 110 Km² y una altura de 2950 msnm, posee un clima tropical megatérmico entre 12°C – 20°C. La población es de 2334 habitantes. [26]

2.2.2. Muestra

El número de muestras extraído son 12, las muestras se obtendrán de suelos naturales de subrasante, a los lados de las vías en secciones de corte, retirando la capa vegetal. Para la obtención de cada muestra se debe realizar una calicata rectangular de 1.50 m x 1.50 m y 1.00 m de profundidad, retirando la capa de suelo vegetal. Se toma una muestra alterada de aproximadamente 30 kg en cada punto.

Tabla 19. Ubicación de las calicatas

N° Calicata	Coordenada	
	Norte	Este
1	9869631	778261
2	9870708	781254
3	9868842	785163
4	9872435	786427
5	9867968	777958
6	9869608	774806
7	9870713	775124
8	9871868	776143
9	9874864	791829
10	9877419	789009
11	9870400	789281
12	9875004	795920

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

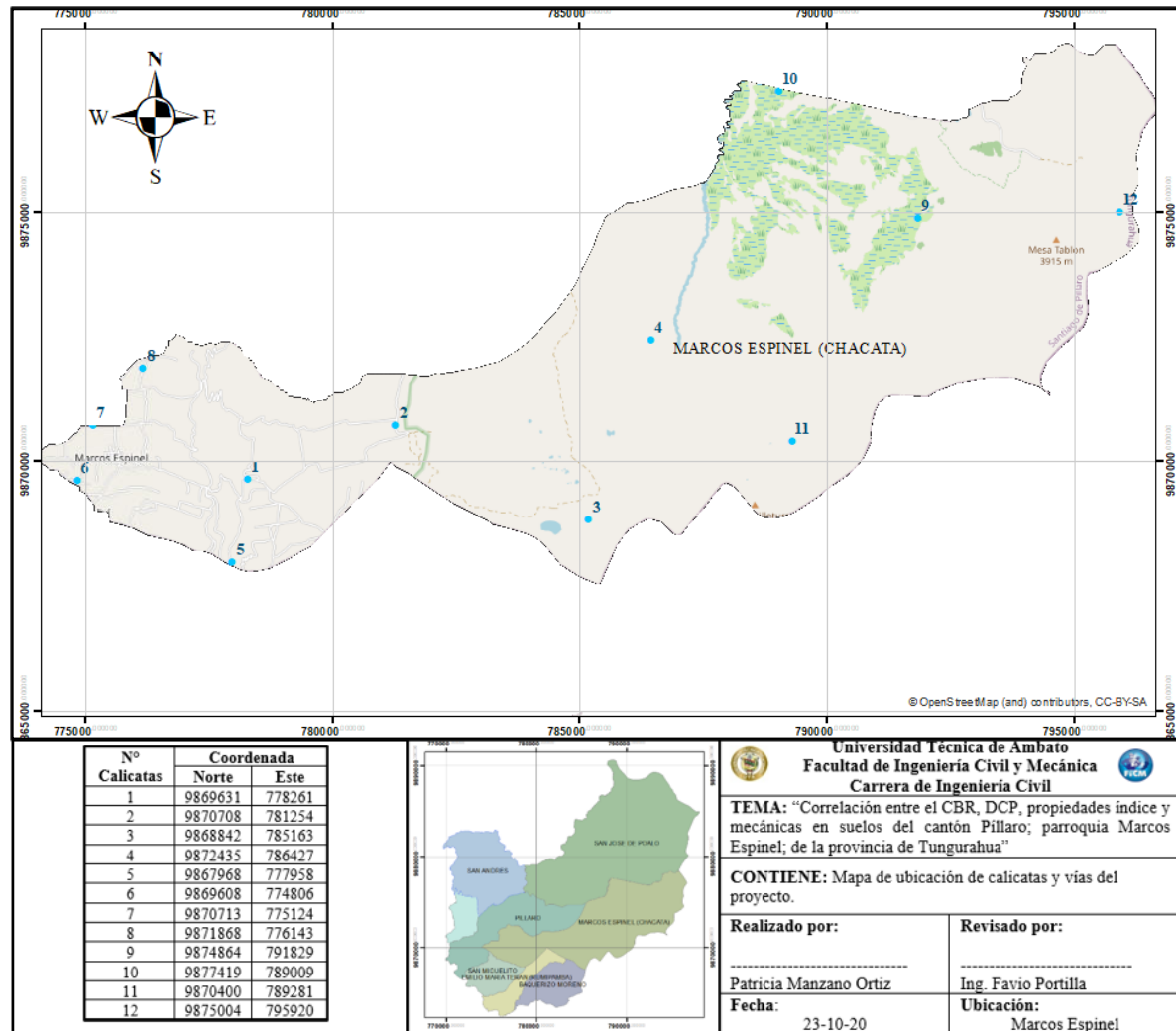


Figura 18. Ubicación de calicatas del proyecto

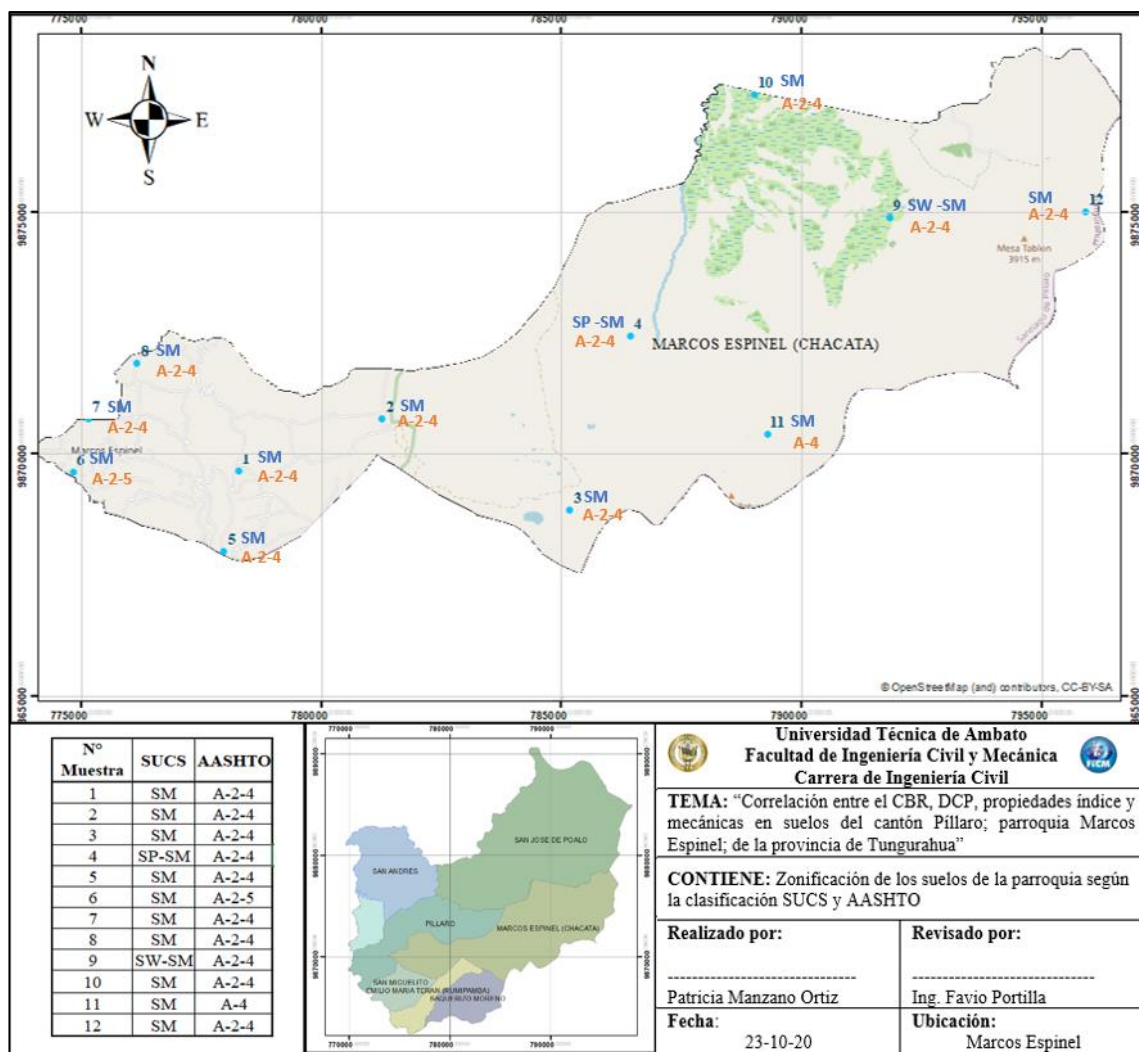


Figura 19. Zonificación de los suelos de la parroquia según la clasificación SUCS Y AASHTO

2.3 EQUIPOS Y MATERIALES

Tabla 20. Equipos y materiales

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 Cinzel 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	Mortero de porcelana Pistillo de caucho Copa Casagrande Espátula Acanalador Recipientes de aluminio	AASHTO T 89 2013
Límite Plástico	150 gr de suelo que pasa tamiz #40	Mortero de porcelana Pistillo de caucho Placa de vidrio Fuente de mezclado	AASHTO T 90 2016
Proctor Modificado Tipo B	18 kg de suelo que pasa el tamiz #4	Bandeja metálica cuadrada Martillo de compactación Molde $\phi 6''$ 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: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

2.4 MÉTODOS

2.4.1. Plan de Recolección de Datos

Tabla 21. Plan de Recolección de Datos

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Correlacionar las propiedades índices y mecánicas de diferentes suelos con su respectivo valor de CBR obtenido en laboratorio.
¿A quién?	A las muestras de suelo tomadas en la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro.
¿Sobre qué aspectos?	Las propiedades de los suelos obtenidas mediante los ensayos de campo y laboratorio, el valor de CBR obtenido del ensayo de Soporte de California.
¿Quién?	La investigadora Patricia Monserrath Manzano Ortiz.
¿Cuándo?	Ensayos de campo: del 19-10-2020 al 15-12-2020 Ensayos de laboratorio: del 23-10-2020 al 03-02-2021 Procesamiento de datos y resultados: desde diciembre a febrero
¿Dónde?	Parroquia Marcos Espinel para tomar las muestras de suelo y realizar ensayos de campo. Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para realizar ensayos de laboratorio.
¿Técnicas de Recolección?	El ensayo DCP (ASTMD 6951-03) y el ensayo de Densidad de Campo por el método de Cono y Arena (AASHTO T 191), son ensayos in situ, se debe retirar la capa vegetal para realizarlos. Se toma las muestras de suelo aproximadamente de 30 kg, para realizar los ensayos de laboratorio. La muestra de suelo debe pasar por el tamiz #4 y se coloca en una bandeja para secar. Para el ensayo de granulometría se coloca la muestra totalmente seca de suelo en la tamizadora con el juego de tamices de manera descendente como establece la norma AASHTO T 88 2013.

	<p>Los Límites de Atterberg (AASHTO T 89 2013 y AASHTO T 90 2016) requieren una muestra de suelo que pase el tamiz #40 y el ensayo de gravedad específica (AASHTO T 100 2015) requieren una muestra de suelo que pase el tamiz #4.</p> <p>La determinación del contenido óptimo de humedad es utilizada para realizar el ensayo de Soporte California CBR, normado en AASHTO T 193 2013</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

2.4.2. Ensayos de Campo y Laboratorio

a) Pozo a Cielo Abierto



Figura 20. Pozo a cielo abierto

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

b) **Densidad de Campo**



Figura 21. Determinación densidad de campo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

c) **Cono dinámico de Penetración (DCP)**



Figura 22. Golpes para la penetración de DCP

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

d) **Gravedad Específica de los sólidos**



Figura 23. Colocación de la muestra de suelo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

e) **Granulometría**



Figura 24. Tamizado de la muestra de suelo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

f) **Límite Líquido (Copa Casagrande)**



Figura 25. Ensayo Copa Casagrande

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

g) **Límite Plástico**



Figura 26. Rollitos de muestra de suelo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

h) Proctor Modificado



Figura 27. Golpes con el Martillo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

i) Ensayo CBR



Figura 28. 56 Golpes con el Martillo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

2.4.3. Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Plan de Procesamiento

- Obtención de 12 muestras de suelo de la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro para ser analizadas en el laboratorio.
- Realización de ensayos de campo y laboratorio a las muestras de suelo.
- Tabulación de datos obtenidos en los diferentes ensayos, mediante el software Excel.
- Elaboración de tablas y diagramas que representen las correlaciones de las propiedades de los suelos, para la presentación de resultados.

Plan de Análisis de Información

- Realizar las correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos para conocer la influencia de cada parámetro en la obtención de coeficientes de determinación.
- Analizar las correlaciones obtenidas mediante el coeficiente de determinación r^2 , el cual permite conocer el grado de ajuste alcanzado en los diferentes modelos matemáticos.
- Determinar las conclusiones y recomendaciones basándose en los resultados obtenidos mediante las correlaciones de las propiedades de los suelos en estudio.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se determinó las propiedades índice y mecánicas de las 12 muestras de suelo de la parroquia Marcos Espinel del cantón Pillaro. A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron en los ensayos realizados.

Tabla 22. Nomenclatura y Unidades de las variables

Nomenclatura	Descripción	Unidad
LL	Límite Líquido	%
LP	Límite Plástico	%
IP	Índice Plástico	%
W _{natural}	Contenido de Humedad Natural	%
W _{óptimo}	Contenido de Humedad Óptima	%
G _c	Grado de Compactación	%
G _w	Grado de Saturación de agua	%
G _a	Grado de Saturación de aire	%
G _s	Gravedad Específica	%
n	Porosidad	%
γ_d in-situ	Densidad Seca in-situ	kg/m ³
γ_h in-situ	Densidad Húmeda in-situ	kg/m ³
γ_d máx	Densidad Seca Máxima	kg/m ³
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

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 23. Propiedades índice del suelo

N° Muestra	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice Plástico %	Humedad Natural %	Gravedad Específica	Relación de vacíos	Porosidad %	Grado de saturación del agua %	Grado de saturación del aire %	Clasificación		Granulometría		
										SUCS	AASHTO	Grava G%	Arena S%	Limo M%
1	38.20	33.15	5.05	36.19	2.277	1.40	58.40	95.94	4.06	SM	A-2-4	0.00	87.30	12.70
2	37.20	32.24	5.06	65.34	2.132	1.81	64.43	82.38	17.62	SM	A-2-4	0.00	81.72	18.28
3	30.60	28.00	2.60	27.37	2.426	1.07	51.59	87.12	12.88	SM	A-2-4	0.00	86.98	13.02
4	30.00	25.07	4.93	36.34	2.656	0.57	36.29	97.07	2.93	SP-SM	A-2-4	0.00	89.84	10.16
5	23.90	22.58	1.32	21.05	2.254	0.85	45.83	84.52	15.48	SM	A-2-4	0.00	89.21	10.79
6	43.20	41.79	1.41	55.05	2.276	1.81	64.45	93.73	6.27	SM	A-2-5	0.00	80.82	19.18
7	24.60	22.68	1.92	25.74	2.165	1.00	50.01	73.59	26.41	SM	A-2-4	0.00	86.67	13.33
8	30.00	26.54	3.46	29.27	2.372	0.90	47.29	77.34	22.66	SM	A-2-4	0.00	80.48	19.52
9	37.90	33.10	4.80	31.67	2.392	0.77	43.64	93.33	6.67	SW-SM	A-2-4	0.00	93.38	6.62
10	23.80	20.79	3.01	7.81	2.503	0.53	34.76	96.93	3.07	SM	A-2-4	0.10	80.23	19.67
11	29.10	23.16	5.94	28.78	2.294	0.78	43.67	96.70	3.30	SM	A-4	0.00	84.76	15.26
12	35.30	31.00	4.30	35.60	2.226	1.23	55.18	98.24	1.76	SM	A-2-4	0.00	89.02	10.98

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 24. Propiedades Mecánicas del Suelo

N° Muestra	Densidad de campo γ_d gr/cm ³	Compactación			CBR %					DCP DN mm/golpe
		γ_d máx gr/cm ³	W óptimo %	Gc %	90 % d máx		95 % d máx			
					0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	Mayor	
1	1.073	1.307	28.80	97.64	6	7	7.5	8.8	8.8	37.313
2	0.932	1.001	39.30	98.76	6	6.3	6.8	7	7	50.923
3	1.282	1.327	29.60	98.49	7.5	8.2	8	8.7	8.7	29.128
4	1.686	1.566	22.30	97.68	6.5	9	8	10.8	10.8	28.555
5	1.433	1.659	19.60	97.87	8	8.8	9	10	10	20.275
6	0.941	1.046	38.50	97.79	4.2	5.2	4.8	6	6	38.324
7	1.327	1.580	21.00	98.60	7.2	9	10.8	12	12	31.291
8	1.401	1.553	21.70	98.25	6.5	10.4	7.5	11.5	11.5	16.761
9	1.489	1.463	25.50	97.98	5	6.8	10	12	12	22.985
10	1.741	2.063	9.48	96.53	10.5	18	12.5	20.5	20.5	15.268
11	1.491	1.533	23.10	99.35	8.2	9.2	13	14.5	14.5	5.023
12	1.217	1.416	27.00	99.59	6.5	7	8	8.5	8.5	39.326

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

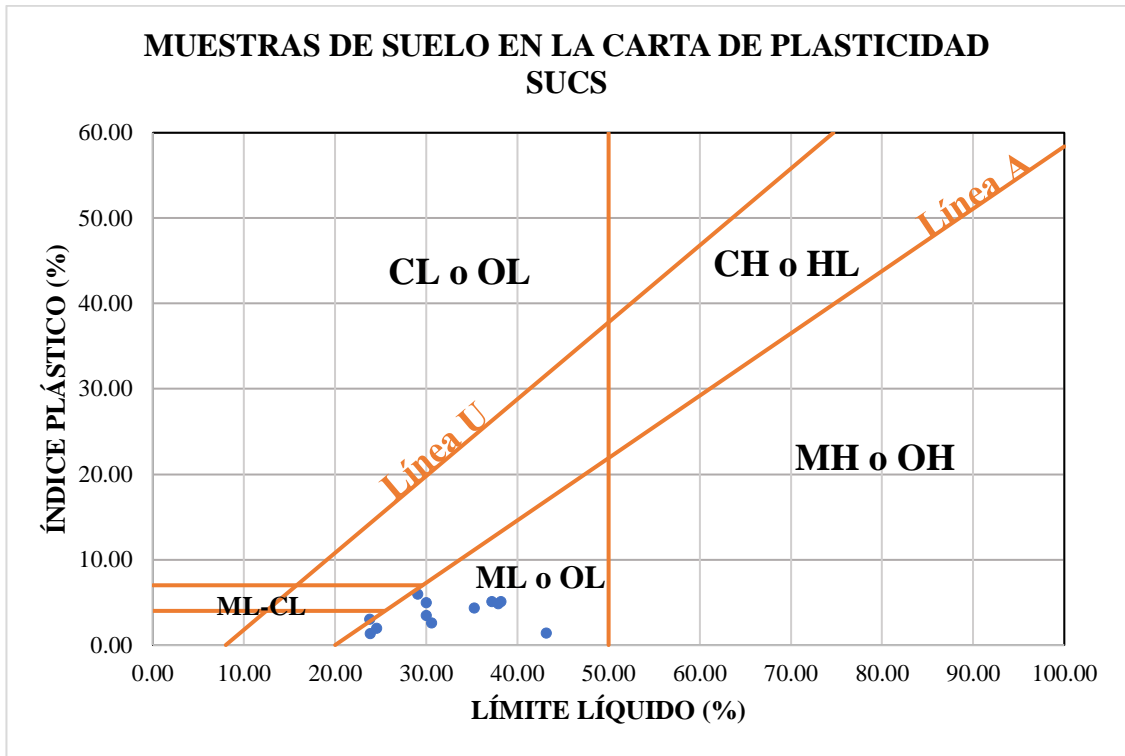


Figura 29. Carta de Plasticidad del SUCS

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

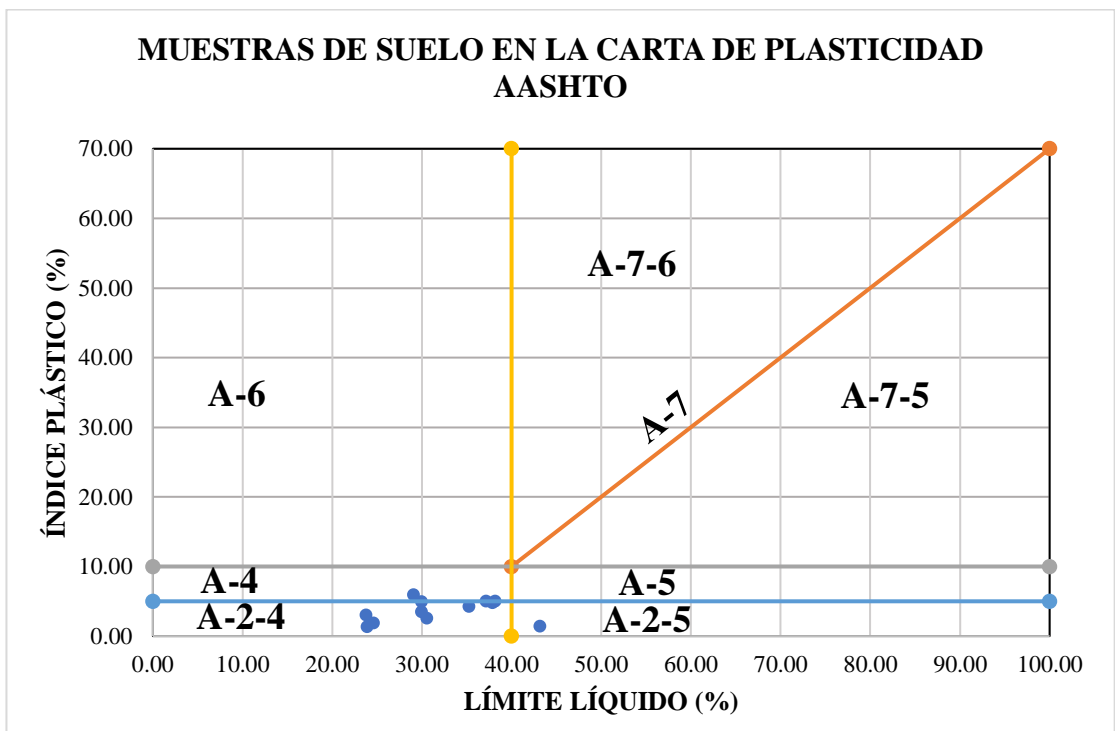


Figura 30. Carta de Plasticidad de la AASHTO

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 25. Correlaciones entre las propiedades del suelo

N°	Ecuación	Coefficiente correlación r ² %	N° Muestras
CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE			
1	$LP = 0.0309 LL^2 - 1.0802 LL + 30.105$	97	12
2	$Gw = 33.29 Ln (W_{natural}) - 23.684$	52	10
3	$Ga = - 0.5477 W_{natural} + 28.704$	53	10
4	$W_{natural} = -113.78 Gs + 297.25$	57	10
5	$W_{óptima} = - 45.889 + 35.802 \text{ Log (LL)} + 0.627 LP$	70	12
6	$W_{óptima} = 1.9266 * LL^{0.8052} * \gamma_d \text{ in-situ}^{-0.9208}$	86	12
7	$W_{óptima} = - 0.0092 LL^2 + 1.665 LL - 17.965$	68	12
8	$\gamma_{dmáx} = 2.4814 - 1.2736 \text{ Log (LL)} + 0.6603 \gamma_d \text{ in-situ}$	87	12
9	$\gamma_{dmáx} = 2.2624 - 0.0107 LL - 0.0138 W_{natural}$	87	12
10	$\gamma_{dmáx} = 4.1905 - 1.4977 \text{ Log (LL)} - 0.0172 LP$	69	12
11	$\gamma_d \text{ in-situ} = 0.2816 e^2 - 1.274 e + 2.3209$	99	12
12	$\gamma_{dmáx} = 2.6745 - 0.0361 LL - 0.0043 LP$	67	12
CORRELACIONES DN vs PROPIEDADES ÍNDICE			
13	$DN = 4.383 IP^2 - 24.379 IP + 56.115$	54	10
14	$DN = 4.4141 W_{natural}^{0.5376}$	66	10
15	$DN = 0.061 Gw^2 - 10.023 Gw + 434.23$	53	10
16	$DN = 10.8114 + 1.9727 IP + 0.5003 Gw$	51	10
17	$\gamma_d \text{ in-situ} = 0.5338 - 0.0054 DN + 0.6519 \gamma_{dmáx}$	82	12
18	$\gamma_{dmáx} = 19.7636 * LL^{-0.69} * DN^{-0.0766}$	75	12
CORRELACIONES CBR vs PROPIEDADES ÍNDICE			
19	$CBR = 18.12 + 4.87 \text{ LOG (LL)} - 0.51 LP$	51	12
20	$CBR = -13.7 Ln (LP) + 56.4$	55	12
21	$CBR = 62.385 W_{natural}^{-0.529}$	72	12
22	$CBR = 34.615 DN^{-0.379}$	51	12

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

CORRELACIÓN N° 1

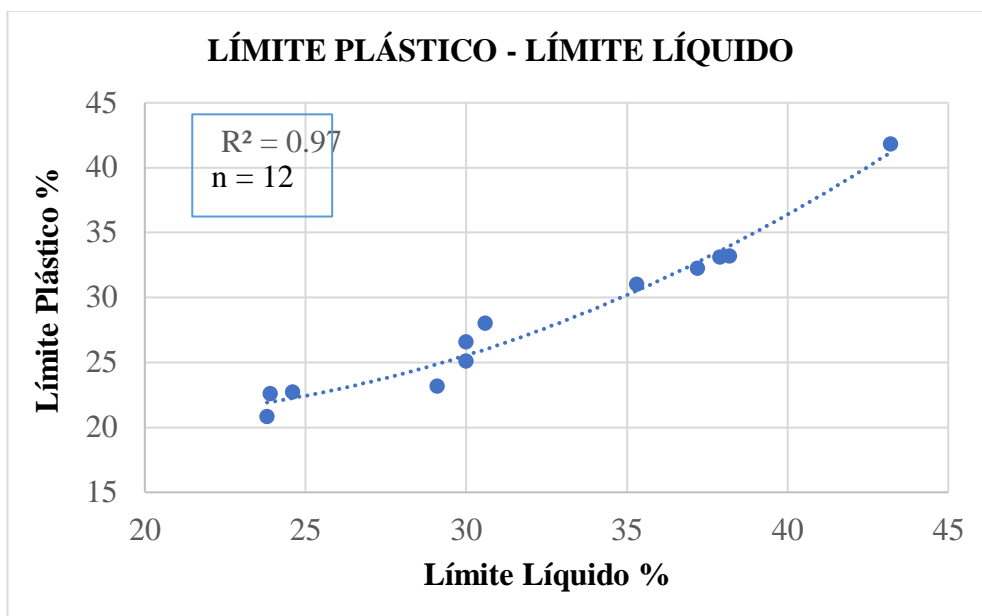


Figura 31. Correlación LP -LL

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $LP = 0.0309 LL^2 - 1.0802 LL + 30.105$

Coefficiente r^2 : 97%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el límite plástico y el límite líquido, con una línea de tendencia polinómica de grado 2 se obtuvo un coeficiente de determinación excelente $r^2 = 97\%$.

A medida que crece el límite líquido, la plasticidad del suelo se incrementa, es decir, el límite líquido y límite plástico son directamente proporcional entre sí.

CORRELACIÓN N° 2

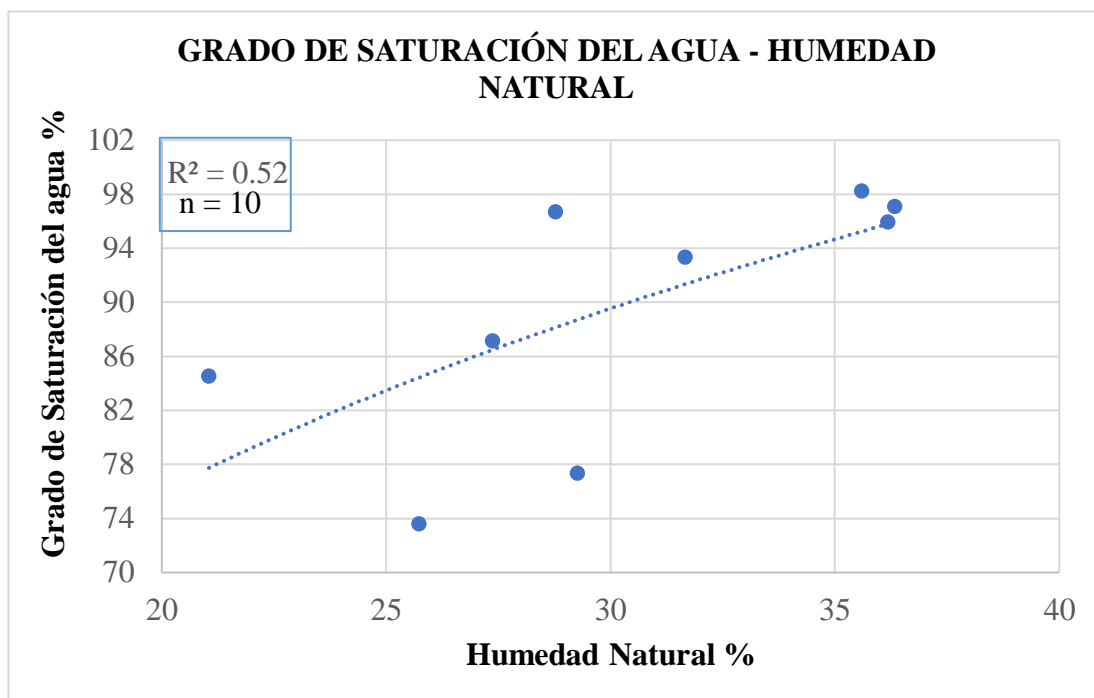


Figura 32. Correlación Gw – Wnatural

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $Gw = 33.29 \ln(W_{natural}) + 23.075$

Coefficiente r^2 : 52%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el grado de saturación del agua y la humedad natural, con una línea de tendencia logarítmica se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 56\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que, al aumentar la humedad natural de un suelo, el grado de saturación del agua se incrementa, es decir, son directamente proporcionales entre sí. Dado que el grado de saturación del agua es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos, al aumentar el agua en un suelo se reduce el volumen de vacíos que es ocupado por agua.

CORRELACIÓN N° 3

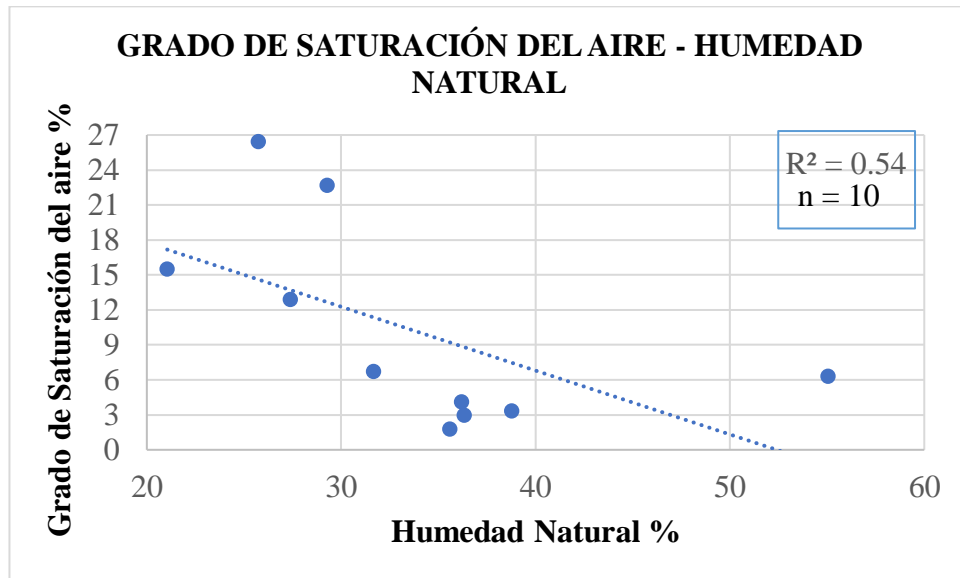


Figura 33. Correlación G_a – $W_{natural}$

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $G_a = -0.5477 W_{natural} + 28.704$

Coefficiente r^2 : 54%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el grado de saturación del aire y la humedad natural, con una línea de tendencia lineal se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 54\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

En el diagrama se observa que las dos variables son inversamente proporcionales, es decir, si la humedad natural del suelo es mayor, el grado de saturación del aire disminuye, ya que tienen menor volumen de vacíos.

CORRELACIÓN N° 4

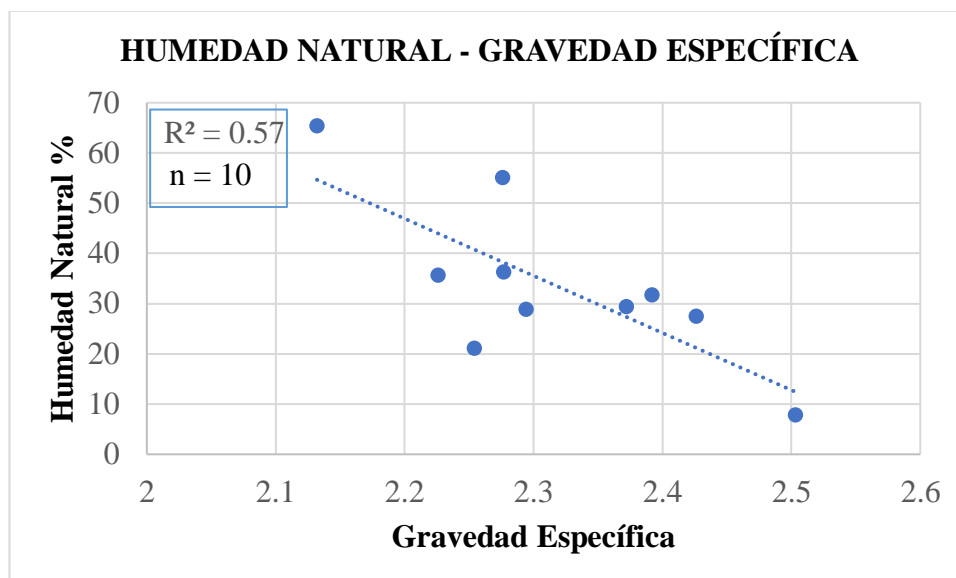


Figura 34. Correlación W_{natural} – G_s

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $W_{\text{natural}} = -113.78 G_s + 297.25$

Coefficiente r^2 : 57%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre la humedad natural y la gravedad específica, con una línea de tendencia lineal se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 57\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

La humedad natural es inversamente proporcional a la gravedad específica, ya que, si un suelo tiene mayor humedad su gravedad específica disminuye.

CORRELACIÓN N° 5

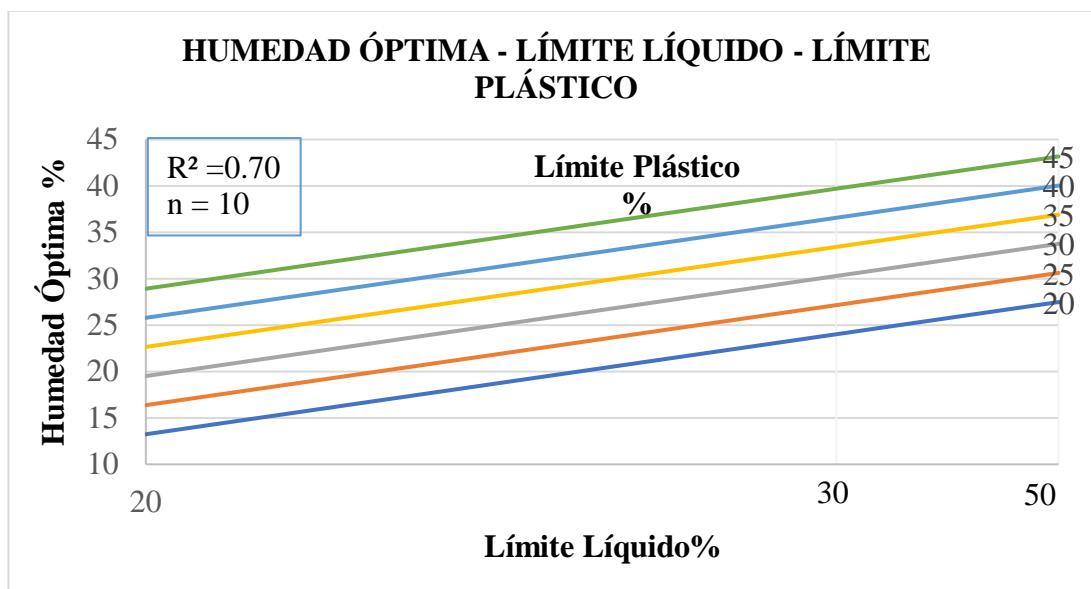


Figura 35. Correlación Wóptima - LL- LP

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $W_{\text{óptima}} = -45.889 + 35.802 \text{ Log (LL)} + 0.627 \text{ LP}$

Coefficiente r^2 : 70%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la humedad óptima vs el límite líquido y el límite plástico, con una tendencia logarítmica de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 70\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Mediante la determinación de los límites de Atterberg se puede obtener un valor aproximado de humedad óptima. Se observa que la humedad óptima es directamente proporcional al límite líquido y límite plástico. Esto demuestra que para que el suelo llegue a su estado plástico y líquido necesita una mayor cantidad de agua.

CORRELACIÓN N° 6

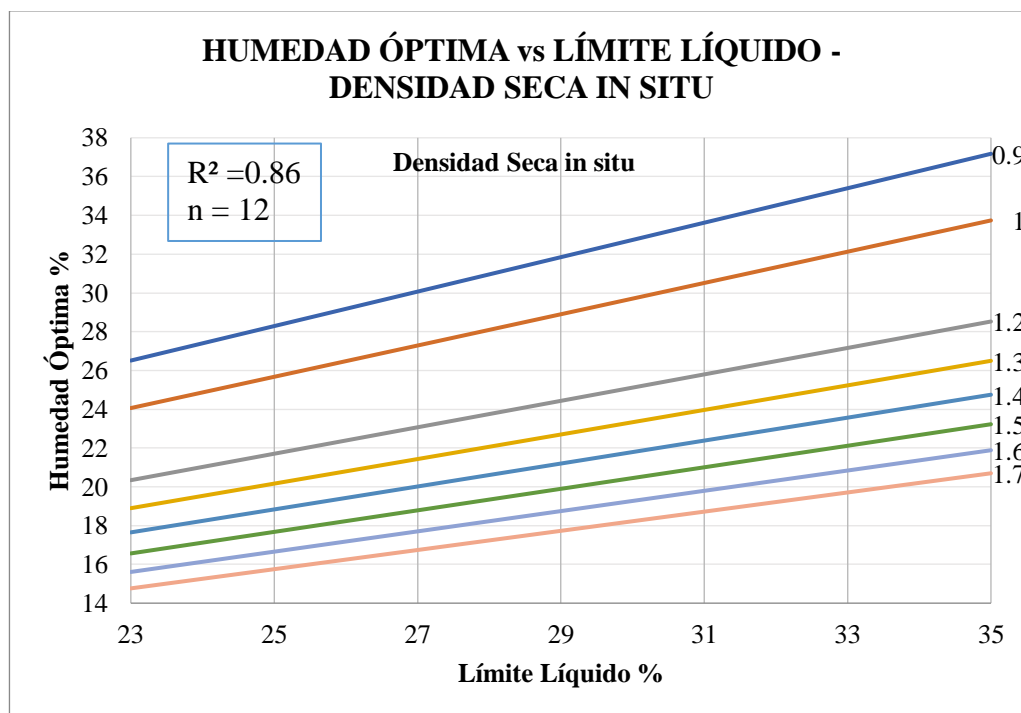


Figura 36. Correlación W_{óptima} vs LL y γ_d in situ

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $W_{\text{óptima}} = 1.9266 * LL^{0.8052} * \gamma_d \text{ in-situ}^{-0.9208}$

Coefficiente r²: 86%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la humedad óptima vs el límite líquido y la densidad in situ, con una tendencia exponencial de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 86\%$ el cual es un valor muy bueno para la correlación.

Se observa que, si el límite líquido aumenta, la humedad óptima se incrementa, sin embargo, la densidad seca in situ disminuye, ya que la densidad del agua es menor a la densidad del suelo, a mayor cantidad de agua la densidad seca in situ del suelo disminuye.

CORRELACIÓN N° 7

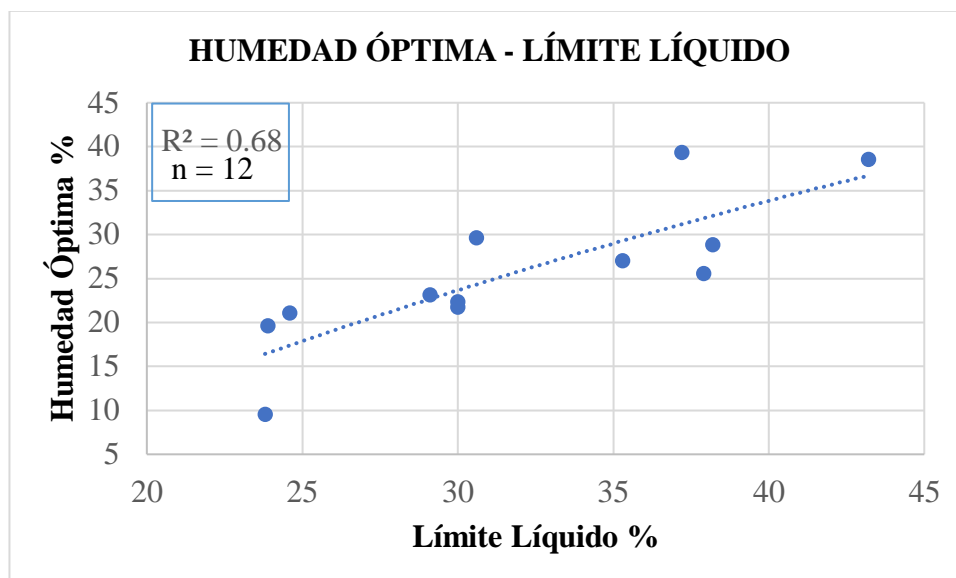


Figura 37. Correlación Wóptima – LL

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $W_{\text{óptima}} = -0.0092 LL^2 + 1.665 LL - 17.965$

Coefficiente r^2 : 68%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre la humedad óptima y el límite líquido, con una línea de tendencia polinómica de grado 2 se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 68\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que, la humedad óptima es directamente proporcional al límite líquido. Esto indica que, a mayor cantidad de agua en un suelo, su límite líquido aumenta, y se puede observar esto en suelos con partículas finas.

CORRELACIÓN N° 8

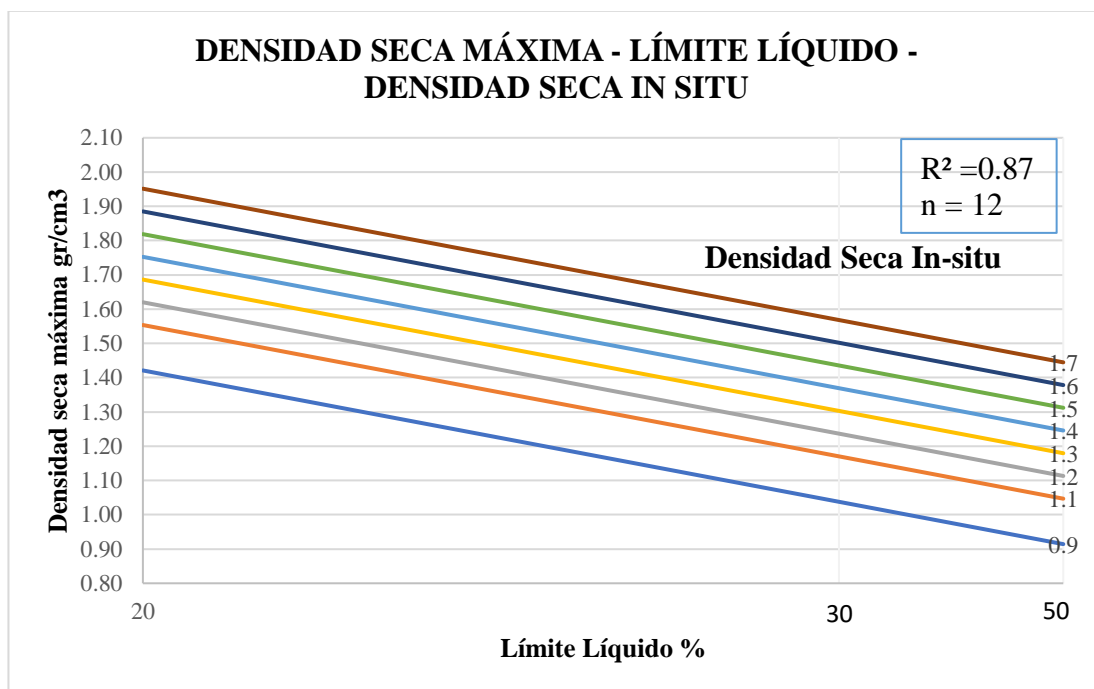


Figura 38. Correlación $\gamma_{dm\acute{a}x}$ - LL - γ_d in situ

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $\gamma_{dm\acute{a}x} = 2.4814 - 1.2736 \text{ Log (LL)} + 0.6603\gamma_d \text{ in-situ}$

Coefficiente r^2 : 87%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la densidad seca máxima vs el límite líquido y la densidad seca in situ, con una tendencia logarítmica de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 87\%$ el cual es un valor muy bueno para la correlación.

Se observa que la densidad seca máxima es directamente proporcional a la densidad seca in situ, en cambio estas dos variables son inversamente proporcional al límite líquido. Es decir, al aumentar la humedad en el suelo, este se vuelve menos denso ya que pierde peso en relación al volumen.

CORRELACIÓN N° 9

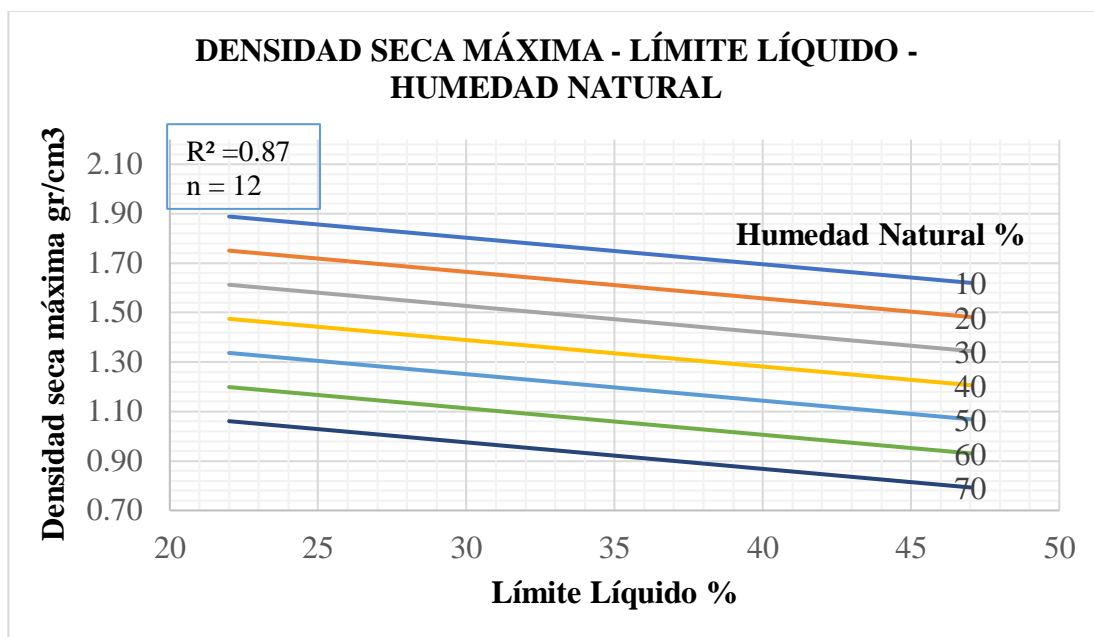


Figura 39. Correlación $\gamma_{d\text{máx}}$ - LL - W_{natural}

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $\gamma_{d\text{máx}} = 2.2624 - 0.0107 \text{ LL} - 0.0138 W_{\text{natural}}$

Coefficiente r^2 : 87%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la densidad seca máxima ($\gamma_{d\text{máx}}$) vs el límite líquido (LL%) y la humedad natural (W_{natural}), con una tendencia lineal de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 87\%$ el cual es un valor muy bueno para la correlación.

Se observa que, al aumentar la humedad natural del suelo, la densidad seca máxima disminuye. Esto indica que el suelo será menos denso si contiene mayor contenido de humedad natural.

CORRELACIÓN N° 10

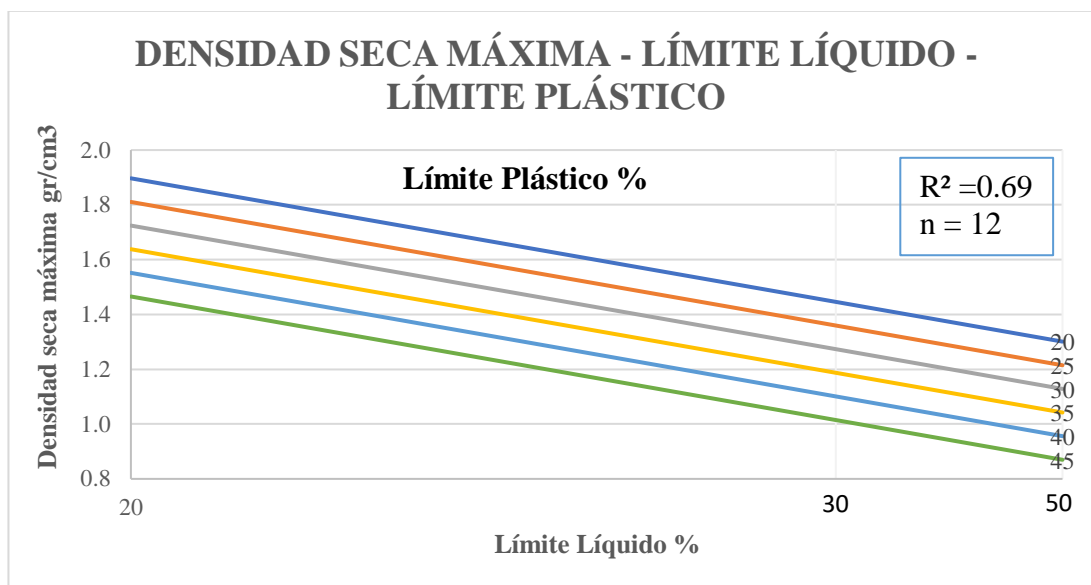


Figura 40. $\gamma_{dmáx}$ - LL - LP

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $\gamma_{dmáx} = 4.1905 - 1.4977 \text{ Log (LL)} - 0.0172 \text{ LP}$

Coefficiente r^2 : 69%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la densidad seca máxima ($\gamma_{dmáx}$) vs el límite líquido (LL%) y el plástico (LP %), con una tendencia logarítmica de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 69\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que la densidad seca máxima disminuye cuando el límite plástico y límite líquido se incrementa. Es decir, al aumentar la humedad en un suelo su densidad disminuye debido a que la densidad del agua es menor que la densidad del suelo.

CORRELACIÓN N° 11

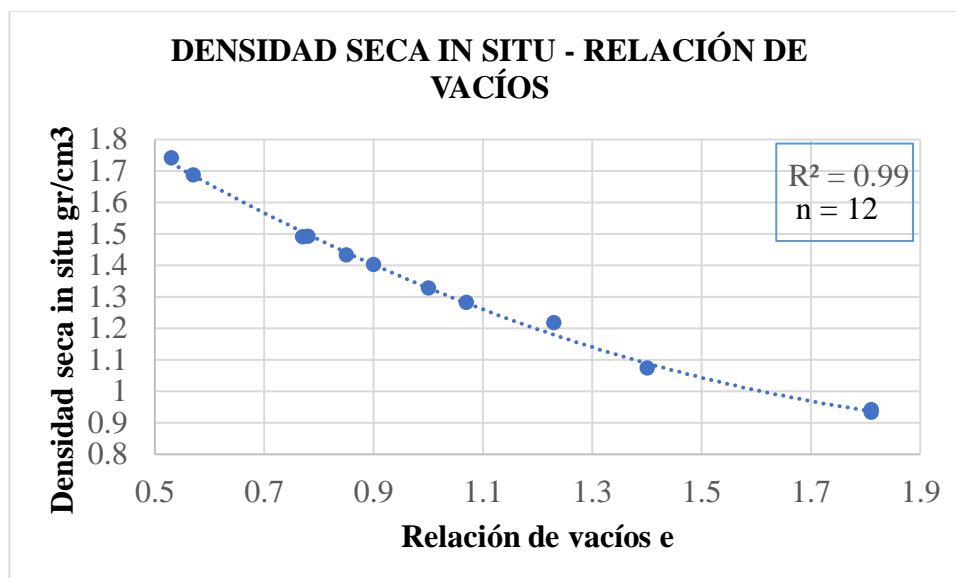


Figura 41. Correlación γ_d in situ – e

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $\gamma_d \text{ in-situ} = 0.2816 e^2 - 1.274 e + 2.3209$

Coefficiente r^2 : 99%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre la densidad seca in situ y la relación de vacíos, con una línea de tendencia polinómica de grado 2 se obtuvo el coeficiente de determinación r^2 de 99% el cual es un valor excelente para la correlación.

La relación de vacíos es inversamente proporcional a la densidad seca in situ, es decir si la relación de vacíos aumenta, la densidad del suelo disminuye, ya que el suelo es más suelto y menos compacto si su volumen de vacíos es mayor.

CORRELACIÓN N° 12

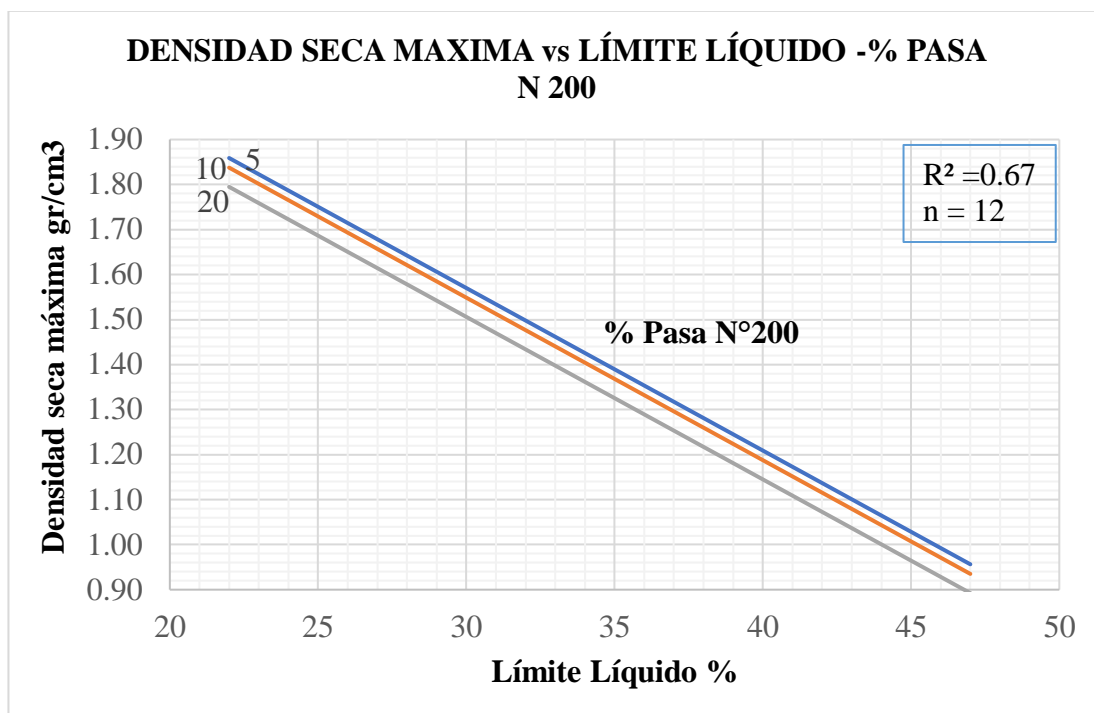


Figura 42. $\gamma_{dm\acute{a}x}$ - LL - % pasa N°200

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $\gamma_{dm\acute{a}x} = 2.6745 - 0.0361 LL - 0.0043 LP$

Coefficiente r^2 : 67%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la densidad seca máxima vs el límite líquido y el porcentaje de suelo que pasa el tamiz N°200, con una tendencia lineal de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 67\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que al aumentar el límite líquido y mantener constante el valor de %pasa N°200, la densidad seca máxima disminuye y si aumenta el % pasa N°200 la densidad de igual forma disminuye. Esto indica que los suelos que contienen más porcentaje de partículas finas son menos densos y tienen menos compactación.

CORRELACIÓN N° 13

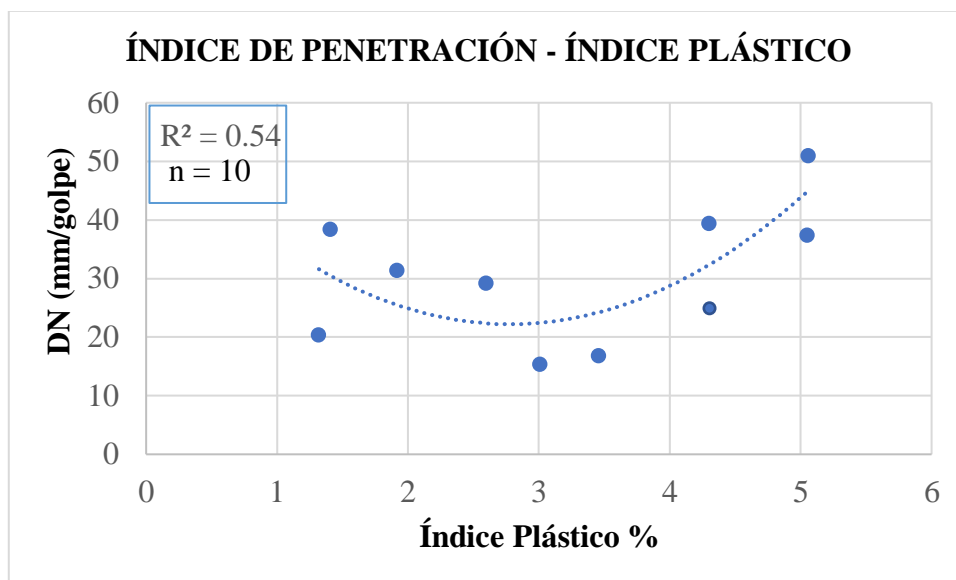


Figura 43. Correlación DN – IP

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $DN = 4.383 IP^2 - 24.379 IP + 56.115$

Coefficiente r^2 : 54%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el índice de penetración y el índice plástico, con una línea de tendencia polinómica de grado 2 se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 54\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que el índice de penetración es inversamente proporcional al índice plástico hasta el 3%, y a continuación es directamente proporcional al índice plástico, esto indica que un suelo con un contenido de humedad mayor es menos resistente a la penetración y se dan valores altos de DN.

CORRELACIÓN N° 14

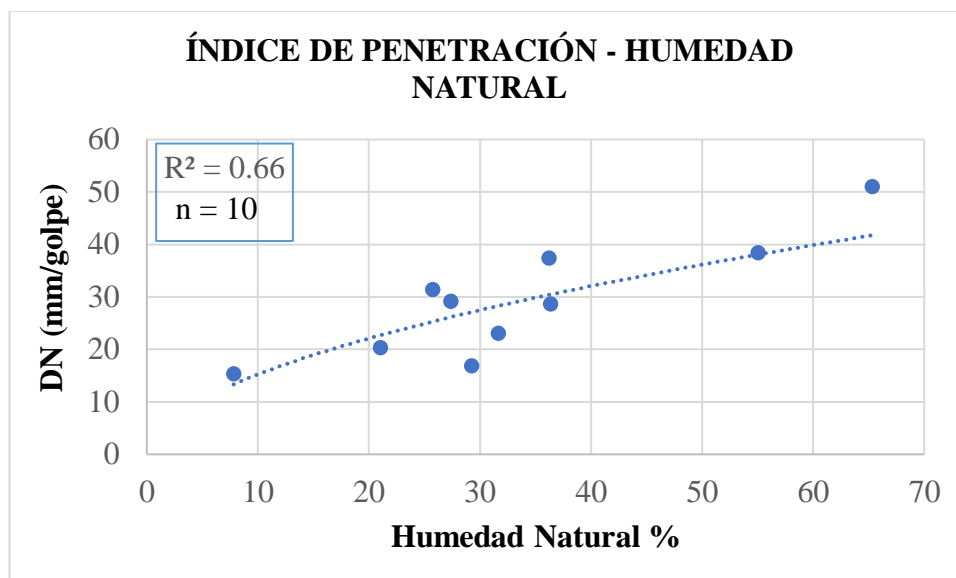


Figura 44. Correlación DN – Wnatural

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $DN = 4.4141 W_{natural}^{0.5376}$

Coefficiente r^2 : 66%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el índice de penetración y la humedad natural, con una línea de tendencia exponencial se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 66\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que a medida que la humedad natural aumenta el índice de penetración se incrementa. Esto indica que el suelo que contenga más humedad será menos resistente a la penetración, y así se evidencia valores mayores de índice de penetración.

CORRELACIÓN N° 15

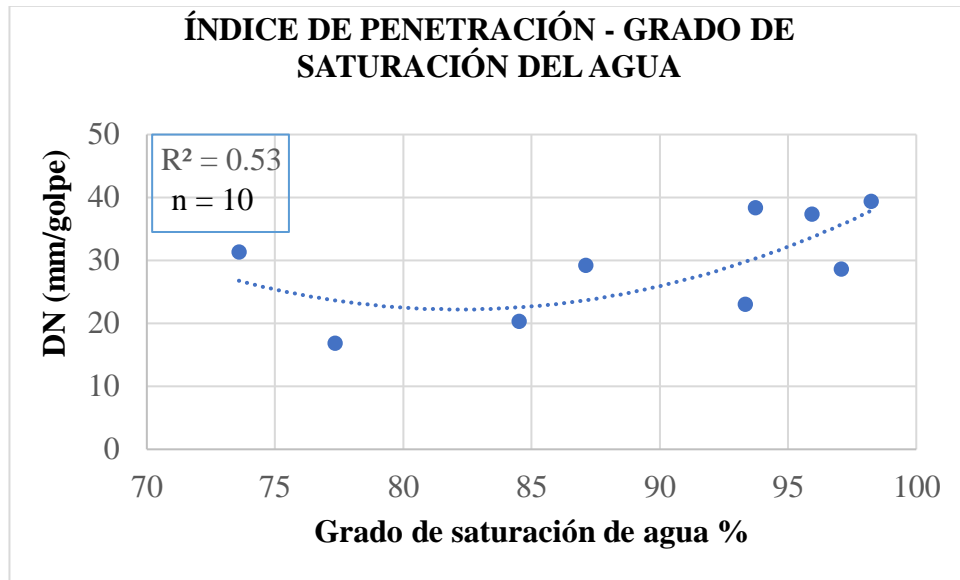


Figura 45. Correlación DN – Gw

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $DN = 0.061 Gw^2 - 10.023 Gw + 434.23$

Coefficiente r^2 : 53%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el índice de penetración y el grado de saturación del agua, con una línea de tendencia polinómica de grado 2, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2=53\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que el índice de penetración aumenta cuando el grado de saturación del agua se incrementa, es decir, el suelo tendrá mayor porcentaje de poros ocupados por el agua, lo que lo hace menos resistente y será más fácil su penetración.

CORRELACIÓN N° 16

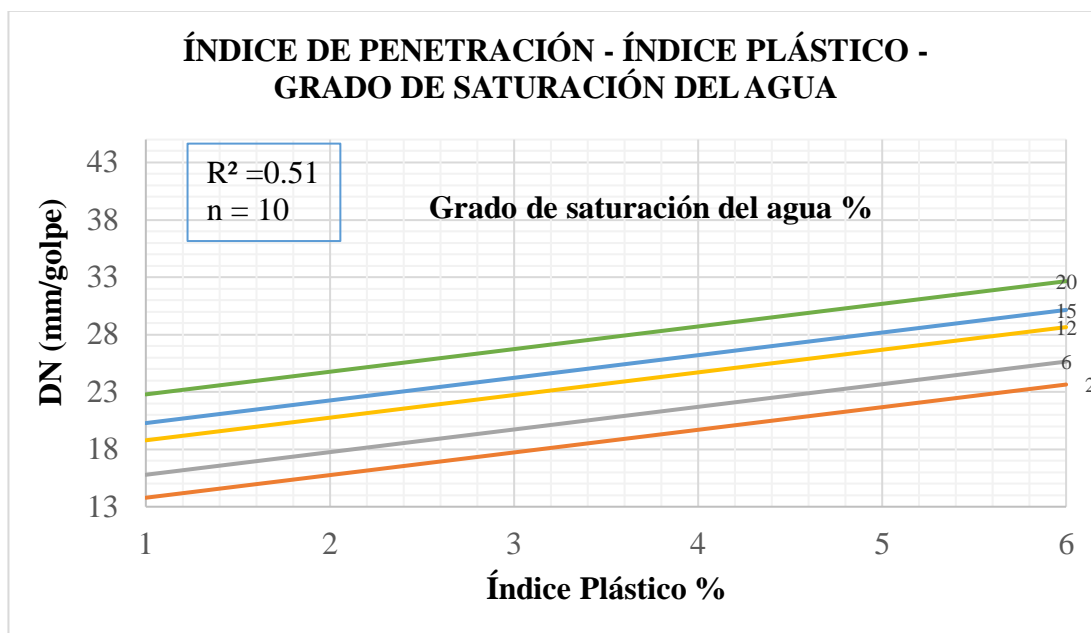


Figura 46. Correlación DN - IP – Ga

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $DN = 10.8114 + 1.9727 IP + 0.5003 Gw$

Coefficiente r^2 : 51%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre el índice de penetración vs el índice plástico y el grado de saturación del agua, con una tendencia lineal de 3 variables, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2= 51\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

En el diagrama se observa que a medida que incrementa el índice plástico el grado de saturación del agua y el índice de penetración será mayor, ya que el suelo al tener más humedad será más plástico y menos resistente a la penetración.

CORRELACIÓN N° 17

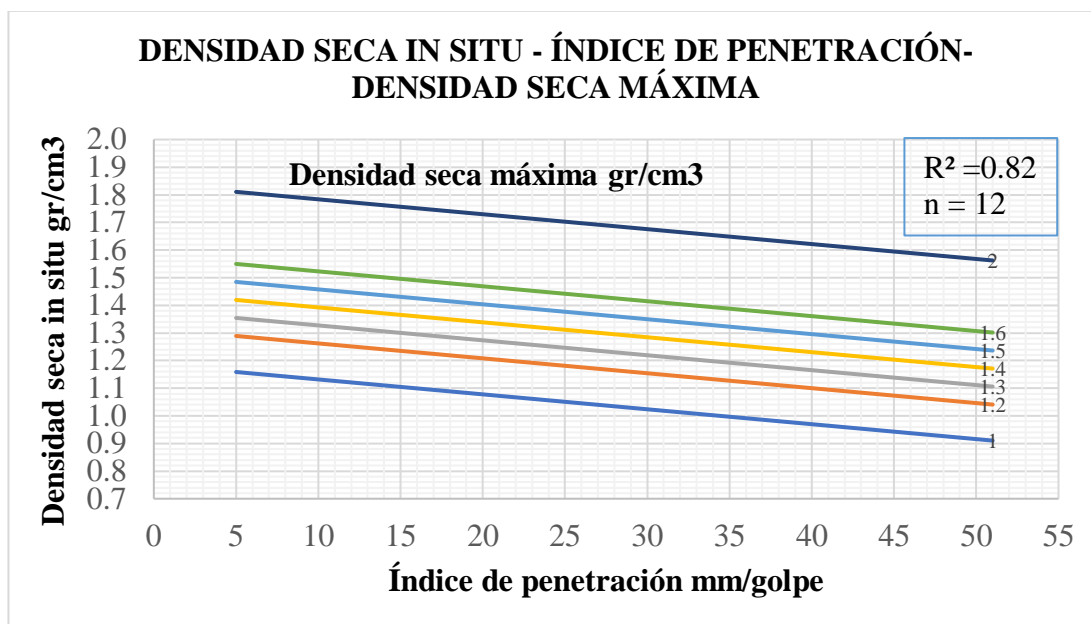


Figura 47. Correlación γ_d in situ - DN - $\gamma_{d\text{máx}}$

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: γ_d in-situ = $0.5338 - 0.0054 \text{ DN} + 0.6519 \gamma_{d\text{máx}}$

Coefficiente r^2 : 82%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre la densidad seca in situ vs el índice de penetración y la densidad seca máxima, con una tendencia lineal de 3 variables se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 82\%$ el cual es un valor muy bueno para la correlación.

Se puede obtener un valor aproximado de la densidad seca in situ al conocer los valores del índice de penetración y la densidad seca máxima. Se observa que el índice de penetración es inversamente proporcional a la densidad seca in situ, este comportamiento indica que a medida que el suelo es más denso, su resistencia a la penetración será mayor.

CORRELACIÓN N° 18

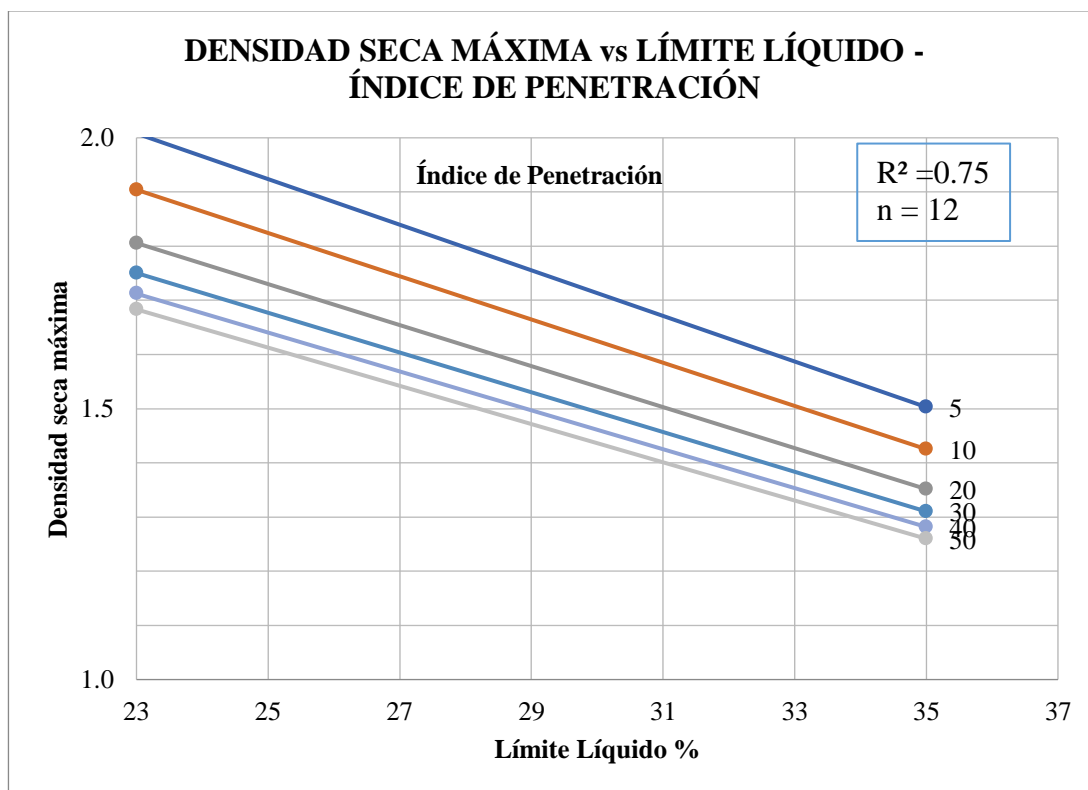


Figura 48. Correlación Wóptima vs LL – DN

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $\gamma_{dm\acute{a}x} = 19.7636 * LL^{-0.69} * DN^{-0.0766}$

Coefficiente r^2 : 75%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre densidad seca máxima vs el límite líquido y el índice de penetración, con una tendencia exponencial de 3 variables se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2=75\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa en el diagrama que a mayor densidad seca el índice de penetración disminuye. Se puede obtener un valor aproximado de la densidad seca máxima al conocer los valores del índice de penetración y el límite líquido.

CORRELACIÓN N° 19

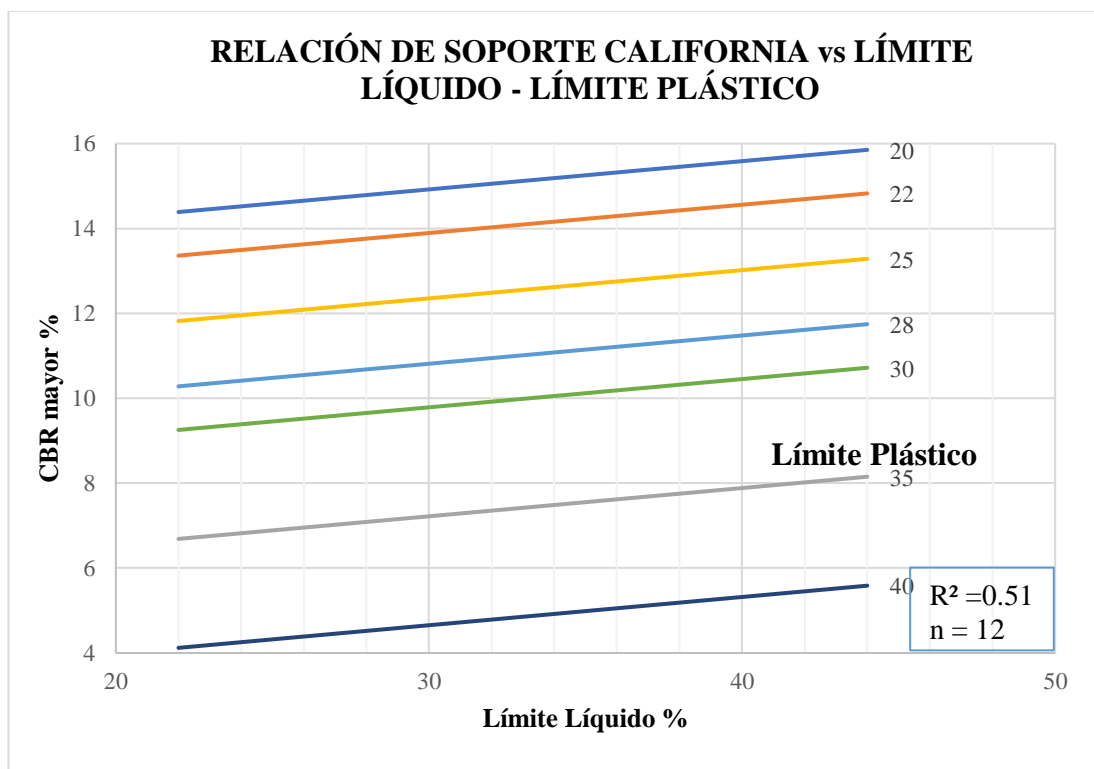


Figura 49. Correlación CBR% vs LL% – LP%

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $CBR = 18.12 + 4.87 \text{ LOG (LL)} - 0.51 \text{ LP}$

Coefficiente r²: 51%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación múltiple entre CBR vs límite líquido y el límite plástico, con una tendencia logarítmica de 3 variables se obtuvo el coeficiente de determinación r² de 51% el cual es valor bueno para la correlación.

Se observa que, al mantener el límite líquido constante, el límite plástico es inversamente proporcional al CBR%, esto debido a que si el suelo posee mayor cantidad de agua disminuye la capacidad de soporte y se obtiene valores menores de CBR.

CORRELACIÓN N° 20

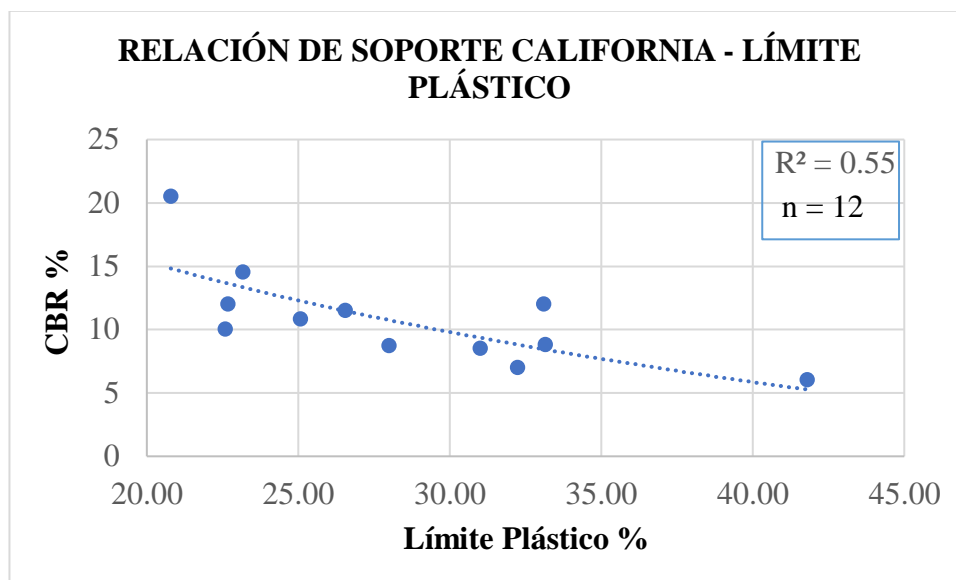


Figura 50. Correlación CBR% - LP%

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $CBR = -13.7 \ln (LP) + 56.4$

Coefficiente r^2 : 55%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el CBR y el límite plástico, con una línea de tendencia logarítmica, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2=55\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que el límite plástico es inversamente proporcional al CBR, esto indica que cuando el suelo es más plástico su CBR% disminuye, ya que el suelo tiene mayor humedad y su capacidad resistente será menor.

CORRELACIÓN N° 21

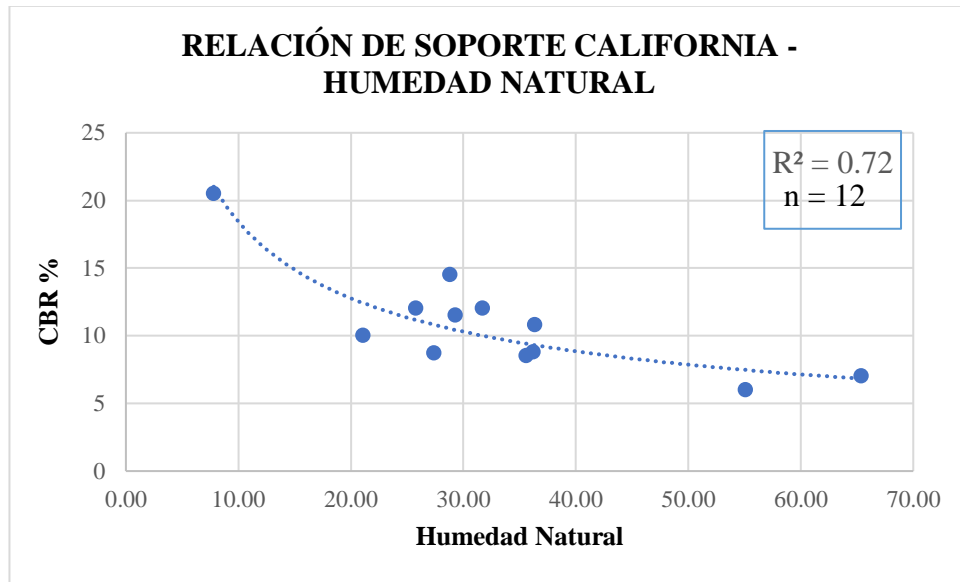


Figura 51. Correlación CBR% - Wnatural%

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $CBR = 62.385 W_{natural}^{-0.529}$

Coefficiente r^2 : 72%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el CBR y la humedad natural, con una línea de tendencia potencial, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2=72\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Se observa que la humedad natural es inversamente proporcional al CBR%, al tener el suelo mayor humedad el CBR disminuye, esto indica que, el suelo al contener más humedad pierde resistencia y disminuye su compactación.

CORRELACIÓN N° 22

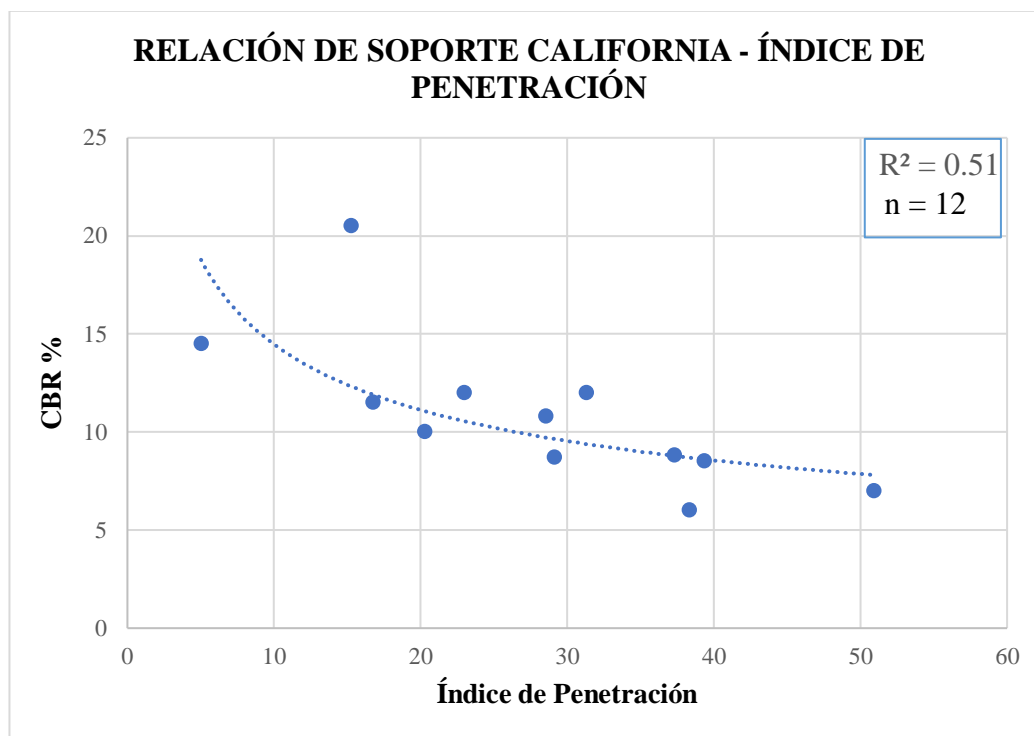


Figura 52. Correlación CBR% -DN

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Ecuación: $CBR = 34.615 DN^{-0.379}$

Coefficiente r^2 : 51%

Discusión: En el diagrama se presenta la correlación entre el CBR y el índice de penetración, con una línea de tendencia potencial, se obtuvo el coeficiente de determinación $r^2=51\%$ el cual es un valor bueno para la correlación.

Mediante esta ecuación se puede obtener valores aproximados de CBR al conocer los valores de índice de penetración. Se observa que las dos variables son inversamente proporcionales entre sí, esto indica que se obtienen valores bajos de DCP cuando el suelo tiene mayor resistencia a la penetración, en cambio los valores de CBR se incrementan.

Comparación diagrama CBR% - Índice de Penetración, ecuación establecida por la norma ASTM y la ecuación obtenida en la correlación N°22

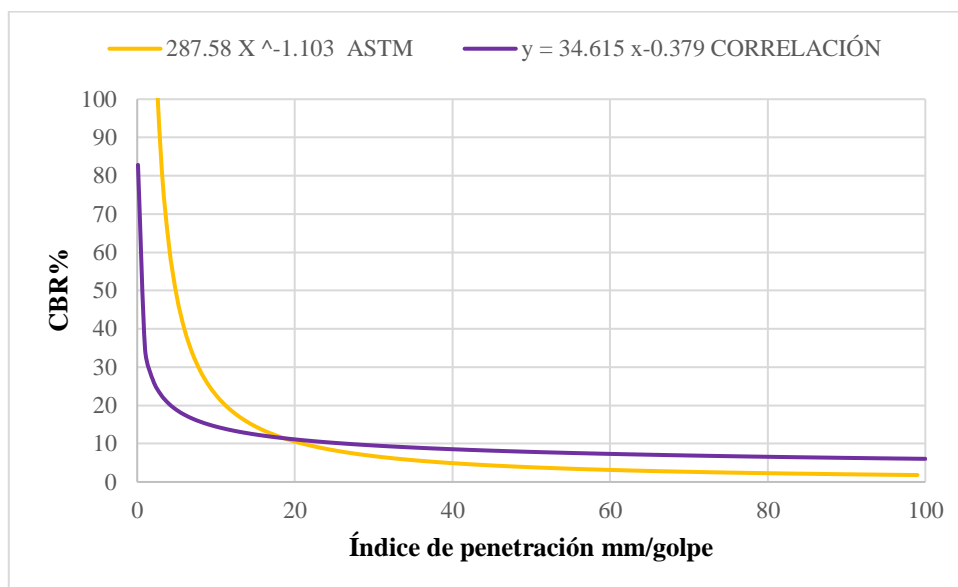


Figura 53. CBR% -DN

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Se realizó la comparación entre las ecuaciones que relacionan el CBR y índice de penetración. La primera ecuación establecida por la norma ASTM y la segunda ecuación se obtuvo mediante la correlación N° 22, $CBR = 34.615 DN^{-0.379}$, se obtuvo un coeficiente de determinación bueno $r^2=51\%$ mediante una línea de tendencia potencial.

3.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 93

Se realizó el conteo vehicular de 12 horas en una semana, obteniendo así la hora pico de 7:00 am – 8:00 am.

Tabla 26. Vehículos hora pico

HORA	VEHÍCULOS	BUSES	CAMIONES	Total 15 minutos
7h00 - 7h15	4	2	2	8
7h15 - 7h30	5	1	2	7
7h30 - 7h45	4	2	2	8
7h45 - 8h00	4	2	2	8
TOTAL	17	6	7	30

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

- Factor Hora Pico

$$FHP = \frac{\text{Total de vehículos}}{4 * (\text{mayor tráfico en 15min})}$$

$$FHP = \frac{30}{4 * (8)}$$

$$FHP = 0.95 \rightarrow 1$$

- Porcentaje de la trigésima hora

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

***Livianos**

$$TPDA (\text{livianos}) = 107 \text{ vehículos/día}$$

***Buses**

$$TPDA (\text{buses}) = 40 \text{ vehículos/día}$$

***Camiones**

$$TPDA (\text{camiones}) = 43 \text{ vehículos/día}$$

$$TPDA (\text{actual}) = TPDA(\text{livianos}) + TPDA(\text{buses}) + TPDA(\text{camiones})$$

$$TPDA (\text{actual}) = 107 + 40 + 43$$

$$TPDA (\text{actual}) = 190 \text{ vehículos/día}$$

- Tráfico Vehicular actual en el 1º año

Tabla 27. Índice de crecimiento vehicular

Período	Tipo de Vehículo		
	Livianos	Buses	Camiones
2015 - 2020	3.97	1.97	1.94
2020 - 2025	3.57	1.78	1.74
2026 - 2030	3.25	1.62	1.58
2031 - 2035	3.25	1.62	1.58
2036 - 2039	3.25	1.62	1.58

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

$$TPDA(1año) = Ta * (1 + i)^1$$

***Livianos**

$$TPDA (livianos) = 111 \text{ vehículos/día}$$

***Buses**

$$TPDA (buses) = 41 \text{ vehículos/día}$$

***Camiones**

$$TPDA (camiones) = 44 \text{ vehículos/día}$$

$$TPDA (1 año) = TPDA(livianos)+TPDA(buses)+TDP A(camiones)$$

$$TPDA (1 año) = 111+42+45$$

$$TPDA (1 año) = 196 \text{ vehículos/día}$$

- Tráfico generado

$$Tg = 20\% * Ta (1ºaño)$$

***Livianos**

$$Tg (livianos) = 22 \text{ vehículos/día}$$

***Buses**

$$Tg (buses) = 8 \text{ vehículos/día}$$

***Camiones**

$$Tg (camiones) = 9 \text{ vehículos/día}$$

- Tráfico atraído

$$Tat = 10\% * Ta \text{ (1º año)}$$

***Livianos**

$$Tat \text{ (livianos)} = 11 \text{ vehículos/día}$$

***Buses**

$$Tat \text{ (buses)} = 4 \text{ vehículos/día}$$

***Camiones**

$$Tat \text{ (camiones)} = 4 \text{ vehículos/día}$$

- Tráfico desarrollado

$$Td = 5\% * Ta \text{ (1º año)}$$

***Livianos**

$$Tat \text{ (livianos)} = 6 \text{ vehículos/día}$$

***Buses**

$$Tat \text{ (buses)} = 2 \text{ vehículos/día}$$

***Camiones**

$$Tat \text{ (camiones)} = 2 \text{ vehículos/día}$$

Tabla 28. Tráfico actual total del proyecto

Tipo de Vehículo	TPD Actual	TPDA 1 año	Tg	Tat	Td	Ta TOTAL
Livianos	107	111	22	11	6	150
Buses	40	41	8	4	2	55
Camiones	43	44	9	4	2	59

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 29. Período de Diseño según el tipo de vía

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	oct-20

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

La vía en estudio se tomará como pavimentada de bajo tráfico, debido a esto el período de diseño será de 20 años.

Tabla 30. Tráfico para el período de diseño

Año	% Crecimiento			TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO			
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados	TPDA TOTAL
2021	3.57	1.78	1.74	150	55	59	264
2022	3.57	1.78	1.74	155	56	60	271
2023	3.57	1.78	1.74	161	57	61	279
2024	3.57	1.78	1.74	167	58	62	287
2025	3.57	1.78	1.74	173	59	63	295
2026	3.25	1.62	1.58	176	60	64	300
2027	3.25	1.62	1.58	182	61	65	308
2028	3.25	1.62	1.58	188	62	66	316
2029	3.25	1.62	1.58	194	63	67	324
2030	3.25	1.62	1.58	200	64	68	332
2031	3.25	1.62	1.58	207	65	69	341
2032	3.25	1.62	1.58	213	66	70	349
2033	3.25	1.62	1.58	220	67	71	358
2034	3.25	1.62	1.58	227	68	72	367
2035	3.25	1.62	1.58	235	69	73	377
2036	3.25	1.62	1.58	242	70	75	387
2037	3.25	1.62	1.58	250	71	76	397
2038	3.25	1.62	1.58	258	72	77	407
2039	3.25	1.62	1.58	267	73	78	418
2040	3.25	1.62	1.58	275	75	79	429
2041	3.25	1.62	1.58	284	76	81	441

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Para el cálculo del Eje Equivalente w18, se debe conocer el factor de daño para vehículos livianos, buses y pesados.

$$W18 \text{ total} = 365 * TPDA * FD$$

Tabla 31. Factor de Daño según el tipo de vehículo

Tipo	Simple		Simple Doble		Tandem		Tridem		Factor de Daño
	Ton	(P/6.6)^4	Ton	(P/8.2)^4	Ton	(P/15)^4	Ton	(P/23)^4	
Liviano	3	0.04							0.04
Buses	4	0.13	8	0.91					1.04
C - 2P	2.5	0.02							1.29
	7	1.27							1.29
C - 2G	6	0.68	11	3.24					3.92
C - 3	6	0.68			18	2.07			2.75
C - 4	6	0.68					25	1.4	2.08
C - 5	6	0.68			18	2.07			2.75
C - 6	6	0.68			18	2.07	25	1.4	4.15

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Tabla 32. Tráfico futuro a 20 años

Año	% Crecimiento			TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO				W18 diseño por año	W18 diseño acumulado	W18 de diseño
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados	TPDA TOTAL			
2021	3.57	1.78	1.74	150	55	59	264	50848	50848	25424
2022	3.57	1.78	1.74	155	56	60	271	51772	102620	51310
2023	3.57	1.78	1.74	161	57	61	279	52710	155330	77665
2024	3.57	1.78	1.74	167	58	62	287	53648	208978	104489
2025	3.57	1.78	1.74	173	59	63	295	54586	263564	131782
2026	3.25	1.62	1.58	176	60	64	300	55480	319044	159522
2027	3.25	1.62	1.58	182	61	65	308	56418	375462	187731
2028	3.25	1.62	1.58	188	62	66	316	57356	432818	216409
2029	3.25	1.62	1.58	194	63	67	324	58294	491112	245556
2030	3.25	1.62	1.58	200	64	68	332	59232	550344	275172
2031	3.25	1.62	1.58	207	65	69	341	60185	610529	305265
2032	3.25	1.62	1.58	213	66	70	349	61123	671652	335826
2033	3.25	1.62	1.58	220	67	71	358	62076	733728	366864
2034	3.25	1.62	1.58	227	68	72	367	63028	796756	398378
2035	3.25	1.62	1.58	235	69	73	377	63995	860751	430376
2036	3.25	1.62	1.58	242	70	75	387	65419	926170	463085
2037	3.25	1.62	1.58	250	71	76	397	66386	992556	496278
2038	3.25	1.62	1.58	258	72	77	407	67353	1059909	529955
2039	3.25	1.62	1.58	267	73	78	418	68335	1128244	564122
2040	3.25	1.62	1.58	275	75	79	429	69682	1197926	598963
2041	3.25	1.62	1.58	284	76	81	441	71135	1269061	634531

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

- **Confiabilidad (R)**

Tabla 33. Nivel de confiabilidad R

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad R	
	Urbana	Rural
Autopistas	85 - 99.9	80 - 89.99
Carreteras de primer orden	80 - 99	75 - 95
Carreteras secundarias	80 - 95	75 - 95
Caminos vecinales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

La vía del proyecto es una carretera secundaria y rural, el nivel de confiabilidad esta entre 75-95, se tomará un nivel de 80%.

- **Desviación Estándar Normal (Zr)**

Tabla 34. Desviación Estándar Normal Zr

Nivel de Confiabilidad R	Zr
50	0
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	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

La desviación estándar normal, depende del nivel confiabilidad, al tener un R = 80% Zr = -0.841.

- **Desviación Estándar Global (So)**

Se establece que la desviación estándar global para pavimentos flexibles varía entre $0.40 < So < 0.50$, la norma recomienda usar 0.45.

- **Índice de Serviciabilidad (PSI)**

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

PSI inicial para pavimentos flexibles es 4.2.

PSI final para caminos secundarios es 2.0.

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta\text{PSI} = 2.2$$

- **Módulo de Resiliencia de la Subrasante**

Para determinar el módulo de resiliencia de la subrasante se utilizará el CBR de laboratorio perteneciente al pozo N° 11 = 14.5%.

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

$$Mr(\text{PSI}) = 3000 * (14.5)^{0.65}$$

$$Mr(\text{PSI}) = 17061$$

$$Mr = 17.06 \text{ Ksi}$$

Coefficientes estructurales a1, a2, a3

Es necesario establecer un valor CBR para la base, y sub-base del pavimento, de igual forma conocer el módulo elástico de la capa asfáltica.

Las especificaciones del MTOP, establecen que el CBR para bases mínimo es 80%, y para subbase 30%.

El módulo elástico de la capa asfáltica es 375 000 PSI – 375 Ksi

- **Coefficiente estructural a1**

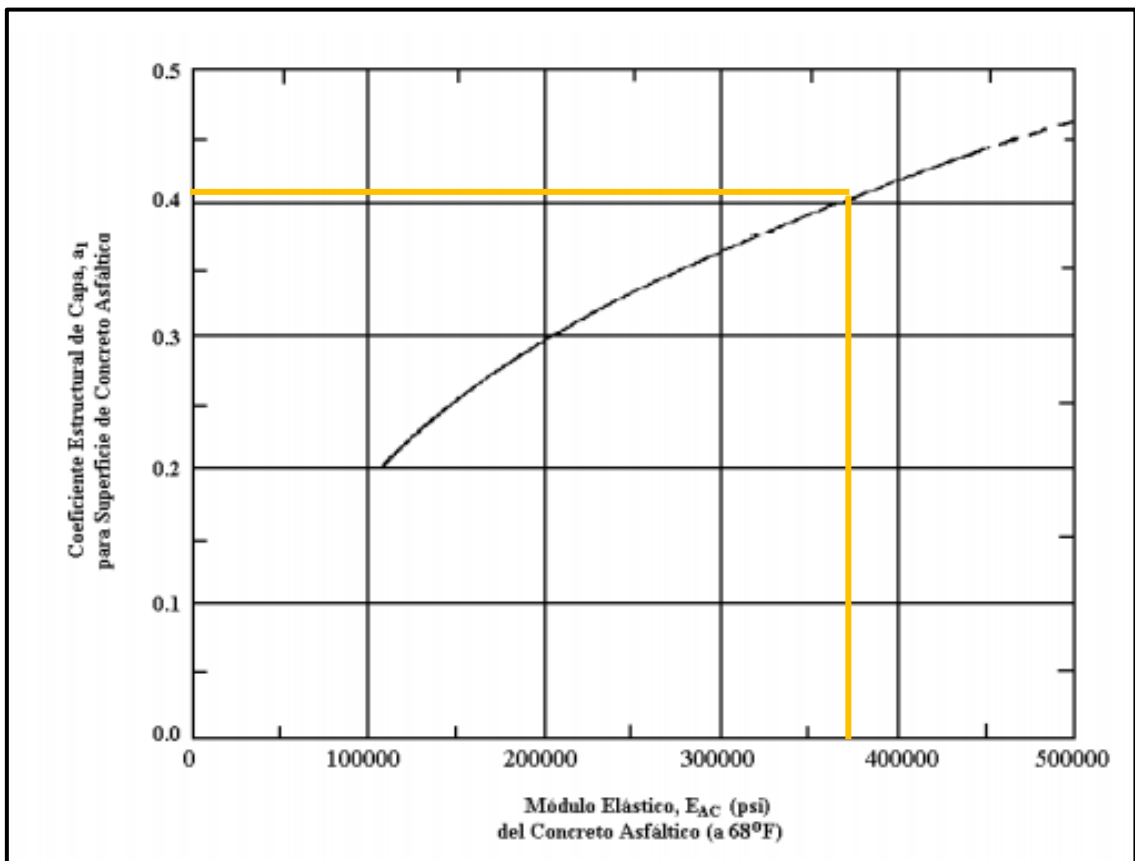


Figura 54. Carta para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a partir del módulo elástico.

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Para el módulo elástico de 375 000 PSI se obtiene un coeficiente estructural $a_1 = 0.405$

- Coeficiente estructural a_2

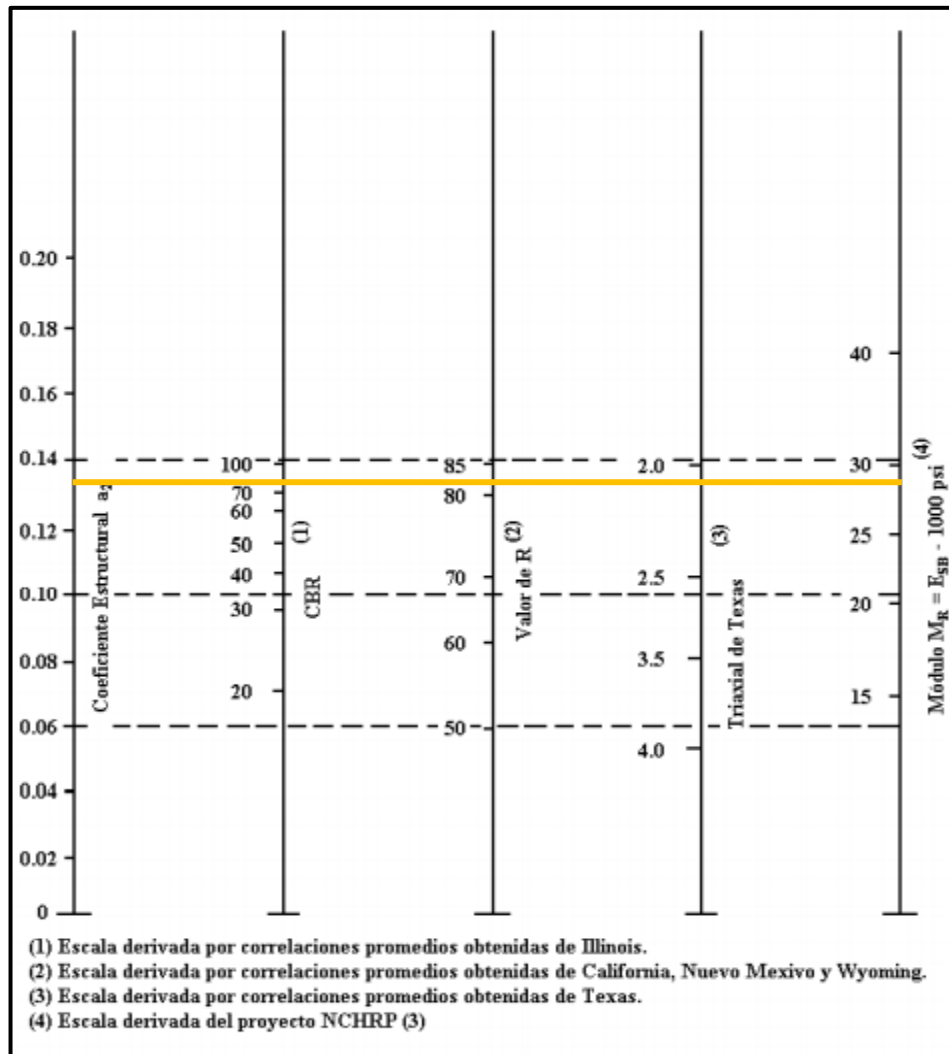


Figura 55. Ábaco para estimar el coeficiente estructural a_2

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Para un CBR 80% se obtiene un coeficiente estructural $a_2 = 0.133$, y un módulo de resiliencia para la capa base de 28 Ksi.

- Coeficiente estructural a3

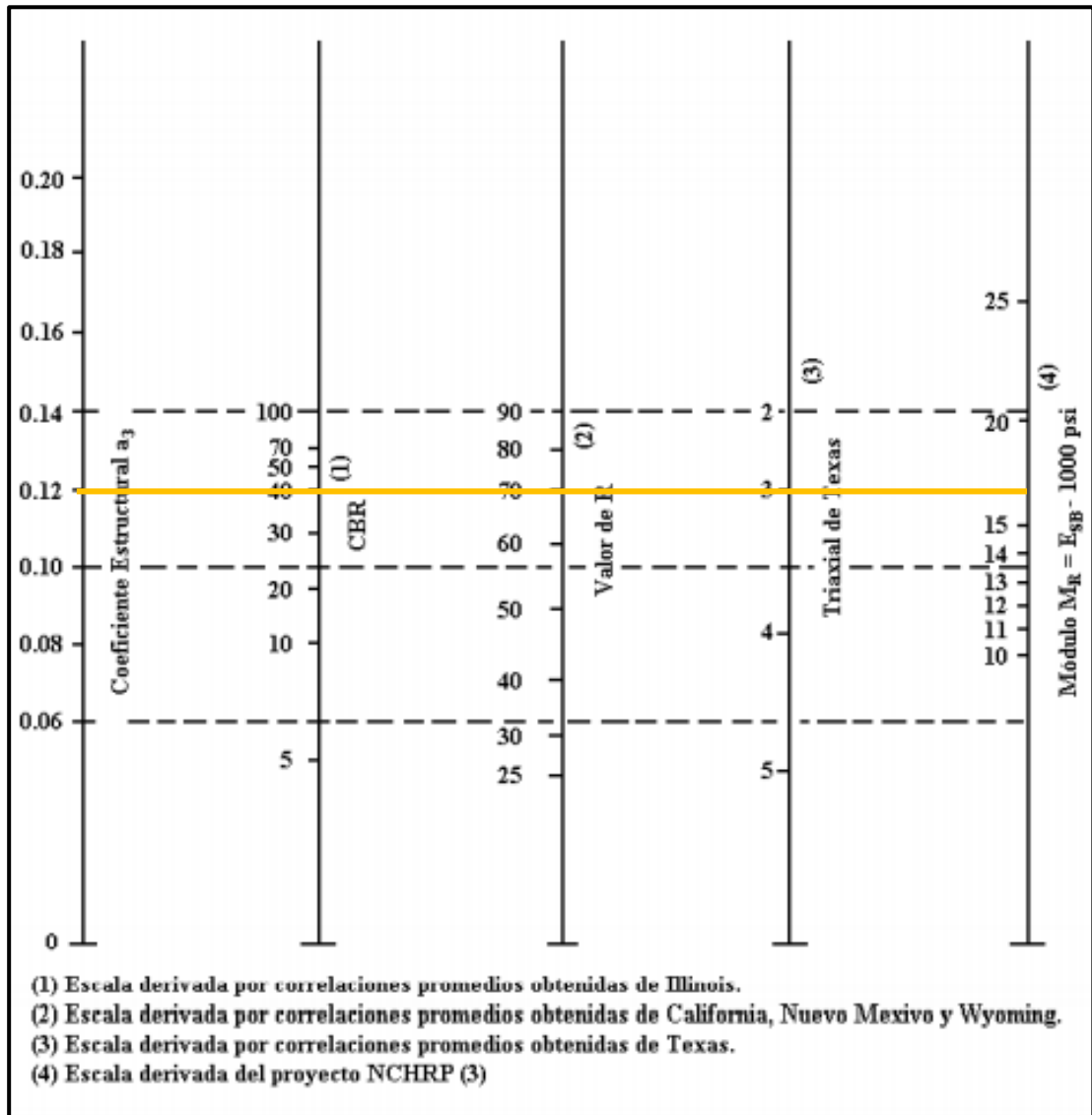


Figura 56. Ábaco para estimar el coeficiente estructural a_3

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Para un CBR 40% se obtiene un coeficiente estructural $a_3 = 0.120$, y un módulo de resiliencia para la capa subbase de 16.2 ksi.

- **Coefficiente de drenaje m2, m3**

Tabla 35. Calidad de drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo de eliminación de agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

El tiempo que se estima que el agua se elimina es de 1 día, la calidad de drenaje es buena.

Tabla 36. Valores m2 y m3 según la capacidad de drenaje.

Capacidad de drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos del 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: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Se obtiene coeficiente de drenaje m2 y m3 de 1.1

Se calcula el Número Estructural SN mediante el programa AASHTO 93, los datos que se ingresan en el programa son:

- PSI inicial = 4.2
- PSI final = 2.0
- Confiabilidad R =80%
- Desviación estándar normal Zr = -0.841
- Desviación estándar global So = 0.45
- Módulo de Resiliencia de la subrasante= 17061 PSI
- W18= 634531

Figura 57. Programa AASHTO 93

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Se realiza una comparación entre el CBR obtenido de la correlación N°22 y el CBR de laboratorio del pozo N°11.

- CBR (laboratorio) = 14.5%
- CBR (correlación) = 18%

Diseño del pavimento flexible con CBR de laboratorio.

Tabla 37. Diseño de Pavimento CBR laboratorio

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16.20
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			634,531
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17.06
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)			0.405
Base granular (a ₂)			0.133
Subbase (a ₃)			0.120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1.100
Subbase (m ₃)			1.100
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	2.15		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	1.77		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0.42		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	-0.04		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	Teórico	Espesor	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	11.1 cm	5.0 cm	0.80
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7.3 cm	10.0 cm	0.58
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0.9 cm	15.0 cm	0.78
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	2.15

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Los espesores propuestos de cada capa del pavimento con un CBR de la subrasante de 14.5% son:

Tabla 38. Espesores de cada capa del pavimento diseñado

Capa Pavimento	Espesor
Carpeta Asfáltica	5.0 cm
Base Granular	10.0 cm
Subbase Granular	15.0 cm

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

$$2.15 \geq 2.15 \text{ Cumple.}$$

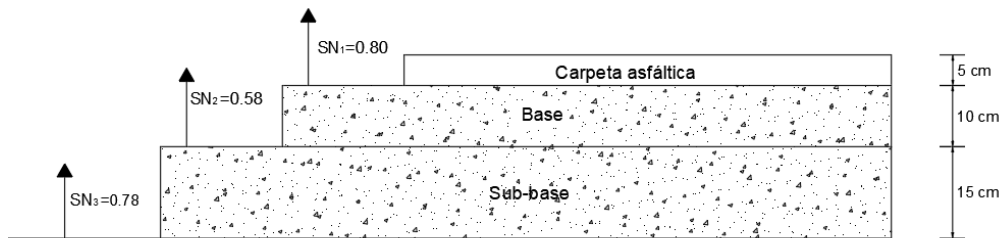


Figura 58. Espesor de cada capa del pavimento diseñado

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Diseño del pavimento flexible con CBR de la correlación N° 22.

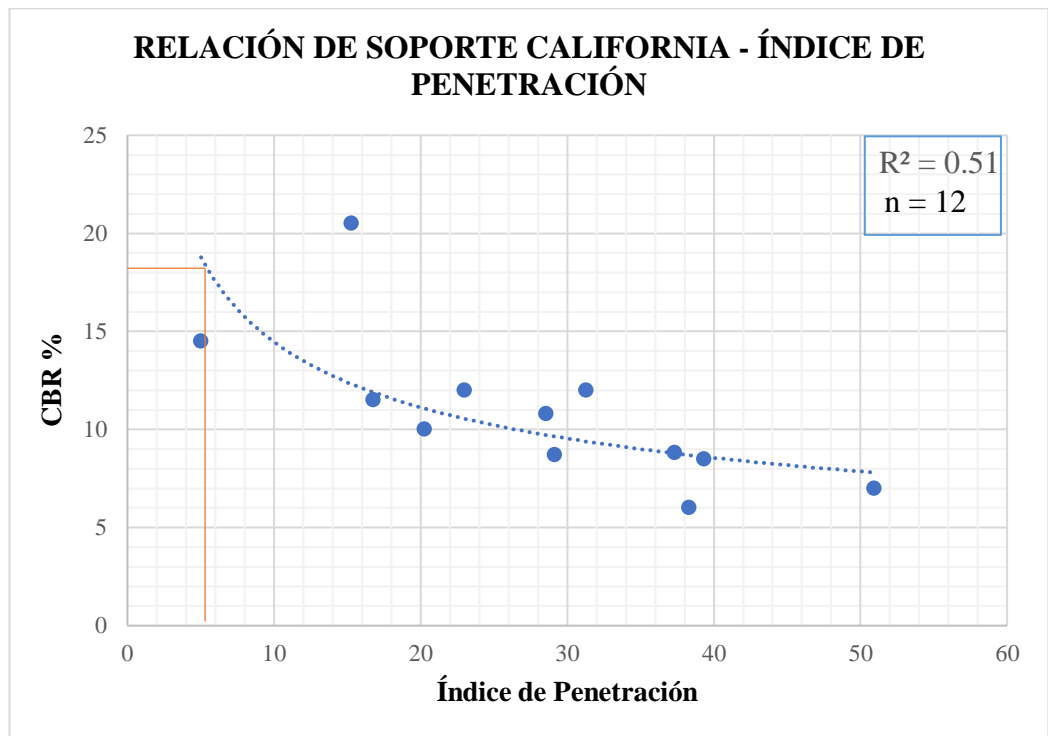


Figura 59. Correlación CBR-DN
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

El valor del CBR obtenido mediante la correlación es de 18%, se tomó en cuenta el índice de penetración de la muestra N°11 que es 5.023 mm/golpe.

El módulo de resiliencia de la subrasante cambiará con el nuevo valor de CBR.

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

$$Mr(PSI) = 3000 * (18)^{0.65}$$

$$Mr(PSI) = 19635$$

$$Mr = 19.63 \text{ Ksi}$$

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % $Z_r = -0.841$ So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 19635 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 =** 634531
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.04

Calcular Salir

Figura 60. Programa AASHTO 93, cálculo SN

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Tabla 39. Diseño de Pavimento CBR de la correlación

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16.20
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			634,531
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			19.63
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)			0.405
Base granular (a ₂)			0.133
Subbase (a ₃)			0.120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1.100
Subbase (m ₃)			1.100
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	2.04		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	1.77		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0.42		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	-0.16		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	Teórico	Espesor	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	11.1 cm	5.0 cm	0.80
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7.3 cm	10.0 cm	0.58
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-3.0 cm	15.0 cm	0.78
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	2.15

Fuente: Manual de Diseño de Pavimento AASHTO 93. [22]

Los espesores propuestos de cada capa del pavimento con un CBR de la subrasante de 18% son:

Tabla 40. Espesores de cada capa del pavimento diseñado

Capa Pavimento	Espesor
Carpeta Asfáltica	5.0 cm
Base Granular	10.0 cm
Subbase Granular	15.0 cm

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

$$2.15 \geq 2.04 \text{ Cumple}$$

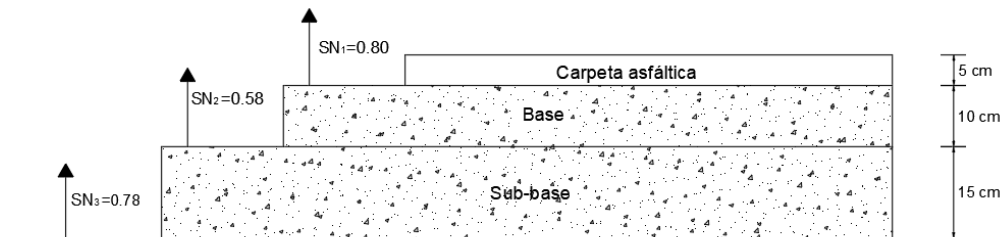


Figura 61. Espesor de cada capa del pavimento diseñado

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

3.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

- **Hipótesis Alternativa**

Si existe correlaciones entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.

- **Hipótesis Nula**

No existe correlaciones entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinó las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro, los valores están descritos en las Tablas N° 23 y 24, respectivamente.
- Se realizó un muestreo representativo de los suelos existentes en la parroquia, el número de muestras extraído fueron 12 y se obtuvieron de suelos naturales a los lados de las vías en secciones de corte.
- Se diseñó el pavimento flexible de la vía que conecta Marcos Espinel con Píllaro Centro, se utilizó el CBR de laboratorio= 14.5% y el CBR que se obtuvo de la correlación N°22= 18%. Los espesores teóricos y el número estructural de las capas del pavimento presentan variaciones mínimas.
- La presente investigación es parte del macroproyecto Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Píllaro y Patate de la provincia de Tungurahua, con el cual se ampliará la base de datos existentes referentes a dichos estudios en la provincia.
- Se realizó la zonificación de los suelos de la parroquia estudiada, clasificando según la SUCS en SM, SP-SM y SW-SM; según la AASHTO en A-2-4, A-2-5 y A-4. El mapa de zonificación se encuentra en la Figura 19.
- Se determinó mediante el ensayo de granulometría que los suelos son arenas limosas, al contener un porcentaje promedio de arena de 85.87%, de limos de 14.13% y de gravas 0.01%.

- Se analizó que los suelos estudiados tienen una plasticidad baja, debido a que su límite líquido es inferior a 50% y su índice plástico promedio es de 3.65%.
- Se realizó 22 correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos en estudio, las cuales poseen un coeficiente de determinación r^2 confiable, debido a que su valor es superior al 50%, y el más alto en la correlación N°1 de los límites de Atterberg es de 97%.
- Se analizó que la línea de tendencia de las correlaciones entre las propiedades de los suelos no siempre es lineal, dado que se debe buscar que el coeficiente de determinación sea mayor o igual a 50% para tener una correlación confiable.
- En las correlaciones no se obtiene un coeficiente de determinación r^2 excelente de 100%, debido a las propiedades distintas que cada suelo posee y de las condiciones al realizar los ensayos en campo y laboratorio, sin embargo, los coeficientes obtenidos son confiables.
- Las correlaciones entre las propiedades de los suelos, propuestas en la presente investigación aportan a la comparación de los resultados que se obtienen mediante ensayos normados, más no los reemplaza.
- Se determinó mediante el ensayo Proctor Modificado el contenido de humedad óptima para cada suelo analizado, que varían entre 9% - 39%, valores que son necesarios obtener para realizar el ensayo de CBR con una humedad óptima controlada.
- La correlación propuesta entre el CBR de laboratorio y el índice de penetración, servirá como referencia para el diseño preliminar de pavimentos, debido a que ambos son ensayos usados en la evaluación de calidad de bases, subbases y subrasantes de la estructura del pavimento.
- Se determinó que la correlación entre el CBR% y el DCP es aceptable, debido a que su coeficiente de determinación r^2 es 51%, mediante esta

relación se puede obtener valores aproximados de CBR al conocer los valores de índice de penetración. Sin embargo, cabe recalcar que este método no reemplaza al ensayo CBR.

- Se analizó la similitud que presentan la ecuación CBR vs DN establecida por la norma ASTM y la ecuación obtenida mediante la correlación N° 22, ambas poseen una línea de tendencia potencial, y las variables son inversamente proporcional entre sí. (Figura 53).
- Para la determinación de los coeficientes estructurales de cada capa del pavimento se utilizó las especificaciones del MTOP que establecen que el CBR mínimo para bases es 80%, y para subbase es 30%.
- Para el diseño del pavimento flexible en el que se utilizó el CBR obtenido de la correlación y el CBR de laboratorio, se utilizó los espesores mínimos que establece la norma AASHTO.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda seguir cada norma establecida, tanto para ensayos de campo y de laboratorio para realizarlos correctamente y evitar así datos o resultados errados que no permitan una correlación confiable para las propiedades del suelo.
- Al momento de extraer las muestras de suelo se recomienda verificar que el suelo se encuentre en estado natural y se retire la capa vegetal, de esta manera al momento de realizar los ensayos no exista ningún error.
- Es necesario revisar la norma AASHTO 93 previo al diseño de la estructura del pavimento, para escoger los datos y coeficientes de un diseño adecuado evitando resultados incorrectos en los espesores de las capas del pavimento.
- Se recomienda realizar correlaciones entre las propiedades de diferentes tipos de suelos que se encuentran a lo largo de las provincias de la Costa y Oriente ecuatoriano, para ampliar la base de datos existente.
- Se recomienda utilizar correctamente la Carta de Plasticidad de SUCS y AASHTO, para la clasificación de los suelos y obtener una zonificación adecuada en la parroquia.
- Es recomendable utilizar las correlaciones analizadas en la presente investigación únicamente para suelos que sean de la misma clasificación de los suelos estudiados, para que las correlaciones sean confiables debido a que cada suelo tiene diferentes propiedades índices y mecánicas.
- Se recomienda que se realice el ensayo Proctor Modificado adecuadamente, siguiendo el procedimiento descrito en la norma, para obtener valores correctos de humedad óptima de cada suelo, la misma que será utilizada en el ensayo CBR.
- Se recomienda que, al realizar las correlaciones entre las variables, se retiren del diagrama las que se encuentren más alejadas de la línea de

tendencia, tomando en cuenta que máximo se descarte dos muestras para mejorar las correlaciones y obtener un coeficiente de determinación bueno.

- Se recomienda utilizar correlaciones con propiedades que se puedan realizar fácilmente en campo cuando no sea posible realizar ensayos de laboratorio en una obra al no tener el equipo o encontrarse lejos del mismo.
- Se recomienda que al utilizar los ábacos propuestos por la AASHTO 93 para la obtención de los coeficientes estructurales y módulos de resiliencia en el diseño de pavimentos, tener precisión al observar los datos que proporcionan, para no tener errores en los espesores de las capas del pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. B. Bassey, «Correlation between CBR Values and Index Properties of Soils: A Case Study of Ibiono, Oron and Onna in Akwa Ibom State,» *Scientific & Academic Publishing*, p. 102, 2017.
- [2] H. N. Yusep Muslih Purwana, «The Correlation between the CBR and Shear Strength in Unsaturated Soil Conditions,» *International Journal of Transportation Engineering*, vol. 1, nº 3, 2014.
- [3] O. A. V. S. Josué Daniel Bermúdez Sierra, «VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DCP,» *GeoConsult*, 2016.
- [4] J. Vivanco, «DISEÑO CON CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICO EN VÍAS SECUNDARIAS».
- [5] W. Hurtado, «Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en la avenida Abdón Calderón, parroquia Conocoto, cantón Quito, provincia de Pichincha.,» 2016.
- [6] A. 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,» 2013.
- [7] C. F. S., «ESTIMACION DEL VALOR DE CBR USANDO PENETRÓMETRO DE CONO DINÁMICO».
- [8] A. G. Jhon Contreras, «CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ,UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.,» 2019.
- [9] L. E. Paucar, «DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS CBR DE LABORATORIO Y PDC IN SITU PARA

LOS TIPOS DE SUELOS DE LA SUBRASANTE DE LA VIA RIOBAMBA –
ALAUSI».

- [10] A. MacGregor , R. Gallarda y H. Yulady Haideé, «Caracterización de suelos de subrasante mediante el uso del penetrómetro dinámico de cono (PDC),» *Respuestas*, vol. 25, n° s2, pp. 59-68, 2019.
- [11] C. C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, México: Limusa, 2004.
- [12] L. P. Maldonado, *Mecánica de Suelos Elemental*, Ambato-Ecuador.
- [13] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, México: Cengage , 2015.
- [14] J. E. Bowles, *Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil*, México: McGRAW-HILL, 1981.
- [15] Universidad Tecnológica de Chile, «Propiedades Índice de los Suelos,» *Inacap*, p. 18.
- [16] W. R. Serquén, «Propiedades índice de los Suelos,» *Academia*, p. 30.
- [17] R. R. Juárez Badillo, *Mecánica de Suelos*, México: Limusa, 2005.
- [18] L. G. d. Vallejo, *Ingeniería Geológica*, Madrid: Pearson, 2002.
- [19] F. V. Agreda, «EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE SUELOS,» p. 18, 2006.
- [20] F. O. Bustamante, *Estructuración de vías terrestres*, México: Patria, 2009.
- [21] Universidad Mayor de San Simón, *Pavimentos*, Bolivia, 2004.
- [22] Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, *Manual de Diseño de Pavimentos (AASHTO-93)*, La Paz, 2006.
- [23] M. F. Triola, *Estadística*, México: Pearson, 2009.
- [24] L. J. S. Murray R. Spiegel, *Estadística*, México: Mc Graw Hill, 2009.
- [25] C. M. Bencardio, *Estadística y Muestreo*, Bogotá: Ecoe, 2012.

[26] G. M. ESPINEL, «GUÍA DE MARCOS ESPINEL,» [En línea]. Available:
<https://gadmarcosespinel.gob.ec/>. [Último acceso: Octubre 2020].

ANEXOS

A. FOTOGRAFÍAS

1. POZO A CIELO ABIERTO



Figura 62. Georreferenciación de los pozos

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 63. Extracción de la capa vegetal

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 64. Excavación del pozo 1m de profundidad

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

2. DENSIDAD DE CAMPO, MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA



Figura 65. Colocación de la placa metálica

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 66. Extracción del suelo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 67. Medición de la profundidad con el calibrador Pie de Rey

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 68. Colocación del cono y arena de Ottawa

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 69. Medición del peso final de la arena de Ottawa

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

3. ENSAYO DCP



Figura 70. Armado del martillo y regla para el ensayo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 71. Ejecución de golpes del ensayo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

4. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS



Figura 72. Toma de temperatura del agua en el picnómetro

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 73. Colocación del suelo en el picnómetro

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 74. Extracción del aire en el picnómetro

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 75. Peso de la muestra para secar en el horno

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

5. GRANULOMETRÍA



Figura 76. Peso de la muestra de suelo que será tamizada

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 77. Ubicación de tamices en el orden correcto para tamizar

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 78. Tamizado de la muestra de suelo durante 15 minutos

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 79. Peso del suelo retenido en cada tamiz

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

6. LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE)



Figura 80. Pulverización de la muestra de suelo con el mortero

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 81. Colocar la muestra de suelo en la Copa Casagrande

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 82. Separar la muestra de suelo con el ranurador

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

7. LÍMITE PLÁSTICO



Figura 83. Elaboración de rollitos de espesor 3 mm

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

8. PROCTOR MODIFICADO



Figura 84. Apisonar con el martillo cada capa de suelo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Figura 85. Enrazar el suelo

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

9. ENSAYO CBR



Figura 86. Colocación de pesas en el molde

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



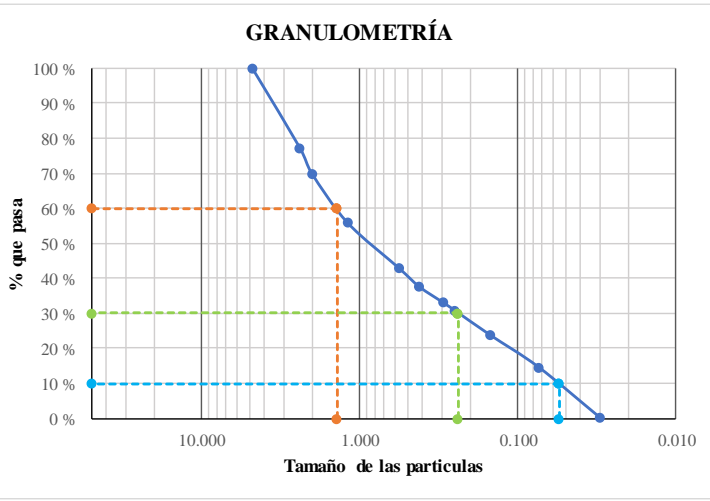


Figura 87. Sumergir el molde en agua

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



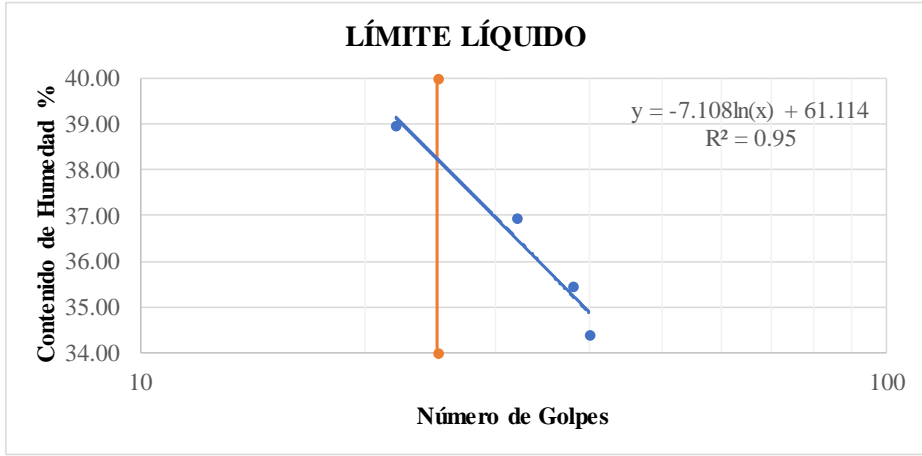
B. TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 41. Ensayo 1 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	1				
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	778261; 9869631				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
49.20	369.90	270.90	36.54	36.19			
47.40	455.00	335.10	35.78				
48.20	368.10	270.20	36.23				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				741.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% Pasa		
4.760	4	0	0	0	100		
2.380	8	168.60	168.60	22.75	77.25		
2.000	10	54.10	222.70	30.05	69.95		
1.190	16	104.30	327.00	44.13	55.87		
0.565	30	95.60	422.60	57.03	42.97		
0.420	40	39.50	462.10	62.36	37.64		
0.297	50	33.50	495.60	66.88	33.12		
0.250	60	16.90	512.50	69.16	30.84		
0.149	100	52.30	564.80	76.22	23.78		
0.074	200	67.40	632.20	85.32	14.68		
0.030	fuelle	107.80	740.00	99.87	0.13		
<p style="text-align: center;">GRANULOMETRÍA</p> 							
D10 en mm	0.055	Cu = D60/D10		25.273			
D30 en mm	0.24	Cc = D30 ² /(D60*D10)		0.753			
D60 en mm	1.39	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2.38 mm			



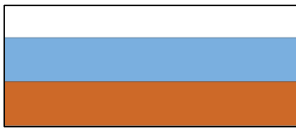
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 42. Ensayo 1 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 1						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 778261; 9869631						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
35	22	82.50	73.10	50.20	9.40	22.90	41.05	38.95
27		89.30	78.50	49.20	10.80	29.30	36.86	
9	38	89.60	78.90	48.20	10.70	30.70	34.85	35.47
16		73.20	67.10	50.20	6.10	16.90	36.09	
29	40	77.10	69.20	46.50	7.90	22.70	34.80	34.41
21		92.20	80.60	46.50	11.60	34.10	34.02	
17	32	88.40	77.40	48.20	11.00	29.20	37.67	36.93
31		69.60	63.70	47.40	5.90	16.30	36.20	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
33	50.40	50.20	0.20	49.20	1.00	20.00	33.15	
11	49.10	48.70	0.40	47.40	1.30	30.77		
22	50.40	49.80	0.60	48.20	1.60	37.50		
67	6.30	5.90	0.40	4.90	1.00	40.00		
68	31.90	31.60	0.30	30.80	0.80	37.50		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		38.20		SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %		33.15			SUCS	SM		
Índice plástico %		5.05						



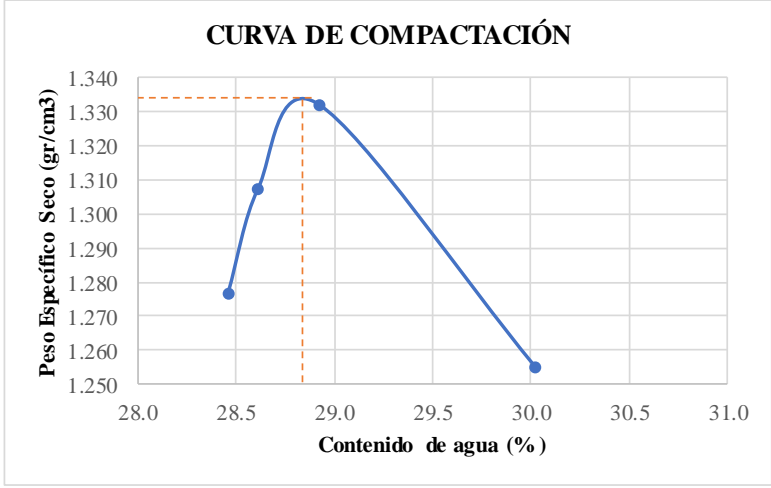
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 43. Ensayo 1 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 				
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia: Tungurahua	N° Muestra:	1		
Cantón: Pillaro	Coordenadas:	778261; 9869631		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014				
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)				
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1446		
Peso de la funda gr	Rec	6.1		
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1439.9		
Volumen de la perforación del suelo (Vm)				
Peso inicial frasco + cono + arena		7190.00		
Peso final frasco + cono + arena		5610.00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		209.97		
Peso arena en la perforación		1370.03		
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)		1.582		
Volumen de la perforación	Vm	866.01		
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente #		32	33	
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	231	205	
Peso seco + recipiente	Ws + rec	169	147	
Peso del recipiente	rec	47	49	
Peso del agua	Ww	62	58	
Peso de los sólidos	Ws	122	98	
Contenido de humedad	w%	50.82	59.18	
contenido de humedad promedio	w% prom	55.00		
Determinación de las fases del suelo				
Vv		Volumen	Peso	
Va		Wa	64.63	-
Vw		Ww	2.63	0
Vs		Ws	62	62
Vm		Wm	46.04	122
			110.66	184
Determinación de las propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.663	gr/cm ³	
Densidad seca	(γ_d)	1.073	gr/cm ³	
Contenido de humedad	w%	55.00	%	
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	1.40	Natural	
Porosidad	n%= Vv/Vm *100	58.40	%	
Grado de saturación de agua	Gw%= Vw/Vv *100	95.94	%	
Grado de saturación de aire	Ga%	4.06	%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015				
Peso del picnometro + agua Wbw	Wbw	669.10	gr	
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	697.10	gr	
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	22.00	gr	
Temperatura de agua y suelo °C		17.50	°C	
Factor por corrección por temperatura K		0.99869		
Recipiente + Peso de suelo seco		782.50	gr	
Peso de recipiente		256.30	gr	
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.70	gr	
Gravedad específica Gs	Gs= (Ws*K)/(Ws+Wbw-Wbws)	2.277	gr	



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

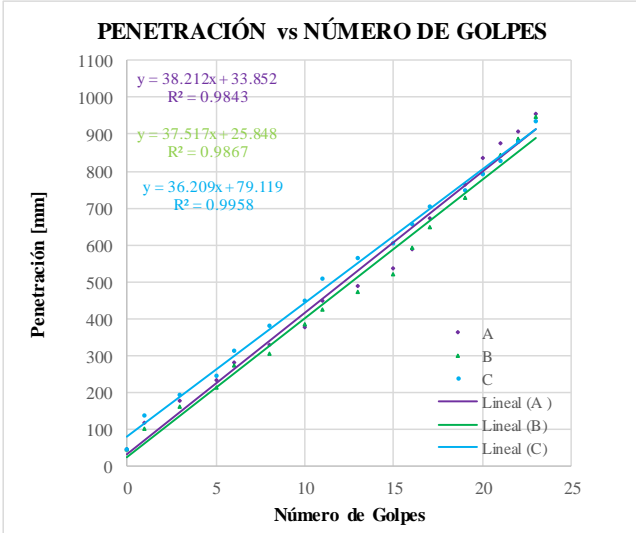
Tabla 44. Ensayo 1 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 1				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 778261; 9869631				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018						
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb			
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd			
VOLUMEN:	2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5			
MASA:	16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56			
PRUEBA N°	1		2	3	4	
% Rango en aumento	0		1	2	3	
Suelo húmedo+molde (gr)	19230		19330	19420	19250	
Masa molde (gr)	15440		15440	15440	15440	
Masa suelo húmedo (gr)	3790		3890	3980	3810	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.784		1.831	1.874	1.794	
Masa del tarro (gr)	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2
Masa suelo húm.+tarro (gr)	351.6	335.9	253.4	281.2	232.4	308.2
Masa suelo seco+tarro (gr)	265.6	254.8	194.2	216.3	181.6	230.9
Masa del agua (gr)	86	81.1	59.2	64.9	50.8	77.3
Masa suelo seco (gr)	301.4	285.7	203.2	231	182.2	258
Contenido de agua (%)	28.534	28.386	29.134	28.095	27.881	29.961
w (%) Promedio	28.460		28.615	28.921	30.019	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.277		1.307	1.332	1.255	
Densidad Seca Máxima (y máx):			1.333 gr/cm ³			
Humedad Óptima:			28.80 %			
Gravedad de compactación:			95.76 %			
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA						
<p>CURVA DE COMPACTACIÓN</p> 						

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 45. Ensayo 1 DCP



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN		
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 1	
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 778261; 9869631	
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz Revisado por: Ing. Favio Portilla	
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A Penetración acumulada	B Penetración acumulada	C Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	115	100	135
3	175	160	190
5	230	210	243
6	280	270	310
8	328	305	380
10	375	385	445
11	445	425	505
13	487	470	562
15	534	520	602
16	585	590	655
17	670	645	704
19	764	725	745
20	835	795	790
21	872	843	825
22	905	885	878
23	955	945	935



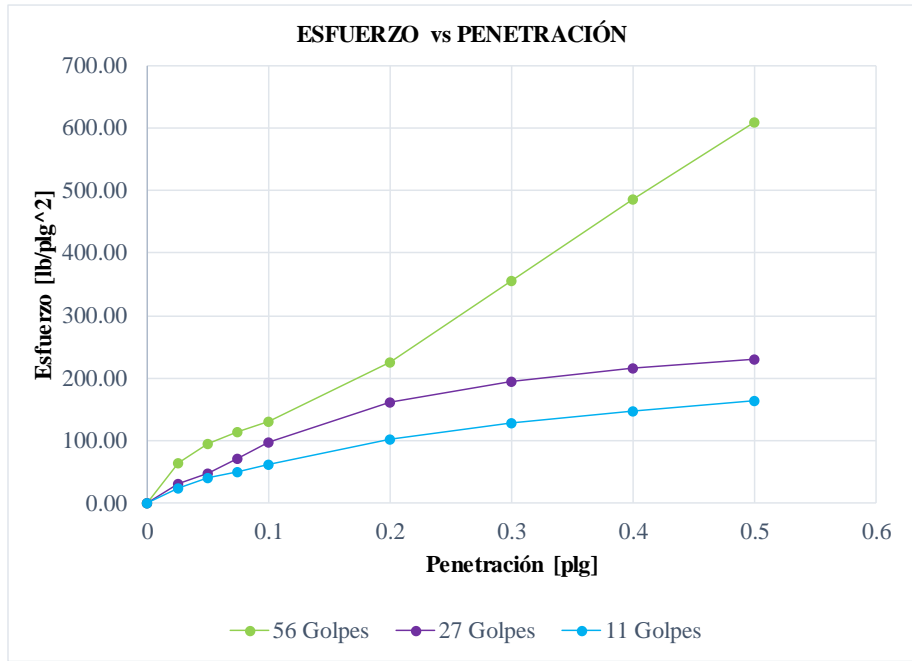
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	38.212	
B	37.517	
C	36.209	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 46. Ensayo 1 CBR

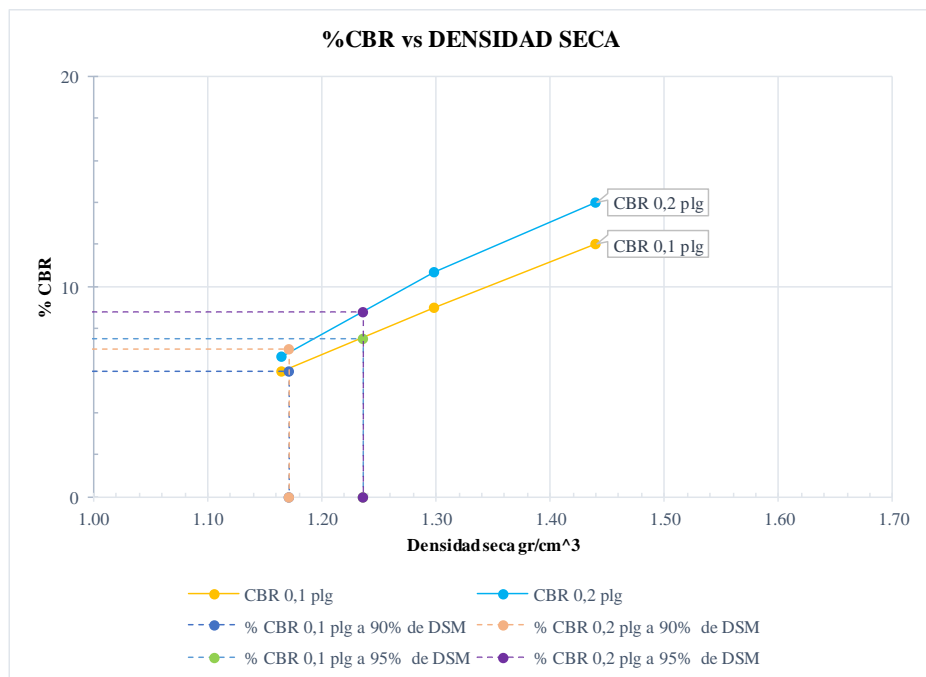
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 1				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 778261; 9869631				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR DE LABORATORIO- AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	10669		9521		8784	
Masa del molde [gr]	6605		5671		5172	
Masa muestra húmeda [gr]	4064		3850		3612	
Volumen muestra [cm ³]	2343.37		2340.42		2143.87	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.734		1.645		1.685	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	154.3	171.2	99.7	129.8	140.9	122.0
Masa suelo seco + recip [gr]	132.0	149.1	86.2	108.8	105.4	96.5
Masa de agua [gr]	22.3	22.2	13.5	21.1	35.5	25.5
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	101.8	115.9	53.4	76.3	73.5	62.9
Contenido de humedad W%	21.86	19.13	25.20	27.62	48.29	40.47
W % promedio	20.49		26.41		44.38	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.440		1.299		1.164	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	10754		9664		9030	
Masa del molde [gr]	6605		5671		5172	
Masa muestra húmeda [gr]	4149		3993		3858	
Masa de agua absorbida [gr]	85		143		246	
% de agua absorbida	2.0572		3.5767		6.3755	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	109.6	107.5	114.2	110.3	110.4	101.7
Masa de suelo seco + tarro [gr]	94.7	92.8	98.3	94.9	90.0	85.8
Masa del agua [gr]	15.0	14.7	15.9	15.5	20.4	15.9
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	62.1	62.1	67.2	62.4	58.2	52.7
Contenido de agua %	24.08	23.75	23.71	24.81	35.07	30.23
W % promedio	23.92		24.26		32.65	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	191.26	63.75	96.55	32.18	74.55	24.85
0.05	287.74	95.91	142.00	47.33	123.19	41.06
0.075	345.24	115.08	215.33	71.78	149.42	49.81
0.1	389.79	129.93	296.15	98.72	189.35	63.12
0.2	673.89	224.63	483.82	161.27	304.69	101.56
0.3	1071.63	357.21	586.88	195.63	384.23	128.08
0.4	1458.00	486.00	646.32	215.44	442.85	147.62
0.5	1830.51	610.17	691.99	230.66	492.45	164.15

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



Porcentaje CBR (corregidos)



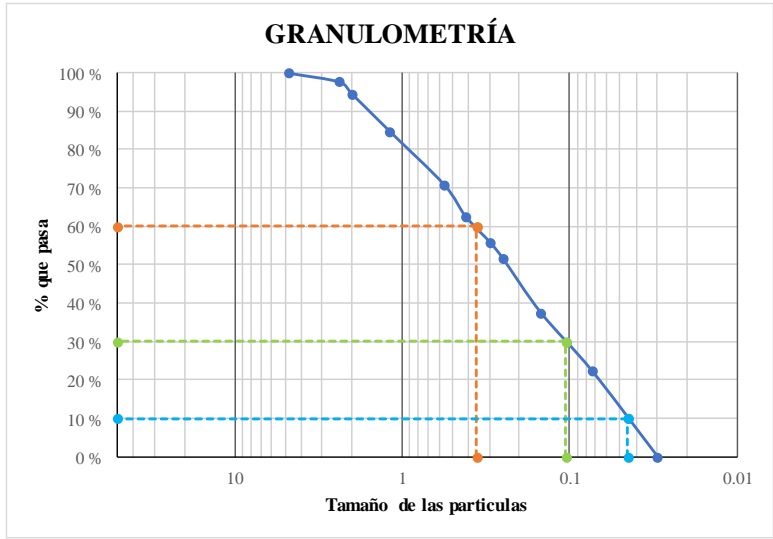
Molde N°	Presión [lb/plg^2]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg^2]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	120	12.00	1.440	210	14.00	1.440
2	90	9.00	1.299	160	10.67	1.299
3	60	6.00	1.164	100	6.67	1.164
Densidad seca máxima gr/cm^3			1.301			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.171	6	7		7	
95	1.236	7.5	8.8		8.8	



El CBR para el diseño de pavimentos es 8.8 %



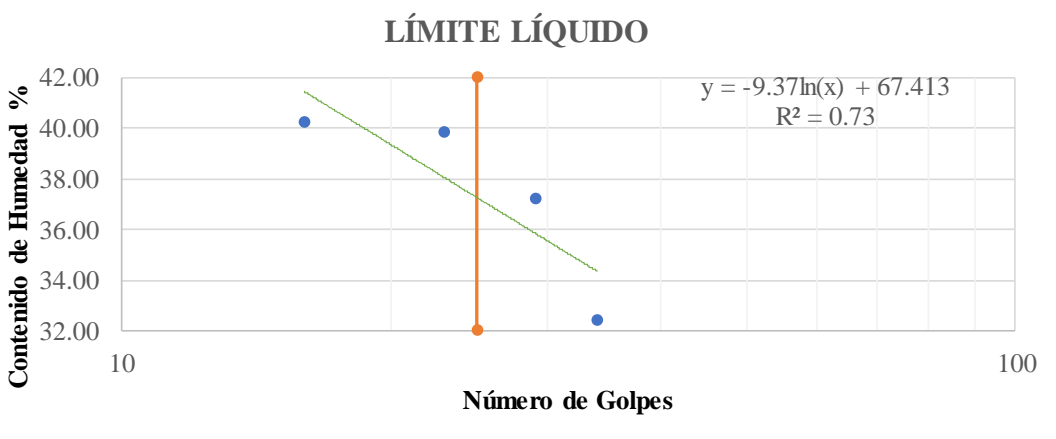
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 47. Ensayo 2 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	2				
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	781254; 9870708				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
48.20	369.70	225.90	63.66	65.34			
50.20	376.50	225.70	66.81				
49.20	372.00	224.70	65.55				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				532.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% que pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	12.30	12.30	2.31	97.69		
2.00	10	16.80	29.10	5.47	94.53		
1.19	16	51.80	80.90	15.21	84.79		
0.565	30	73.70	154.60	29.06	70.94		
0.42	40	44.10	198.70	37.35	62.65		
0.297	50	37.10	235.80	44.32	55.68		
0.25	60	22.20	258.00	48.50	51.50		
0.149	100	74.50	332.50	62.50	37.50		
0.074	200	80.20	412.70	77.58	22.42		
0.03	fuente	119.00	531.70	99.94	0.06		
							
D10 en mm	0.045	Cu = D60/D10		8.000			
D30 en mm	0.105	Cc = D30²/(D60*D10)		0.681			
D60 en mm	0.36	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		1.19 mm			



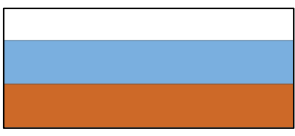
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 48. Ensayo 2 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 2						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 781254; 9870708						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
26	23	60.10	57.10	49.20	3.00	7.90	37.97	39.82
4		69.60	63.60	49.20	6.00	14.40	41.67	
29	29	70.80	64.60	46.50	6.20	18.10	34.25	37.23
9		62.50	58.40	48.20	4.10	10.20	40.20	
21	16	67.70	61.20	47.40	6.50	13.80	47.10	40.22
31		61.80	58.20	47.40	3.60	10.80	33.33	
24	34	61.50	57.40	47.40	4.10	10.00	41.00	32.43
27		71.00	66.80	49.20	4.20	17.60	23.86	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra	Peso Muestra	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra	W%	Promedio W%	
47	28.30	28.10	0.20	27.60	0.50	40.00	32.24	
48	29.10	28.70	0.40	27.60	1.10	36.36		
49	28.80	28.50	0.30	27.60	0.90	33.33		
50	29.20	28.80	0.40	27.60	1.20	33.33		
51	28.90	28.70	0.20	27.60	1.10	18.18		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %	37.30			SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %	32.24				SUCS	SM		
Índice plástico %	5.06							



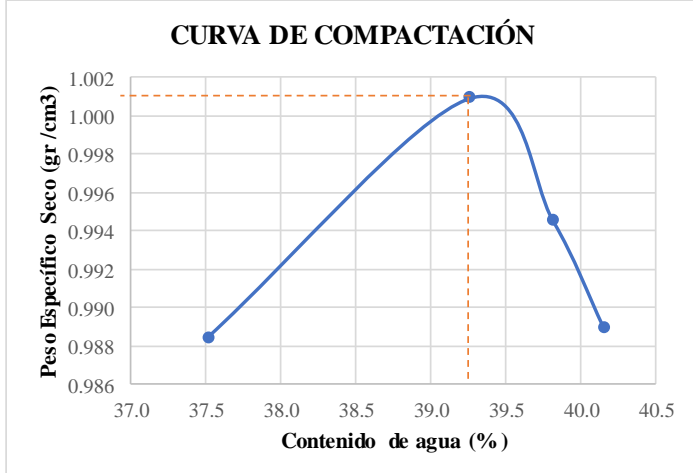
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 49. Ensayo 2 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 2		
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 781254; 9870708		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1337	
Peso de la funda gr	Rec	5.2	
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1331.8	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena		7180.00	
Peso final frasco + cono + arena		5540.00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		209.97	
Peso arena en la perforación		1430.03	
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)		1.582	
Volumen de la perforación	Vm	903.94	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		9	29
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	176	182
Peso seco + recipiente	Ws + rec	128	133
Peso del recipiente	rec	48	46
Peso del agua	Ww	48	49
Peso de los sólidos	Ws	80	87
Contenido de humedad	w%	60.00	56.32
contenido de humedad promedio	w% prom	58.16	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		59.48	-
Vw		10.48	0
Vs		49	49
Vm		32.83	87
		92.31	136
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.473	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	0.932	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	58.16	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	1.81	Natural
Porosidad	n%= Vv/Vm *100	64.43	%
Grado de saturación de agua	Gw%= Vw/Vv *100	82.38	%
Grado de saturación de aire	Ga%	17.62	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	669.53	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	696.10	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	23.43	gr
Temperatura de agua y suelo °C		16.00	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99895	
Recipiente + Peso de suelo seco		574.50	gr
Peso de recipiente		50.00	gr
Peso del suelo seco Ws	Ws	48.90	gr
Gravedad específica Gs	Gs= (Ws*K)/(Ws+Wbw-Wbws)	2.132	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

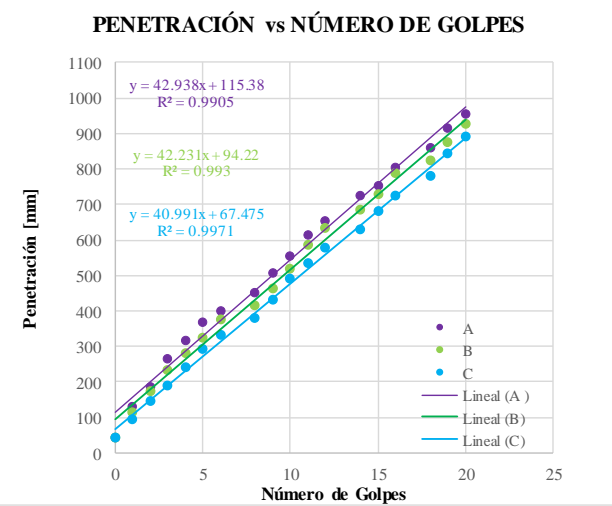
Tabla 50. Ensayo 2 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 2							
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 781254; 9870708							
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz							
	Revisado por: Ing. Favio Portilla							
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA: Proctor Modificado	MASA MARTILLO: 10 Lb							
DATOS DEL MOLDE	ALTURA DE CAIDA: 18 plgd							
VOLUMEN: 2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS 5							
MASA: 16864 gr	GOLPE POR CAPAS: 56							
PRUEBA N°	1	2	3	4				
% Rango en aumento	0	2	4	6				
Suelo húmedo+molde (gr)	18800	18940	18950	18950				
Masa molde (gr)	15440	15440	15440	15440				
Masa suelo húmedo (gr)	3360	3500	3510	3510				
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.582	1.648	1.653	1.653				
Masa del tarro (gr)	50.2	47.4	48.2	48.2	49.2	47.4	48.2	47.4
Masa suelo húm.+tarro (gr)	222.3	219.7	226.6	229.3	255.1	230.7	221.8	265.4
Masa suelo seco+tarro (gr)	155.6	157.2	154.3	160.5	173.8	157.1	151.1	179.1
Masa del agua (gr)	66.7	62.5	72.3	68.8	81.3	73.6	70.7	86.3
Masa suelo seco (gr)	172.1	172.3	178.4	181.1	205.9	183.3	173.6	218
Contenido de agua (%)	38.757	36.274	40.527	37.990	39.485	40.153	40.726	39.587
w (%) Promedio	37.515	39.258	39.819	40.156				
Peso unitario seco (gr/cm ³)	0.988	1.001	0.995	0.989				
Densidad Seca Máxima (y máx):	1.001 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	39.30 %							
Gravedad de compactación	98.76 %							
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>  <p style="text-align: center;">Peso Específico Seco (gr /cm³)</p> <p style="text-align: center;">Contenido de agua (%)</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 51. Ensayo 2 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	2
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	781254; 9870708
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	130	115	95
2	188	175	145
3	264	235	190
4	315	280	240
5	370	324	295
6	400	378	332
8	450	415	380
9	505	465	432
10	555	520	490
11	614	585	534
12	655	635	578
14	725	685	630
15	754	730	680
16	805	790	725
18	860	825	780
19	915	875	845
20	955	925	890



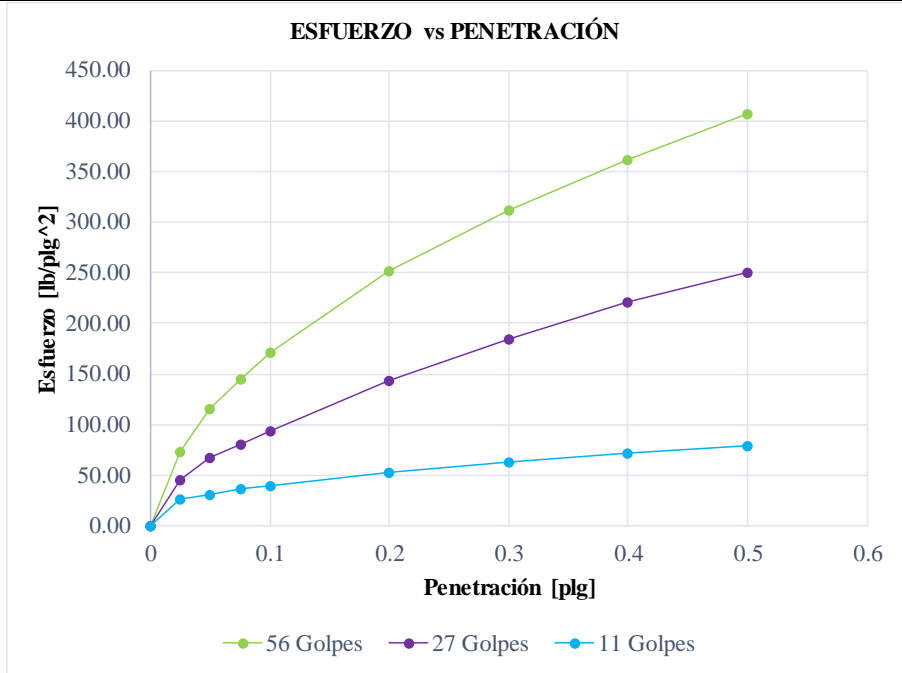
DN (mm/golpe)	DN (prom)
A	50.923
B	
C	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 52. Ensayo 2 CBR

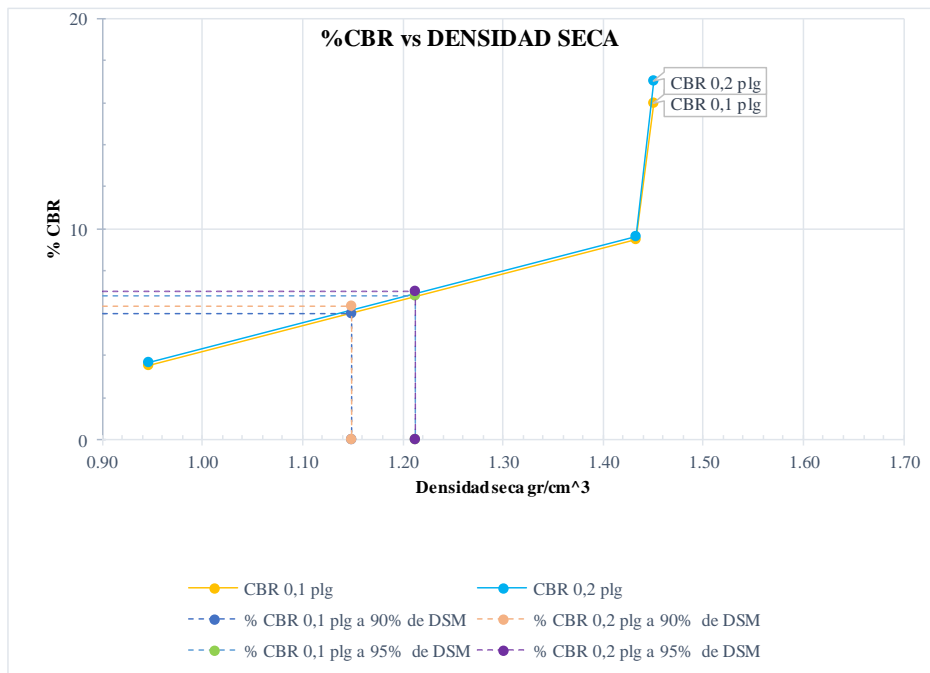
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 2				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 781254; 9870708				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11907		12550		10594	
Masa del molde [gr]	7809		8662		7668	
Masa muestra húmeda [gr]	4098		3888		2927	
Volumen muestra [cm ³]	2288.66		2114.32		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.791		1.839		1.247	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	129.6	128.5	120.9	141.3	143.4	112.0
Masa suelo seco + recip [gr]	111.3	109.8	102.3	116.4	116.9	92.8
Masa de agua [gr]	18.3	18.7	18.6	24.9	26.5	19.2
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	81.1	76.6	69.5	83.9	85.0	59.2
Contenido de humedad W%	22.53	24.47	26.70	29.66	31.24	32.42
W % promedio	23.50		28.18		31.83	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.450		1.433		0.947	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11996		12720		10870	
Masa del molde [gr]	7864		8779		7890	
Masa muestra húmeda [gr]	4132		3941		2980	
Masa de agua absorbida [gr]	88		169		275	
% de agua absorbida	2.1328		4.2997		9.2440	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	104.6	104.7	106.7	103.1	101.1	93.2
Masa de suelo seco + tarro [gr]	90.4	90.4	91.8	88.6	82.4	78.6
Masa del agua [gr]	14.3	14.4	14.9	14.5	18.7	14.6
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	57.8	59.7	60.7	56.1	50.6	45.5
Contenido de agua %	24.70	24.07	24.52	25.75	36.92	32.08
W % promedio	24.38		25.14		34.50	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	220.03	73.34	137.11	45.70	78.42	26.14
0.05	349.02	116.34	202.10	67.37	94.19	31.40
0.075	434.75	144.92	241.12	80.37	109.22	36.41
0.1	513.77	171.26	280.90	93.63	118.44	39.48
0.2	754.25	251.42	430.16	143.39	156.84	52.28
0.3	934.93	311.64	554.52	184.84	187.93	62.64
0.4	1085.47	361.82	662.02	220.67	215.16	71.72
0.5	1221.17	407.06	752.67	250.89	237.78	79.26

Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)



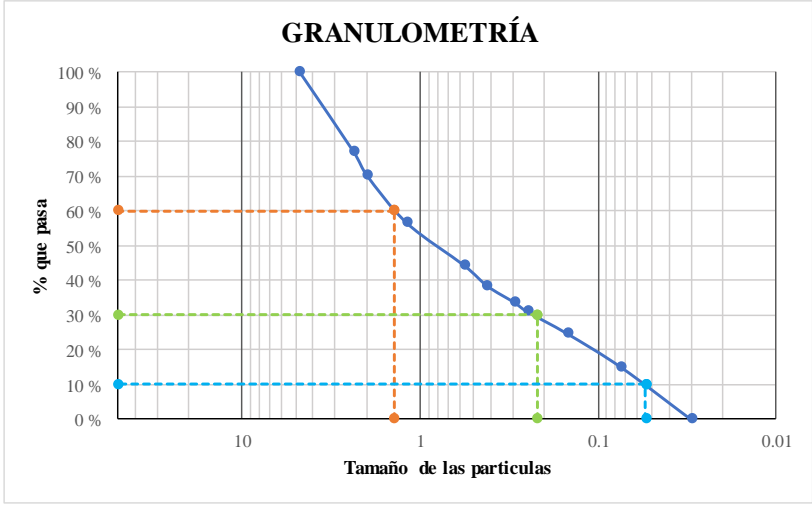
Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	160	16.00	1.450	255	17.00	1.450
2	95	9.50	1.433	145	9.67	1.433
3	35	3.50	0.947	55	3.67	0.947
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.277			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.149	6	6.3		6.3	
95	1.213	6.8	7		7	



El CBR para el diseño de pavimentos es 7 %



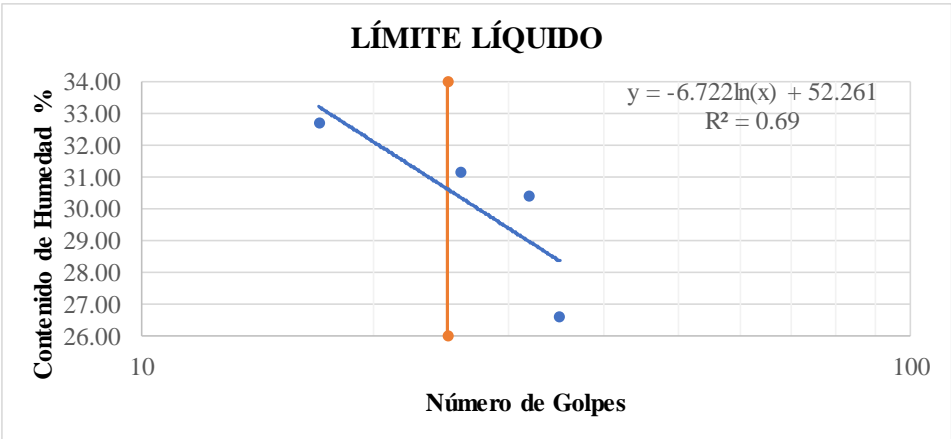
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 53. Ensayo 3 Contenido de Humedad y Granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN					
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	3		
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	785163; 9868842		
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015					
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio	
48.20	417.60	330.40	26.39	27.37	
48.20	380.90	295.50	28.90		
50.20	348.50	274.80	26.82		
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015					
Peso Muestra Seca			691.00		
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% que pasa
4.76	4	0	0	0	100
2.38	8	157.40	157.40	22.78	77.22
	2	47.30	204.70	29.62	70.38
1.19	16	95.10	299.80	43.39	56.61
0.565	30	84.70	384.50	55.64	44.36
0.42	40	40.60	425.10	61.52	38.48
0.297	50	32.40	457.50	66.21	33.79
0.25	60	18.70	476.20	68.91	31.09
0.149	100	43.80	520.00	75.25	24.75
0.074	200	67.10	587.10	84.96	15.04
0.03	fuelle	103.40	690.50	99.93	0.07
					
D10 en mm	0.054	Cu = D60/D10		25.926	
D30 en mm	0.22	Cc = D30 ² /(D60*D10)		0.640	
D60 en mm	1.4	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2.38 mm	




Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 54. Ensayo 3 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 3						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 785163; 9868842						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
5	35	72.50	67.40	50.20	5.10	17.20	29.65	26.62
2		87.40	80.30	50.20	7.10	30.10	23.59	
9	32	79.60	72.60	48.20	7.00	24.40	28.69	30.42
6		61.30	58.60	50.20	2.70	8.40	32.14	
25	26	66.12	60.70	49.20	5.42	11.50	47.13	31.16
22		92.20	86.40	48.20	5.80	38.20	15.18	
17	17	67.40	61.20	48.20	6.20	13.00	47.69	32.71
32		75.30	71.10	47.40	4.20	23.70	17.72	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
68	32.50	32.30	0.20	30.80	1.50	13.33	28.00	
22	50.20	49.70	0.50	48.20	1.50	33.33		
44	30.40	29.80	0.60	28.30	1.50	40.00		
40	31.30	30.80	0.50	28.30	2.50	20.00		
50	23.70	23.20	0.50	21.70	1.50	33.33		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %	30.6			SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %	28				SUCS	SM		
Índice plástico %	2.6							



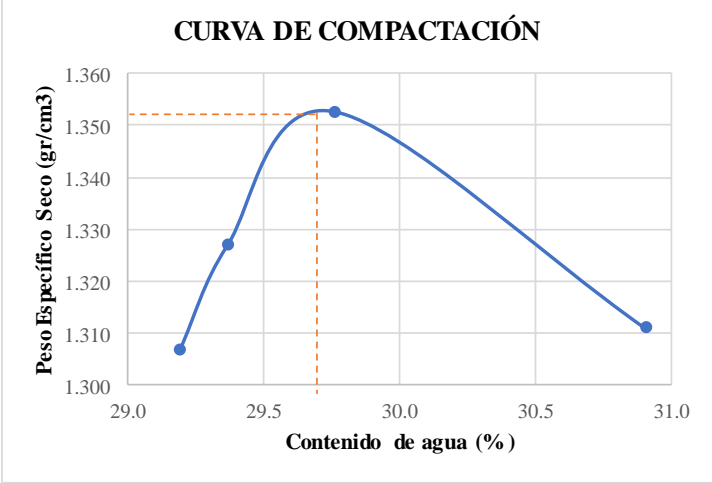
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 55. Ensayo 3 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 3		
Cantón: Pillaro	Coordenadas: 785163; 9868842		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	$W_m + Rec$	1593	
Peso de la funda gr	Rec	5.2	
Peso de la masa de suelo gr	$W_m = W_m + Rec - Rec$	1587.8	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena		7180.00	
Peso final frasco + cono + arena		5520.00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		209.97	
Peso arena en la perforación		1450.03	
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)		1.582	
Volumen de la perforación	V_m	916.58	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		7	18
Peso húmedo + recipiente	$W_m + rec$	232	226
Peso seco + recipiente	$W_s + rec$	188	178
Peso del recipiente	rec	51	52
Peso del agua	W_w	44	48
Peso de los sólidos	W_s	137	126
Contenido de humedad	w%	32.12	38.10
contenido de humedad promedio	w% prom	35.11	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		55.10	-
Vw		7.10	0
Vs		48	48
Vm		51.70	137
		106.79	185
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.732	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	1.282	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	35.11	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	1.07	Natural
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	51.59	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	87.12	%
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	12.88	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnometro + agua W_{bw}	W_{bw}	668.27	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido W_{bws}	W_{bws}	697.70	gr
Desplazamiento del agua $W_s + W_{bw} - W_{bws}$	$W_s + W_{bw} - W_{bws}$	20.57	gr
Temperatura de agua y suelo °C		22.10	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99775	
Recipiente + Peso de suelo seco		778.70	gr
Peso de recipiente		252.20	gr
Peso del suelo seco W_s	W_s	49.80	gr
Gravedad específica G_s	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.426	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 56. Ensayo 3 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 3						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 785163; 9868842						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb					
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd					
VOLUMEN:	2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5					
MASA:	16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56					
PRUEBA N°	1		2		3		4	
% Rango en aumento	0		1		2		3	
Suelo húmedo+molde (gr)	19360		19430		19530		19470	
Masa molde (gr)	15440		15440		15440		15440	
Masa suelo húmedo (gr)	3920		3990		4090		4030	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.846		1.879		1.926		1.897	
Masa del tarro (gr)	48.2	48.2	50.2	48.2	47.4	48.2	48.2	50.2
Masa suelo húm.+tarro (gr)	336.5	316.8	341.5	324.7	222.3	298.4	319.4	328.1
Masa suelo seco+tarro (gr)	253.2	237.6	256.7	242.8	172.3	221	235.1	242.7
Masa del agua (gr)	83.3	79.2	84.8	81.9	50	77.4	84.3	85.4
Masa suelo seco (gr)	288.3	268.6	291.3	276.5	174.9	250.2	271.2	277.9
Contenido de agua (%)	28.894	29.486	29.111	29.620	28.588	30.935	31.084	30.730
w (%) Promedio	29.190		29.366		29.762		30.907	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.307		1.327		1.353		1.311	
Densidad Seca Máxima (y máx):					1.353 gr/cm ³			
Humedad Óptima:					29.60 %			
Gravedad de compactación					96.59 %			
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
 <p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz



Tabla 57. Ensayo 3. DCP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	3
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	785163; 9868842
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	80	100	70
2	134	165	135
4	185	210	180
6	238	265	235
7	275	320	286
9	321	365	330
11	367	415	385
13	427	475	415
14	475	520	470
15	524	575	515
16	560	615	570
18	618	680	610
20	667	720	680
22	724	785	745
25	755	835	790
27	824	875	830
29	875	905	885
30	910	935	923
32	955		945

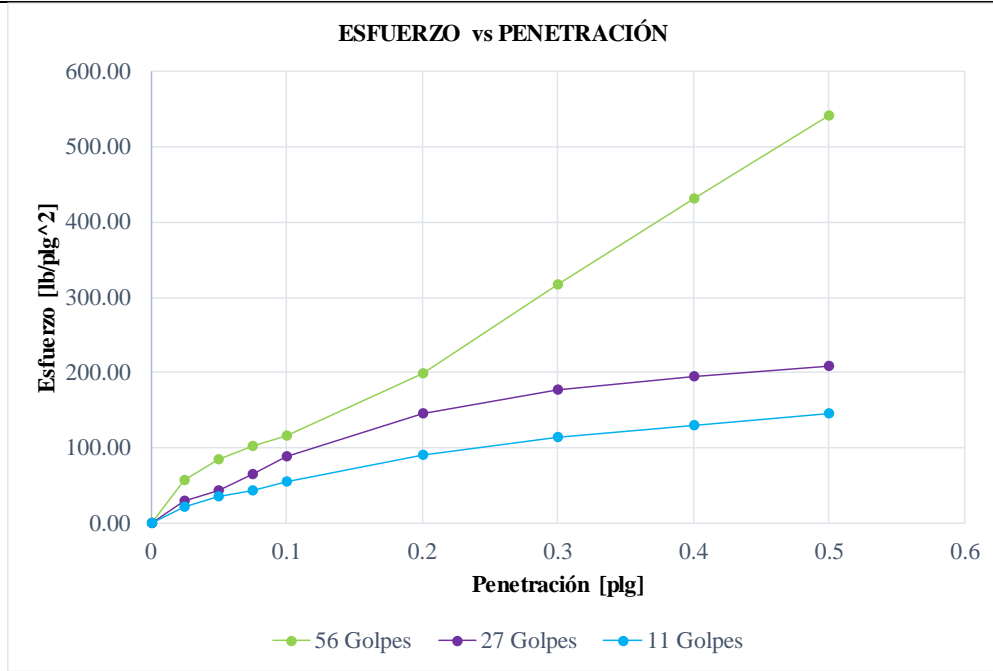
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	28.571	
B	29.578	29.128
C	29.234	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 58. Ensayo 3 CBR

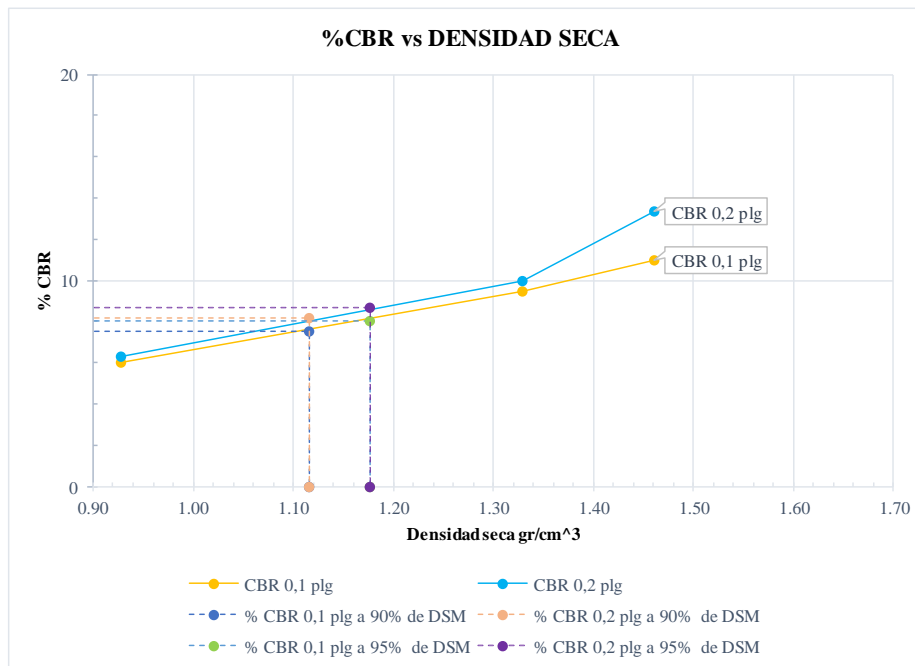
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 3				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 785163; 9868842				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	10815		9721		9052	
Masa del molde [gr]	6696		5790		5330	
Masa muestra húmeda [gr]	4119		3931		3722	
Volumen muestra [cm ³]	2343.37		2340.42		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.758		1.680		1.586	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	156.4	173.6	101.8	132.5	145.2	125.7
Masa suelo seco + recip [gr]	133.8	151.1	88.1	111.0	96.1	89.6
Masa de agua [gr]	22.6	22.5	13.8	21.5	49.1	36.1
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	103.6	117.9	55.3	78.5	64.2	56.0
Contenido de humedad W%	21.77	19.05	24.89	27.38	76.40	64.54
W % promedio	20.41		26.14		70.47	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.461		1.329		0.928	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	10902		9867		9305	
Masa del molde [gr]	6756		5868		5478	
Masa muestra húmeda [gr]	4146		3999		3827	
Masa de agua absorbida [gr]	87		146		253	
% de agua absorbida	2.0871		3.6460		6.6223	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	107.6	105.5	109.3	105.5	107.6	99.1
Masa de suelo seco + tarro [gr]	93.0	91.1	94.0	90.7	87.7	83.6
Masa del agua [gr]	14.7	14.5	15.2	14.8	19.9	15.5
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	60.4	60.4	62.9	58.2	55.9	50.5
Contenido de agua %	24.32	23.97	24.22	25.41	35.58	30.74
W % promedio	24.15		24.82		33.16	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	169.64	56.55	87.19	29.06	65.94	21.98
0.05	255.22	85.07	128.24	42.75	108.96	36.32
0.075	306.22	102.07	194.47	64.82	132.16	44.05
0.1	345.74	115.25	267.46	89.15	167.48	55.83
0.2	597.73	199.24	436.95	145.65	269.49	89.83
0.3	950.53	316.84	530.02	176.67	339.84	113.28
0.4	1293.24	431.08	583.71	194.57	391.69	130.56
0.5	1623.65	541.22	624.95	208.32	435.55	145.18

Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)



Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	110	11.00	1.461	200	13.33	1.461
2	95	9.50	1.329	150	10.00	1.329
3	60	6.00	0.928	95	6.33	0.928
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.239			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.115	7.5	8.2		8.2	
95	1.177	8	8.7		8.7	



El CBR para el diseño de pavimentos es 8.7 %



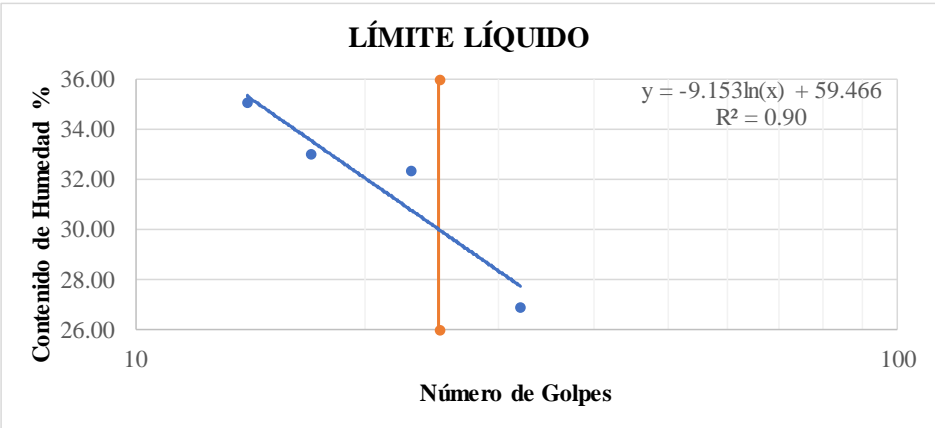
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 59. Ensayo 4 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	4				
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	786427; 9872435				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
49.20	723.20	485.70	48.90	36.34			
47.40	530.90	353.80	50.06				
48.20	453.60	412.10	10.07				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				872.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% que pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	106.30	106.30	12.19	87.81		
2	10	46.10	152.40	17.48	82.52		
1.19	16	123.70	276.10	31.66	68.34		
0.565	30	124.30	400.40	45.92	54.08		
0.42	40	67.70	468.10	53.68	46.32		
0.297	50	68.30	536.40	61.51	38.49		
0.25	60	29.90	566.30	64.94	35.06		
0.149	100	96.30	662.60	75.99	24.01		
0.074	200	110.10	772.70	88.61	11.39		
0.03	fuelle	98.60	871.30	99.92	0.08		
GRANULOMETRÍA							
D10 en mm	0.068	Cu = D60/D10	11.471				
D30 en mm	0.2	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0.754				
D60 en mm	0.78	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2.38 mm				



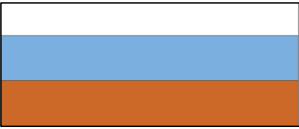
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 60. Ensayo 4 Límites de Atterberg

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 4						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 786427; 9872435						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
8	32	81.60	74.50	50.20	7.10	24.30	29.22	26.92
23		80.30	73.80	47.40	6.50	26.40	24.62	
36	23	87.20	77.40	48.20	9.80	29.20	33.56	32.34
24		76.90	69.90	47.40	7.00	22.50	31.11	
15	17	79.50	72.10	50.20	7.40	21.90	33.79	33.04
5		101.00	88.60	50.20	12.40	38.40	32.29	
25	14	92.30	81.30	49.20	11.00	32.10	34.27	35.06
20		75.10	68.00	48.20	7.10	19.80	35.86	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
42	29.80	29.20	0.60	27.60	1.60	37.50	25.07	
43	29.60	29.40	0.20	28.30	1.10	18.18		
50	22.50	22.40	0.10	21.70	0.70	14.29		
41	29.00	28.80	0.20	28.30	0.50	40.00		
46	29.80	29.60	0.20	28.30	1.30	15.38		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		30.00		SISTEMA		AASHTO	A-2-4	
Límite plástico %		25.07				SUCS	SP-SM	
Índice plástico %		4.93						



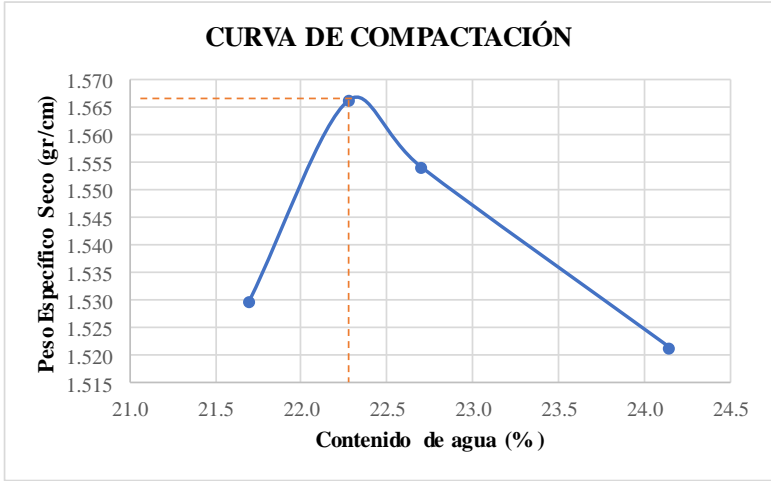
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 61. Ensayo 4 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN				
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 4			
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 786427; 9872435			
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz			
	Revisado por: Ing. Favio Portilla			
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014				
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)				
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1683		
Peso de la funda gr	Rec	6.1		
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1676.9		
Volumen de la perforación del suelo (Vm)				
Peso inicial frasco + cono + arena		7190.00		
Peso final frasco + cono + arena		5680.00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		209.97		
Peso arena en la perforación		1300.03		
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)		1.582		
Volumen de la perforación	Vm	821.76		
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente #		17	16	
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	168	218	
Peso seco + recipiente	Ws + rec	147	189	
Peso del recipiente	rec	48	50	
Peso del agua	Ww	21	29	
Peso de los sólidos	Ws	99	139	
Contenido de humedad	w%	21.21	20.86	
contenido de humedad promedio	w% prom	21.04		
Determinación de las fases del suelo				
Vv		Volumen	Peso	
Va		Wa	29.88	-
Vw		Ww	0.88	0
Vs		Ws	29	29
Vm		Wm	52.45	139
			82.33	168
Determinación de las propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	2.041	gr/cm ³	
Densidad seca	(γ_d)	1.686	gr/cm ³	
Contenido de humedad	w%	21.04	%	
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0.57	Natural	
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	36.29	%	
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	97.07	%	
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	2.93	%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015				
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	668.03	gr	
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	699.23333	gr	
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	18.80	gr	
Temperatura de agua y suelo °C		22.20	°C	
Factor por corrección por temperatura K		0.99773		
Recipiente + Peso de suelo seco		788.60	gr	
Peso de recipiente		261.20	gr	
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.20	gr	
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.656	gr	



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

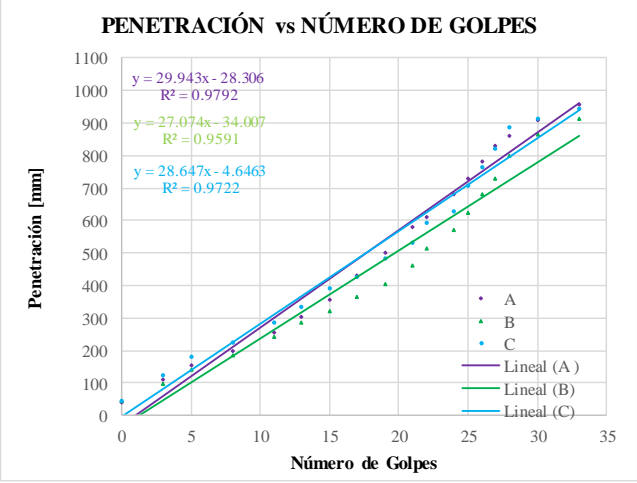
Tabla 62. Ensayo 4 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 4						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 786427; 9872435						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb					
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd					
VOLUMEN:	2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5					
MASA:	16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56					
PRUEBA N°	1	2	3	4				
% Rango en aumento	0	1	2	3				
Suelo húmedo+molde (gr)	19590	19720	19710	19700				
Masa molde (gr)	15440	15440	15440	15440				
Masa suelo húmedo (gr)	4150	4280	4270	4260				
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.954	2.015	2.010	2.006				
Masa del tarro (gr)	50.2	47.4	48.2	50.2	48.2	49.2	48.2	47.4
Masa suelo húm.+tarro (gr)	247.3	269.6	289.5	273.1	221.2	265.3	276.9	289.3
Masa suelo seco+tarro (gr)	204.7	221.2	235.8	223.4	182.6	215.4	221.2	231.4
Masa del agua (gr)	42.6	48.4	53.7	49.7	38.6	49.9	55.7	57.9
Masa suelo seco (gr)	197.1	222.2	241.3	222.9	173	216.1	228.7	241.9
Contenido de agua (%)	21.613	21.782	22.254	22.297	22.312	23.091	24.355	23.936
w (%) Promedio	21.698		22.276		22.702		24.145	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.530		1.566		1.554		1.521	
Densidad Seca Máxima (y máx):	1.566 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	22.30 %							
Gravedad de compactación	97.68 %							
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
 <p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 63. Ensayo 4 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	4
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	786427; 9872435
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	40	45	45
3	110	95	125
5	155	140	180
8	200	185	225
11	255	240	284
13	302	285	335
15	355	320	390
17	430	365	425
19	500	405	485
21	580	463	530
22	610	515	595
24	680	570	630
25	730	625	705
26	780	680	765
27	830	730	820
28	860	798	885
30	910	865	915
33	955	915	945



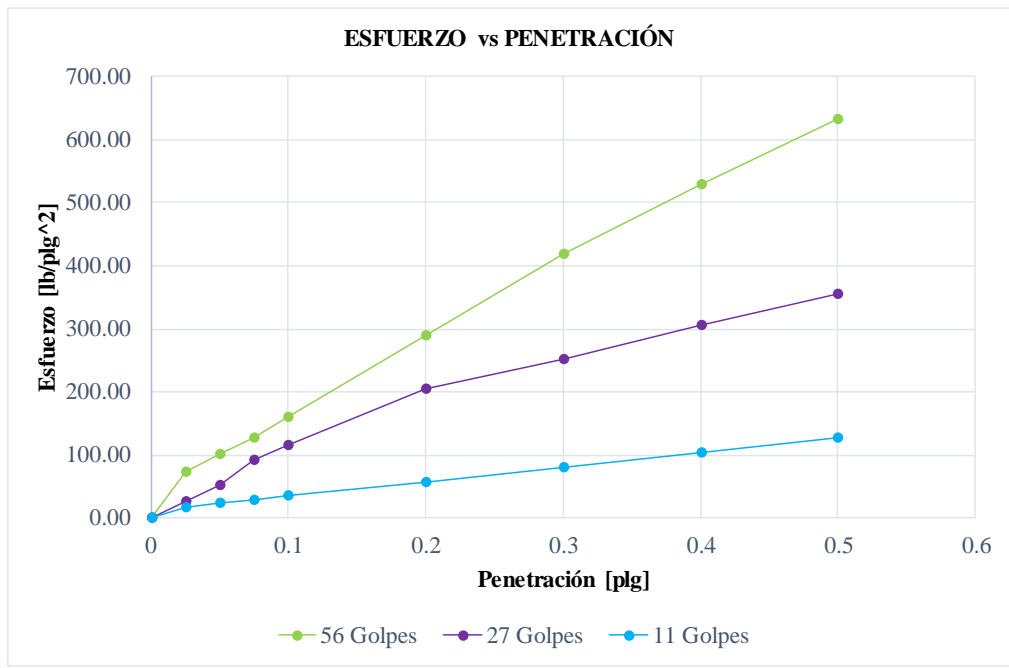
DN (mm/golpe)	DN (prom)
A	28.555
B	
C	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 64. Ensayo 4 CBR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 4				
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 786427; 9872435				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11107		9787		8380	
Masa del molde [gr]	6780		5796		5318	
Masa muestra húmeda [gr]	4327		3991		3062	
Volumen muestra [cm ³]	2343.37		2340.42		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.847		1.705		1.305	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	98.5	96.5	82.2	71.4	65.8	55.5
Masa suelo seco + recip [gr]	88.3	85.1	73.6	63.1	57.5	50.3
Masa de agua [gr]	10.2	11.4	8.7	8.3	8.3	5.2
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	58.1	51.9	40.8	30.6	25.6	16.7
Contenido de humedad W%	17.58	21.89	21.31	27.17	32.33	31.02
W % promedio	19.74		24.24		31.67	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.544		1.377		0.990	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11189		9896		8721	
Masa del molde [gr]	6780		5796		5318	
Masa muestra húmeda [gr]	4409		4100		3403	
Masa de agua absorbida [gr]	82		109		341	
% de agua absorbida	1.8519		2.6595		10.0267	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	111.2	111.3	113.9	110.0	114.2	105.2
Masa de suelo seco + tarro [gr]	96.0	96.0	98.0	94.6	93.1	88.7
Masa del agua [gr]	15.2	15.3	15.9	15.4	21.1	16.5
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	63.4	65.3	66.9	62.1	61.3	55.6
Contenido de agua %	23.90	23.36	23.74	24.84	34.44	29.61
W % promedio	23.63		24.29		32.03	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	220.60	73.53	76.89	25.63	50.94	16.98
0.05	304.90	101.63	157.13	52.38	71.08	23.69
0.075	383.60	127.87	275.26	91.75	87.16	29.05
0.1	480.22	160.07	345.34	115.11	103.80	34.60
0.2	868.51	289.50	613.56	204.52	173.52	57.84
0.3	1257.57	419.19	758.65	252.88	243.47	81.16
0.4	1586.45	528.82	917.14	305.71	311.27	103.76
0.5	1894.80	631.60	1062.69	354.23	379.19	126.40

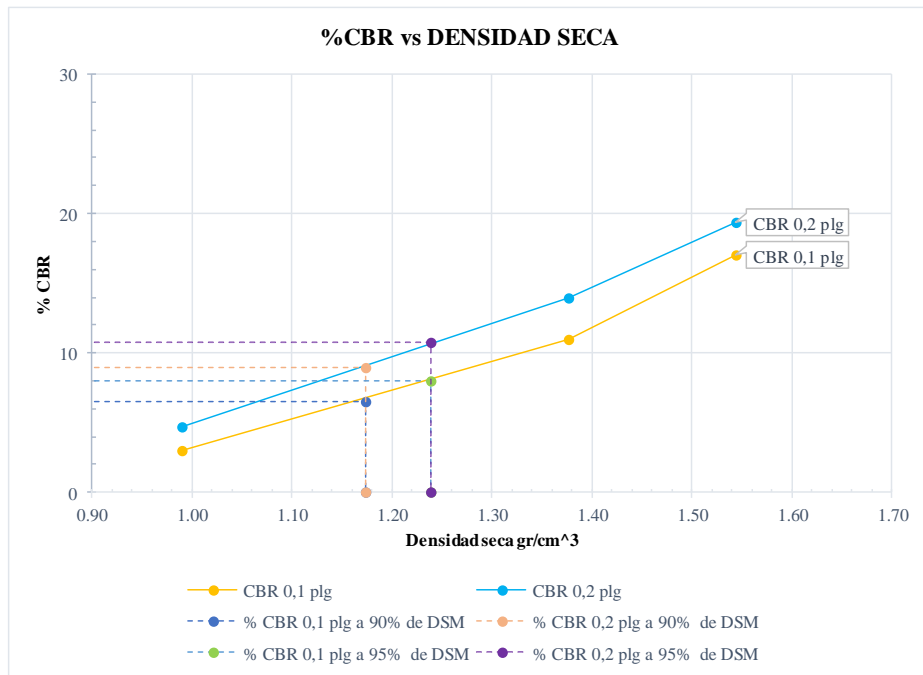
Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)

Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	170	17.00	1.544	290	19.33	1.544
2	110	11.00	1.377	210	14.00	1.377
3	30	3.00	0.990	70	4.67	0.990
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.304			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.173	6.5	9		9	
95	1.238	8	10.8		10.8	



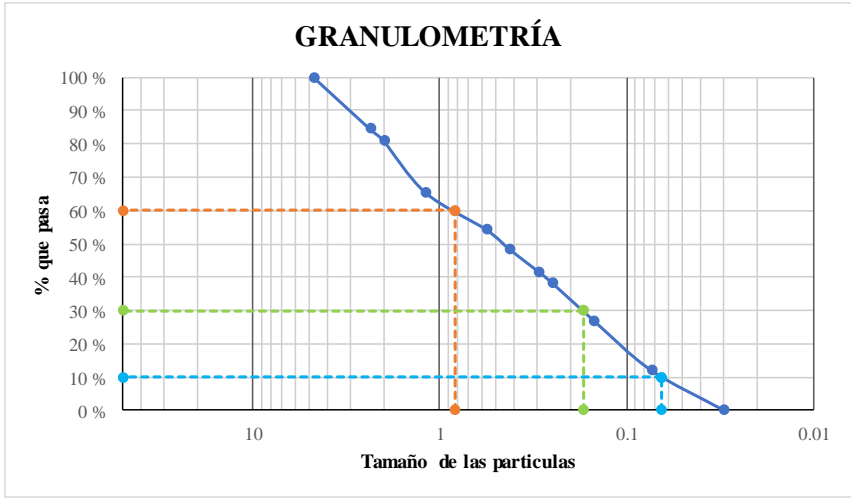
%CBR vs DENSIDAD SECA



El CBR para el diseño de pavimentos es **10.8** %



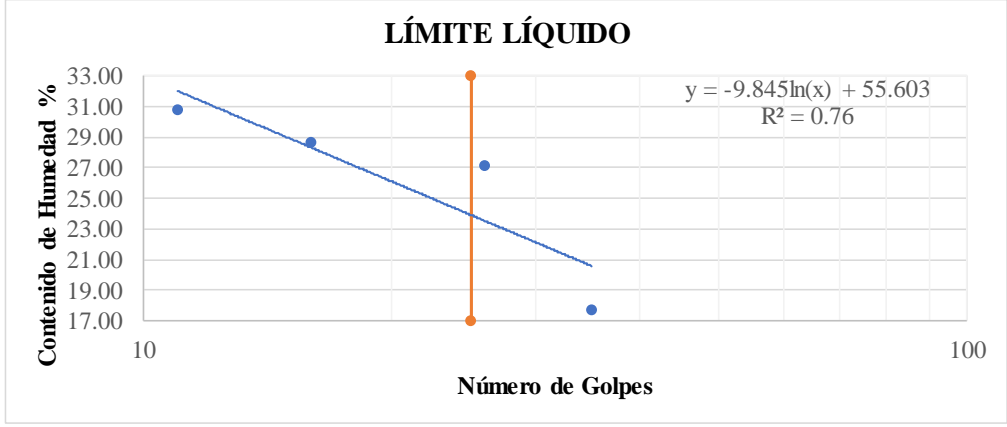
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 65. Ensayo 5. Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	5				
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	777958; 9867968				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
49.20	864.90	713.90	21.15	21.05			
47.50	623.30	515.30	20.96				
48.20	552.10	456.10	21.05				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				1647.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% que pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	254.60	254.60	15.46	84.54		
2.00	10	60.40	315.00	19.13	80.87		
1.19	16	256.50	571.50	34.70	65.30		
0.565	30	181.70	753.20	45.73	54.27		
0.42	40	99.90	853.10	51.80	48.20		
0.297	50	106.80	959.90	58.28	41.72		
0.25	60	56.90	1016.80	61.74	38.26		
0.149	100	187.70	1204.50	73.13	26.87		
0.074	200	242.40	1446.90	87.85	12.15		
0.03	fuelle	199.20	1646.10	99.95	0.05		
GRANULOMETRÍA							
							
D10 en mm	0.065	Cu = D60/D10		12.769			
D30 en mm	0.17	Cc = D30 ² /(D60*D10)		0.536			
D60 en mm	0.83	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2.38 mm			



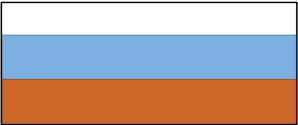
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 66. Ensayo 5 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 5						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 777958; 9867968						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
12	26	68.20	64.10	48.20	4.10	15.90	25.79	27.18
20		69.80	65.00	48.20	4.80	16.80	28.57	
28	35	79.50	73.70	48.20	5.80	25.50	22.75	17.76
6		65.20	63.50	50.20	1.70	13.30	12.78	
10	16	81.20	74.80	47.40	6.40	27.40	23.36	28.68
19		63.60	60.20	50.20	3.40	10.00	34.00	
2	11	85.00	77.10	50.20	7.90	26.90	29.37	30.80
22		72.40	66.50	48.20	5.90	18.30	32.24	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
44	30.00	29.70	0.30	28.30	1.40	21.43	22.58	
47	30.60	30.20	0.40	27.60	2.60	15.38		
40	30.10	29.90	0.20	28.30	1.60	12.50		
50	23.90	23.30	0.60	21.70	1.60	37.50		
39	31.20	30.60	0.60	28.30	2.30	26.09		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		23.90		SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %		22.58			SUCS	SM		
Índice plástico %		1.32						



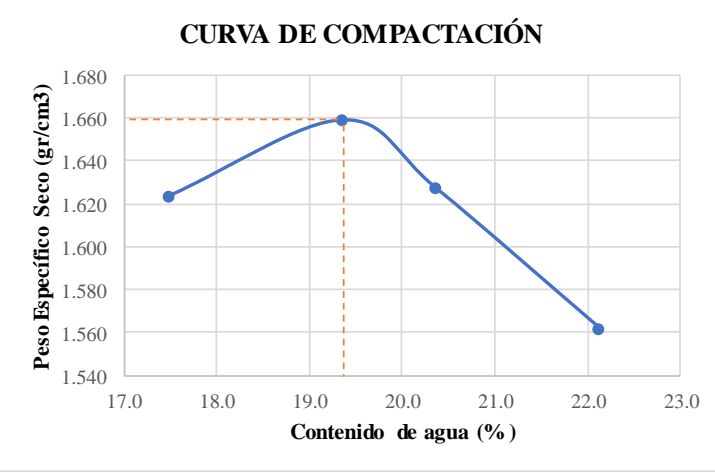
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 67. Ensayo 5 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 				
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 5			
Cantón: Pillaro	Coordenadas: 777958; 9867968			
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz			
	Revisado por: Ing. Favio Portilla			
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014				
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)				
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1481		
Peso de la funda gr	Rec	6.1		
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1474.9		
Volumen de la perforación del suelo (Vm)				
Peso inicial frasco + cono + arena			7160.00	
Peso final frasco + cono + arena			5670.00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			209.97	
Peso arena en la perforación			1280.03	
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)			1.582	
Volumen de la perforación	Vm	809.12		
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente #		A	B	
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	87	102	
Peso seco + recipiente	Ws + rec	73	85	
Peso del recipiente	rec	22	22	
Peso del agua	Ww	14	17	
Peso de los sólidos	Ws	51	63	
Contenido de humedad	w%	27.45	26.98	
contenido de humedad promedio	w% prom	27.22		
Determinación de las fases del suelo				
Vv		Volumen	Peso	
Va		Wa	20.11	-
Vw		Ww	3.11	0
Vs		Ws	17	17
Vm		Wm	23.77	63
			43.89	80
Determinación de las propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.823	gr/cm ³	
Densidad seca	(γ_d)	1.433	gr/cm ³	
Contenido de humedad	w%	27.22	%	
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0.85	Natural	
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	45.83	%	
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	84.52	%	
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	15.48	%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015				
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	668.30	gr	
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	696.16667	gr	
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	22.13	gr	
Temperatura de agua y suelo °C		22.00	°C	
Factor por corrección por temperatura K		0.99777		
Recipiente + Peso de suelo seco		778.50	gr	
Peso de recipiente		254.00	gr	
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.90	gr	
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.254	gr	



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

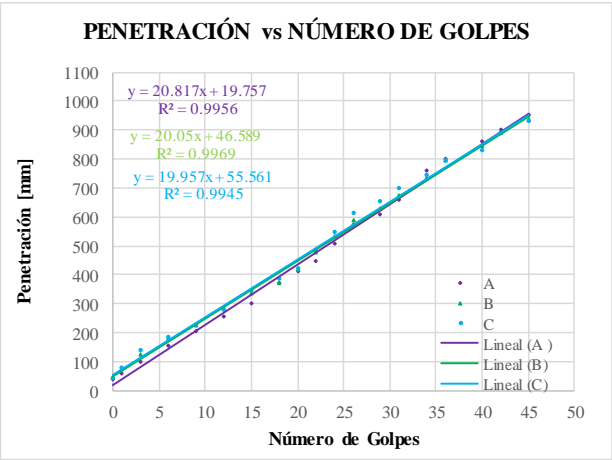
Tabla 68. Ensayo 5 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 5						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 777958; 9867968						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA: Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb						
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAIDA: 18 plgd						
VOLUMEN: 2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5						
MASA: 16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56						
PRUEBA N°	1	2	3	4				
% Rango en aumento	0	1	2	3				
Suelo húmedo+molde (gr)	19620	19810	19780	19700				
Masa molde (gr)	15440	15440	15440	15440				
Masa suelo húmedo (gr)	4180	4370	4340	4260				
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.968	2.057	2.043	2.006				
Masa del tarro (gr)	50.2	48.2	48.2	47.4	50.2	49.2	49.2	52.3
Masa suelo húm.+tarro (gr)	206.5	217.6	293.4	295.7	321.1	336.2	360.7	348.9
Masa suelo seco+tarro (gr)	179.8	187.3	246.1	247.5	266.2	277.5	293.8	281.4
Masa del agua (gr)	26.7	30.3	47.3	48.2	54.9	58.7	66.9	67.5
Masa suelo seco (gr)	156.3	169.4	245.2	248.3	270.9	287	311.5	296.6
Contenido de agua (%)	17.083	17.887	19.290	19.412	20.266	20.453	21.477	22.758
w (%) Promedio	17.485		19.351		20.359		22.117	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.624		1.659		1.627		1.562	
Densidad Seca Máxima (y máx):		1.659 gr/cm ³						
Humedad Óptima:		19.60 %						
Gravedad de compactación		97.87 %						
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>  <p style="text-align: center;">Peso Específico Seco (gr/cm³)</p> <p style="text-align: center;">Contenido de agua (%)</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 69. Ensayo 5 DCP

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN		
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra: 5	
Cantón:	Píllaro	Coordenadas: 777958; 9867968	
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz	
		Revisado por: Ing. Favio Portilla	
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	40	45	45
1	60	75	80
3	100	125	140
6	155	180	185
9	205	225	225
12	254	280	280
15	302	335	345
18	372	374	385
20	410	415	420
22	450	480	485
24	510	535	550
26	575	590	612
29	610	630	655
31	660	675	701
34	760	735	745
36	800	795	795
40	860	845	830
42	900	892	890
45	950	935	930





PENETRACIÓN vs NÚMERO DE GOLPES

$y = 20.817x + 19.757$ $R^2 = 0.9956$
 $y = 20.05x + 46.589$ $R^2 = 0.9969$
 $y = 19.957x + 55.561$ $R^2 = 0.9945$

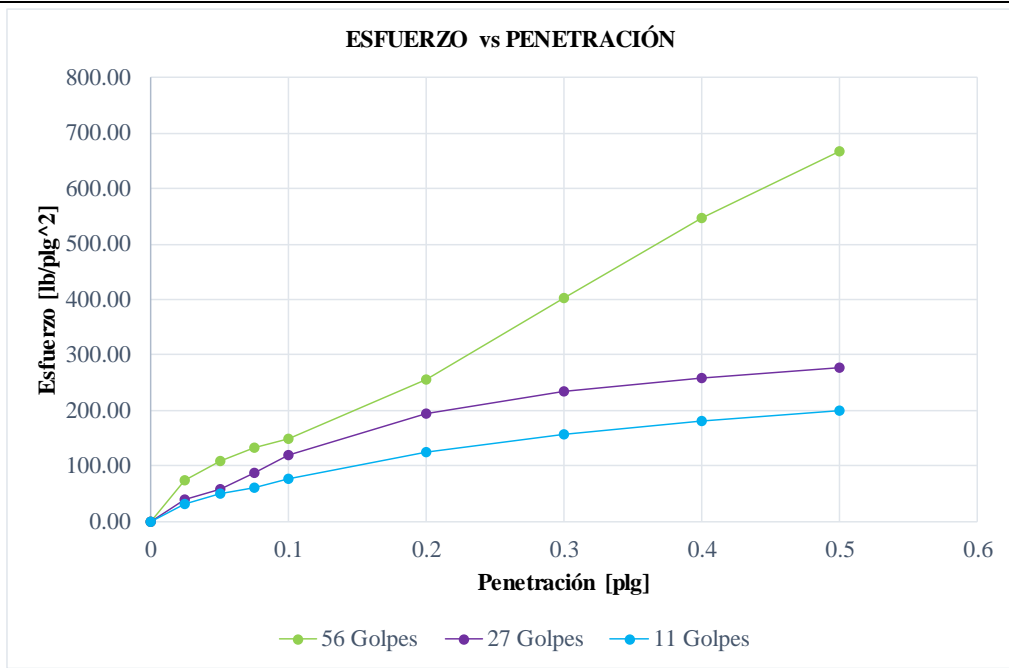
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	20.817	
B	20.05	
C	19.957	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 70. Ensayo 5 CBR

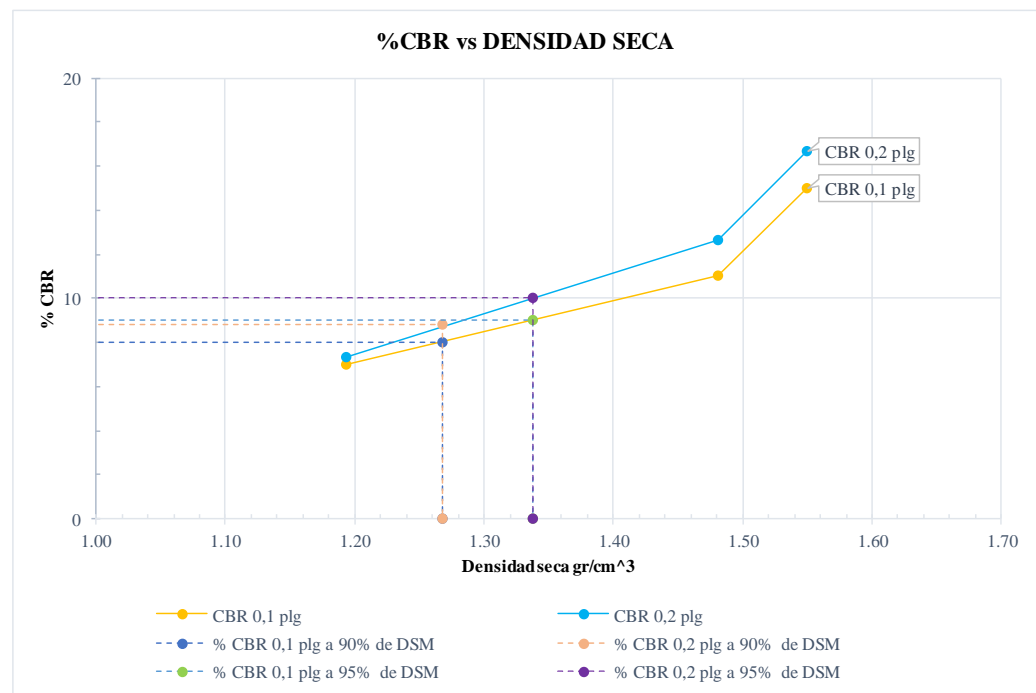
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 5				
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 777958; 9867968				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11266		10532		9925	
Masa del molde [gr]	6975		6273		5844	
Masa muestra húmeda [gr]	4291		4259		4081	
Volumen muestra [cm ³]	2301.32		2292.40		2049.62	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.865		1.858		1.991	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	162.9	180.8	110.3	143.6	159.2	137.8
Masa suelo seco + recip [gr]	139.4	157.4	95.4	120.3	105.4	98.2
Masa de agua [gr]	23.5	23.4	14.9	23.3	53.8	39.6
Masa del recip [gr]	32.3	33.4	32.0	33.4	30.6	33.4
Masa suelo seco [gr]	107.1	124.0	63.4	86.9	74.8	64.8
Contenido de humedad W%	21.94	18.87	23.50	26.81	71.93	61.11
W % promedio	20.41		25.16		66.52	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.550		1.481		1.193	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11356		10690		10203	
Masa del molde [gr]	6975		6273		5844	
Masa muestra húmeda [gr]	4381		4417		4359	
Masa de agua absorbida [gr]	90		158		278	
% de agua absorbida	2.0572		3.5767		6.3755	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	112.1	109.9	118.4	114.3	118.0	108.7
Masa de suelo seco + tarro [gr]	96.8	94.8	101.9	98.3	96.2	91.7
Masa del agua [gr]	15.3	15.1	16.5	16.0	21.8	17.0
Masa del tarro [gr]	32.4	33.2	33.4	30.6	31.9	32.3
Masa suelo seco	64.4	61.6	68.5	67.7	64.3	59.4
Contenido de agua %	23.73	24.45	24.12	23.68	33.94	28.67
W % promedio	24.09		23.90		31.30	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	218.79	72.93	115.70	38.57	91.26	30.42
0.05	329.16	109.72	170.17	56.72	150.80	50.27
0.075	394.94	131.65	258.05	86.02	182.91	60.97
0.1	445.90	148.63	354.90	118.30	231.79	77.26
0.2	770.90	256.97	579.80	193.27	372.97	124.32
0.3	1205.68	401.89	703.30	234.43	470.34	156.78
0.4	1637.50	545.83	774.54	258.18	542.10	180.70
0.5	2001.50	667.17	829.27	276.42	602.81	200.94

Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (correctos)

Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	150	15.00	1.550	250	16.67	1.550
2	110	11.00	1.481	190	12.67	1.481
3	70	7.00	1.193	110	7.33	1.193
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.408			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.267	8	8.8		8.8	
95	1.338	9	10		10	





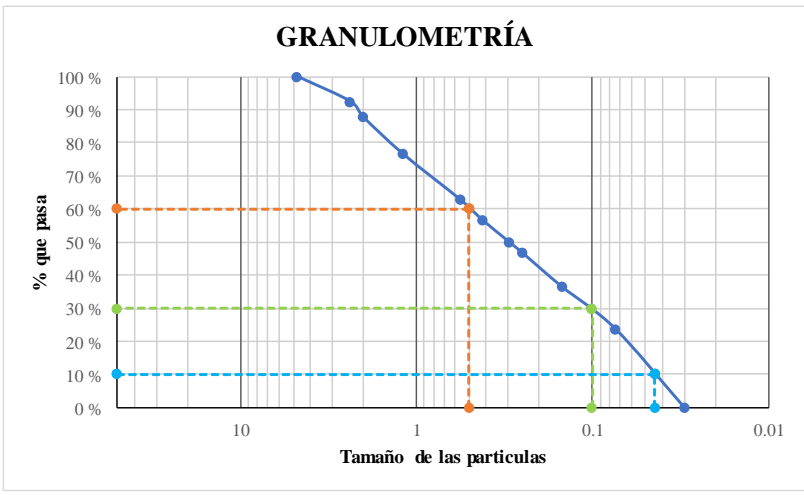
El CBR para el diseño de pavimentos es

10

%



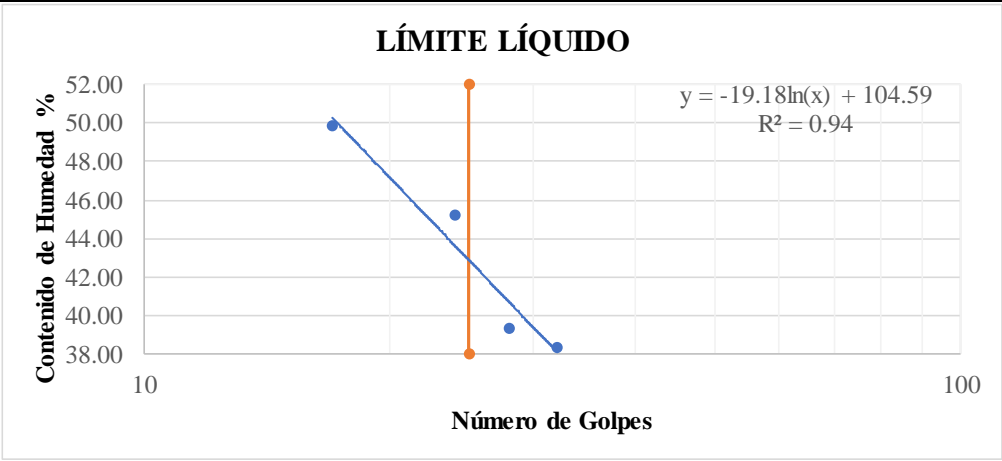
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 71. Ensayo 6 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	6				
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	774806; 9869608				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
47.40	397.10	256.00	55.12	55.05			
48.20	378.20	244.00	55.00				
48.20	393.60	253.90	55.02				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				678.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	51.20	51.20	7.55	92.45		
2	10	32.80	84.00	12.39	87.61		
1.19	16	75.30	159.30	23.50	76.50		
0.565	30	92.90	252.20	37.20	62.80		
0.42	40	42.60	294.80	43.48	56.52		
0.297	50	44.50	339.30	50.04	49.96		
0.25	60	22.20	361.50	53.32	46.68		
0.149	100	69.40	430.90	63.55	36.45		
0.074	200	86.20	517.10	76.27	23.73		
0.03	fuelle	160.90	678.00	100.00	0.00		
GRANULOMETRÍA							
							
D10 en mm	0.044	Cu = D60/D10		11.364			
D30 en mm	0.1	Cc = D30 ² /(D60*D10)		0.455			
D60 en mm	0.5	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2 mm			



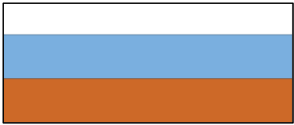
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 72. Ensayo 6 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 6						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 774806; 9869608						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
20	17	74.80	65.90	48.20	8.90	17.70	50.28	49.83
13		60.30	56.30	48.20	4.00	8.10	49.38	
34	24	61.70	59.60	50.20	2.10	9.40	22.34	45.24
30		69.20	61.50	50.20	7.70	11.30	68.14	
2	32	69.80	63.40	50.20	6.40	13.20	48.48	38.36
35		61.10	58.70	50.20	2.40	8.50	28.24	
6	28	68.60	62.10	50.20	6.50	11.90	54.62	39.31
25		55.40	54.20	49.20	1.20	5.00	24.00	
LÍMITE LÍQUIDO								
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
49	4.30	3.70	0.60	2.60	1.10	54.55	41.79	
50	4.80	4.30	0.50	2.60	1.70	29.41		
51	4.70	4.40	0.30	2.60	1.80	16.67		
52	3.60	3.20	0.40	2.60	0.60	66.67		
53	4.30	3.80	0.50	2.60	1.20	41.67		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		43.20		SISTEMA	AASHTO	A-2-5		
Límite plástico %		41.79			SUCS	SM		
Índice plástico %		1.41						



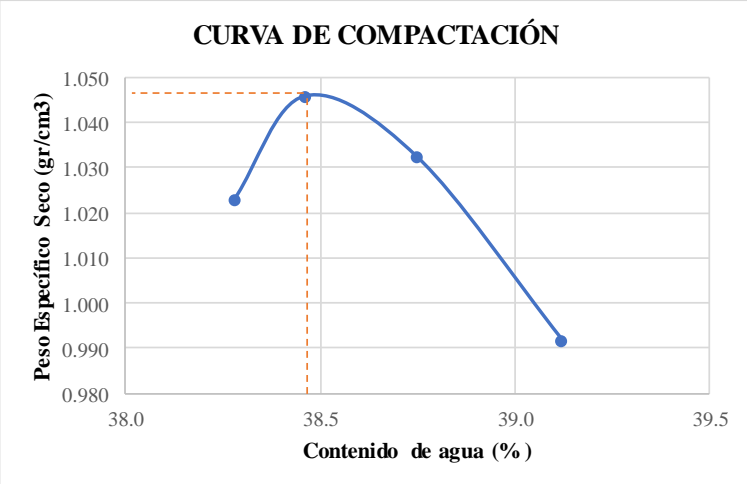
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 73. Ensayo 6 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN				
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 6			
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 774806; 9869608			
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz			
	Revisado por: Ing. Favio Portilla			
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014				
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)				
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1394		
Peso de la funda gr	Rec	6.1		
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1387.9		
Volumen de la perforación del suelo (Vm)				
Peso inicial frasco + cono + arena		7290.00		
Peso final frasco + cono + arena		5660.00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		209.97		
Peso arena en la perforación		1420.03		
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)		1.582		
Volumen de la perforación	Vm	897.62		
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente #		27	35	
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	184	264	
Peso seco + recipiente	Ws + rec	131	180	
Peso del recipiente	rec	49	49	
Peso del agua	Ww	53	84	
Peso de los solidos	Ws	82	131	
Contenido de humedad	w%	64.63	64.12	
contenido de humedad promedio	w% prom	64.38		
Determinación de las fases del suelo				
Vv		Volumen	Peso	
Va		Wa	89.62	-
Vw		Ww	5.62	0
Vs		Ws	84	84
Vm		Wm	49.43	131
			139.05	215
Determinación de las propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.546	gr/cm ³	
Densidad seca	(γ_d)	0.941	gr/cm ³	
Contenido de humedad	w%	64.38	%	
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	1.81	Natural	
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	64.45	%	
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	93.73	%	
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	6.27	%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015				
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	669.10	gr	
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	697.16667	gr	
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	21.93	gr	
Temperatura de agua y suelo °C		19.00	°C	
Factor por corrección por temperatura K		0.99841		
Recipiente + Peso de suelo seco		575.30	gr	
Peso de recipiente		50.20	gr	
Peso del suelo seco Ws	Ws	48.80	gr	
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.276	gr	



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

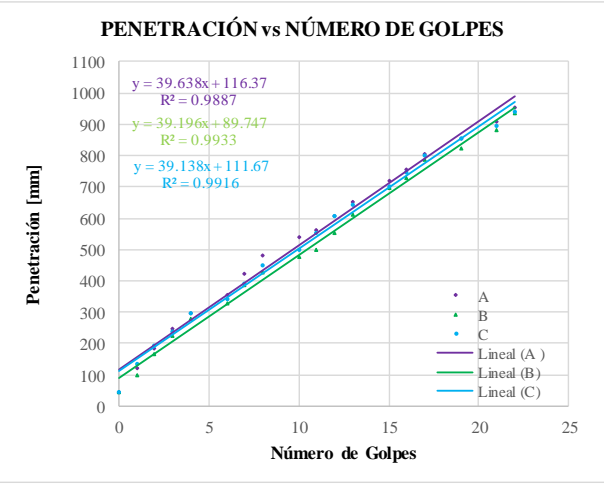
Tabla 74. Ensayo 6 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 6						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 774806; 9869608						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb					
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd					
VOLUMEN:	2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5					
MASA:	16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56					
PRUEBA N°	1		2	3	4			
% Rango en aumento	0		1	2	3			
Suelo húmedo+molde (gr)	18960		19050	19020	18900			
Masa molde (gr)	15440		15440	15440	15440			
Masa suelo húmedo (gr)	3520		3610	3580	3460			
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.657		1.700	1.685	1.629			
Masa del tarro (gr)	28.3	28.3	28.3	28.3	26.5	28.3	48.2	47.4
Masa suelo húm.+tarro (gr)	143.1	154.2	151	153.4	162.9	176.2	178.4	166.3
Masa suelo seco+tarro (gr)	99.8	105.3	103.5	105.6	109.3	119.7	126.9	120.3
Masa del agua (gr)	43.3	48.9	47.5	47.8	53.6	56.5	51.5	46
Masa suelo seco (gr)	114.8	125.9	122.7	125.1	136.4	147.9	130.2	118.9
Contenido de agua (%)	37.718	38.840	38.712	38.209	39.296	38.201	39.555	38.688
w (%) Promedio	38.279		38.461		38.749		39.121	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.023		1.046		1.032		0.992	
Densidad Seca Máxima (y máx):			1.046 gr/cm ³					
Humedad Óptima:			38.50 %					
Gravedad de compactación			97.79 %					
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p>CURVA DE COMPACTACIÓN</p>  <p>El gráfico muestra una curva de compactación con el eje vertical etiquetado como 'Peso Específico Seco (gr/cm³)' y el eje horizontal como 'Contenido de agua (%)'. La curva comienza en un punto a aproximadamente 37.7% de agua y 1.023 gr/cm³, sube a un pico de 38.5% de agua y 1.046 gr/cm³, y luego desciende a un punto a 39.2% de agua y 1.032 gr/cm³. Una línea horizontal punteada indica la densidad seca máxima y una línea vertical punteada indica la humedad óptima.</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 75. Ensayo 6 DCP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	6
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	774806; 9869608
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	120	100	135
2	186	165	195
3	247	225	240
4	298	280	295
6	354	330	340
7	421	385	390
8	481	425	450
10	538	475	501
11	564	500	555
12	605	555	605
13	650	610	645
15	721	695	700
16	756	730	745
17	804	785	800
19	855	825	853
21	907	880	895
22	955	935	940





PENETRACIÓN vs NÚMERO DE GOLPES

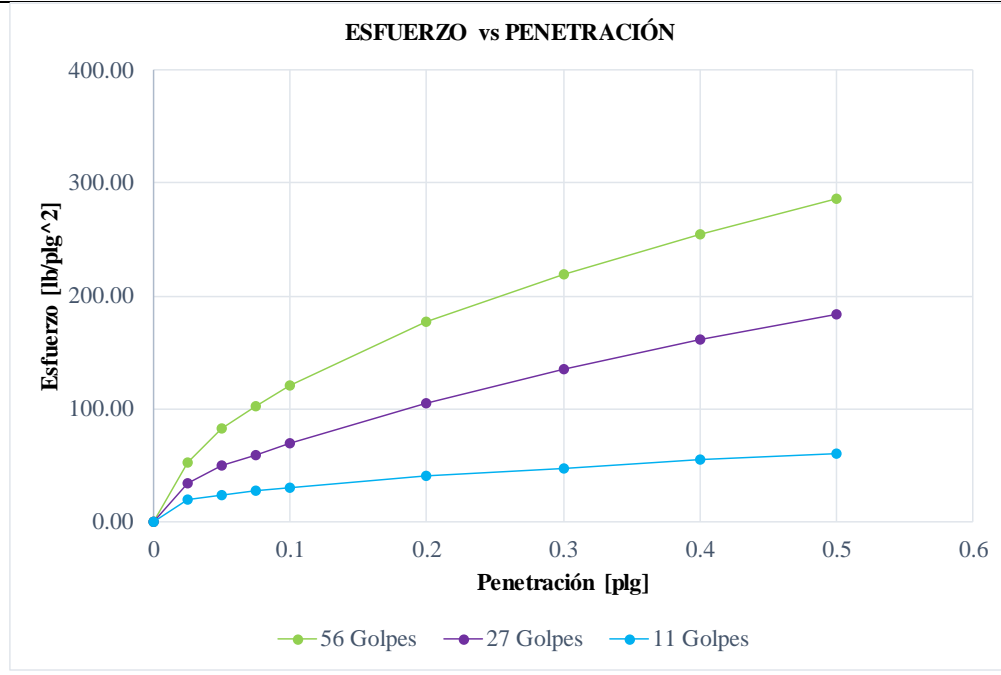
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	36.638	
B	39.196	
C	39.138	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 76. Ensayo 6 CBR

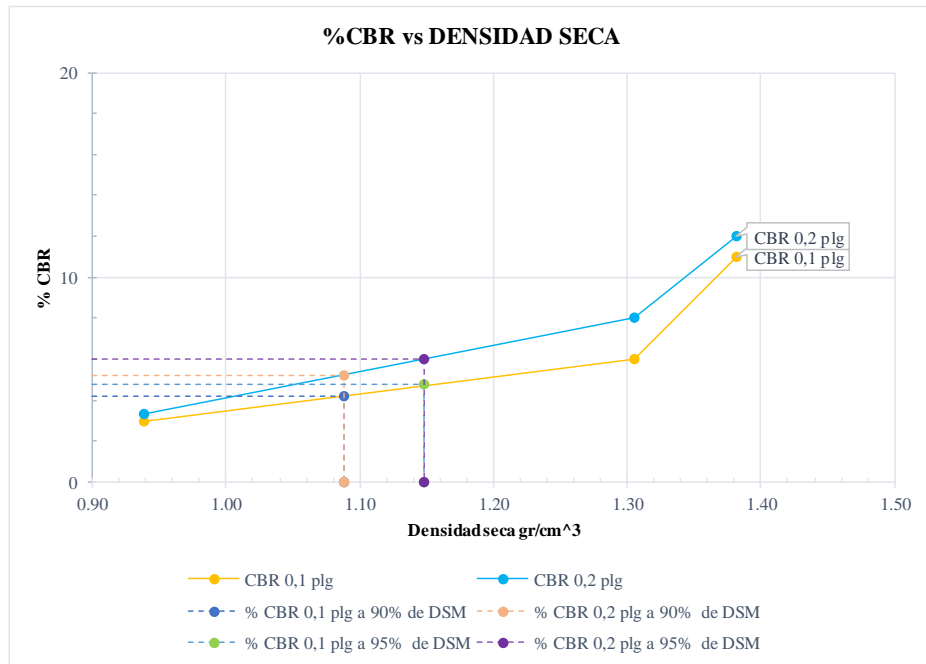
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 6				
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 774806; 9869608				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11933		12537		10510	
Masa del molde [gr]	7826		8653		7606	
Masa muestra húmeda [gr]	4107		3884		2903	
Volumen muestra [cm³]	2343.37		2340.42		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm³]	1.753		1.659		1.237	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	129.9	128.8	120.7	141.1	142.3	111.1
Masa suelo seco + recip [gr]	109.7	107.7	102.9	117.1	115.9	92.0
Masa de agua [gr]	20.2	21.1	17.9	24.0	26.3	19.0
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	79.5	74.5	70.1	84.6	84.0	58.4
Contenido de humedad W%	25.39	28.36	25.51	28.41	31.34	32.57
W % promedio	26.88		26.96		31.95	
Peso unitario seco [gr/cm³]	1.382		1.306		0.938	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	12021		12706		10783	
Masa del molde [gr]	7826		8653		7606	
Masa muestra húmeda [gr]	4195		4053		3177	
Masa de agua absorbida [gr]	88		169		273	
% de agua absorbida	2.1049		4.1757		8.6021	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	104.9	105.0	106.6	102.9	100.3	92.4
Masa de suelo seco + tarro [gr]	90.6	90.6	91.7	88.5	81.8	77.9
Masa del agua [gr]	14.3	14.4	14.9	14.4	18.5	14.5
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	58.0	59.9	60.6	56.0	50.0	44.8
Contenido de agua %	24.67	24.04	24.53	25.77	37.11	32.26
W % promedio	24.36		25.15		34.69	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg²]	dial	Presión [lb/plg²]	dial	Presión [lb/plg²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	154.75	51.58	100.55	33.52	59.51	19.84
0.05	245.47	81.82	148.21	49.40	71.48	23.83
0.075	305.76	101.92	176.83	58.94	82.89	27.63
0.1	361.34	120.45	206.00	68.67	89.89	29.96
0.2	530.47	176.82	315.46	105.15	119.02	39.67
0.3	657.54	219.18	406.66	135.55	142.63	47.54
0.4	763.42	254.47	485.50	161.83	163.29	54.43
0.5	858.86	286.29	551.98	183.99	180.46	60.15

Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)



Molde N°	Presión [lb/plg^2]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg^2]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	110	11.00	1.382	180	12.00	1.382
2	60	6.00	1.306	120	8.00	1.306
3	30	3.00	0.938	50	3.33	0.938
Densidad seca máxima gr/cm^3			1.209			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.088	4.2	5.2		5.2	
95	1.148	4.8	6		6	



El CBR para el diseño de pavimentos es 6 %



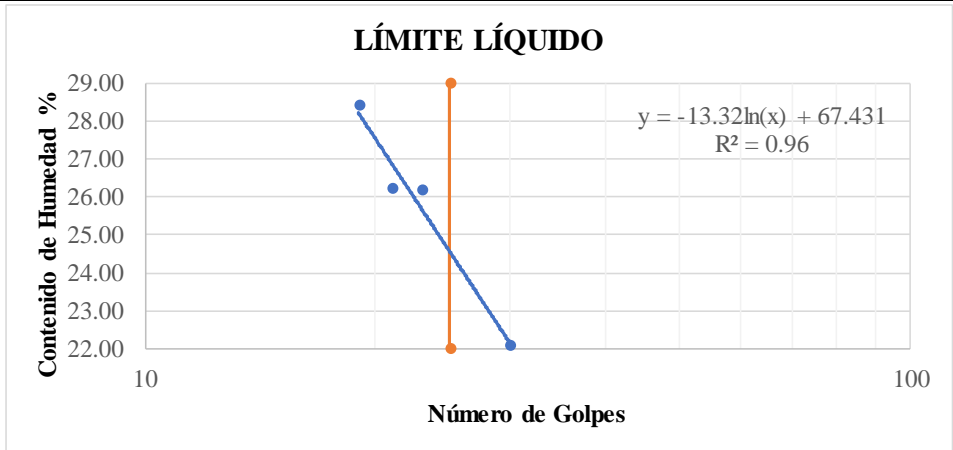
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 77. Ensayo 7 Contenido de Humedad y Granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN					
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	7		
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	775124; 9870713		
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015					
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio	
48.20	868.00	689.20	25.94		
47.40	575.70	457.70	25.78		
46.90	648.00	516.30	25.51		
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015					
Peso Muestra Seca			1110.00		
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% pasa
4.76	4	0	0	0	100
2.38	8	51.80	51.80	4.67	95.33
2	10	34.50	86.30	7.77	92.23
1.19	16	35.50	121.80	10.97	89.03
0.565	30	96.20	218.00	19.64	80.36
0.42	40	92.50	310.50	27.97	72.03
0.297	50	130.40	440.90	39.72	60.28
0.25	60	136.30	577.20	52.00	48.00
0.149	100	150.30	727.50	65.54	34.46
0.074	200	201.80	929.30	83.72	16.28
0.03	fuelle	170.70	1100.00	99.10	0.90
<p style="text-align: center;">GRANULOMETRÍA</p>					
D10 en mm	0.05	Cu = D60/D10		6.000	
D30 en mm	0.125	Cc = D30 ² /(D60*D10)		1.042	
D60 en mm	0.3	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2 mm	



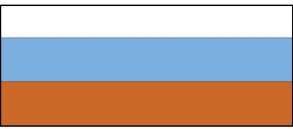
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 78. Ensayo 7 Límites de Atterberg

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 7						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 775124; 9870713						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
2	30	72.00	68.50	50.20	3.50	18.30	19.13	22.06
19		88.20	80.60	50.20	7.60	30.40	25.00	
22	23	75.60	69.90	48.20	5.70	21.70	26.27	26.20
29		89.40	80.70	47.40	8.70	33.30	26.13	
21	19	70.10	64.50	47.40	5.60	17.10	32.75	28.43
31		86.00	78.50	47.40	7.50	31.10	24.12	
27	21	81.50	72.60	49.20	8.90	23.40	38.03	26.22
35		88.30	83.50	50.20	4.80	33.30	14.41	
<p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> 								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
11	12.00	11.80	0.20	10.60	1.20	16.67	22.68	
12	11.60	11.40	0.20	10.60	0.80	25.00		
13	11.90	11.70	0.20	10.60	1.10	18.18		
14	11.50	11.30	0.20	10.60	0.70	28.57		
15	11.60	11.40	0.20	10.60	0.80	25.00		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %	24.60			SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %	22.68				SUCS	SM		
Índice plástico %	1.92							



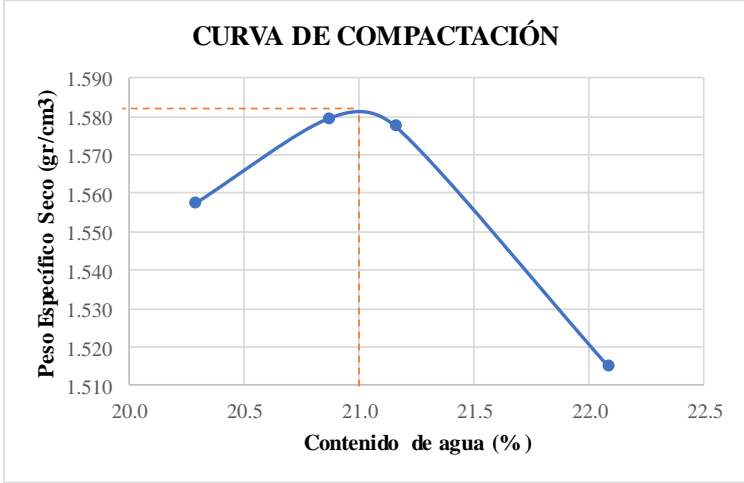
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 79. Ensayo 7 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 7		
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 775124; 9870713		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1547	
Peso de la funda gr	Rec	6.1	
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1540.9	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			7200.00
Peso final frasco + cono + arena			5550.00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			209.97
Peso arena en la perforación			1440.03
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)			1.582
Volumen de la perforación	Vm	910.26	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		11	30
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	159	188
Peso seco + recipiente	Ws + rec	135	158
Peso del recipiente	rec	47	50
Peso del agua	Ww	24	30
Peso de los sólidos	Ws	88	108
Contenido de humedad	w%	27.27	27.78
contenido de humedad promedio	w% prom	27.53	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		40.77	-
Vw		10.77	0
Vs		30	30
Vm		40.75	108
		81.52	138
		Wa	
		Ww	
		Ws	
		Wm	
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.693	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	1.327	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	27.53	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	1.00	Natural
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	50.01	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	73.59	%
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	26.41	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	668.57	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	695.50	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	23.07	gr
Temperatura de agua y suelo °C		22.00	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99777	
Recipiente + Peso de suelo seco		782.70	gr
Peso de recipiente		258.20	gr
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.70	gr
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.165	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

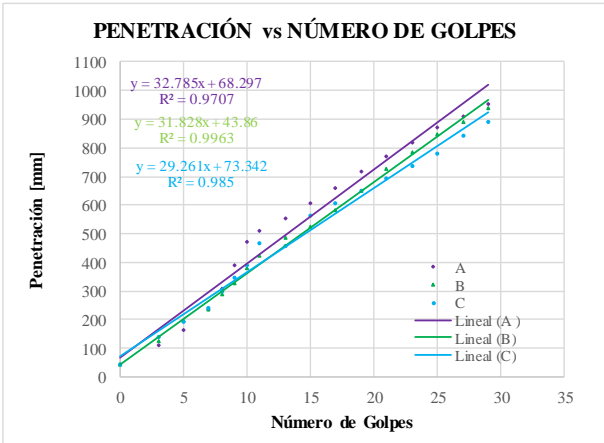
Tabla 80. Ensayo 7 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 7						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 775124; 9870713						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb					
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd					
VOLUMEN:	2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5					
MASA:	16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56					
PRUEBA N°	1		2	3		4		
% Rango en aumento	0		1	2		3		
Suelo húmedo+molde (gr)	19590		19680	19690		19570		
Masa molde (gr)	15440		15440	15440		15440		
Masa suelo húmedo (gr)	4150		4240	4250		4130		
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.954		1.996	2.001		1.944		
Masa del tarro (gr)	48.2	50.2	47.4	48.2	48.2	49.2	47.4	47.4
Masa suelo húm.+tarro (gr)	345.3	320.6	347.5	362.9	347.2	329.3	376.7	381.8
Masa suelo seco+tarro (gr)	284.3	266.4	284.7	297.4	284.6	269.4	304.3	307.6
Masa del agua (gr)	61	54.2	62.8	65.5	62.6	59.9	72.4	74.2
Masa suelo seco (gr)	297.1	270.4	300.1	314.7	299	280.1	329.3	334.4
Contenido de agua (%)	20.532	20.044	20.926	20.813	20.936	21.385	21.986	22.189
w (%) Promedio	20.288		20.870		21.161		22.088	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.557		1.580		1.578		1.515	
Densidad Seca Máxima (y máx):			1.580 gr/cm ³					
Humedad Óptima:			21.00 %					
Gravedad de compactación			98.60 %					
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p>CURVA DE COMPACTACIÓN</p> 								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 81. Ensayo 7 DCP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	7
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	775124; 9870713
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
3	110	125	140
5	165	195	190
7	235	235	240
8	310	290	300
9	390	325	345
10	470	380	390
11	510	425	465
13	555	485	455
15	605	526	564
17	660	580	605
19	715	650	650
21	770	725	695
23	820	785	734
25	870	845	780
27	910	892	840
29	955	940	890





PENETRACIÓN vs NÚMERO DE GOLPES

$y = 32.785x + 68.297$
 $R^2 = 0.9707$
 $y = 31.828x + 43.86$
 $R^2 = 0.9963$
 $y = 29.261x + 73.342$
 $R^2 = 0.985$

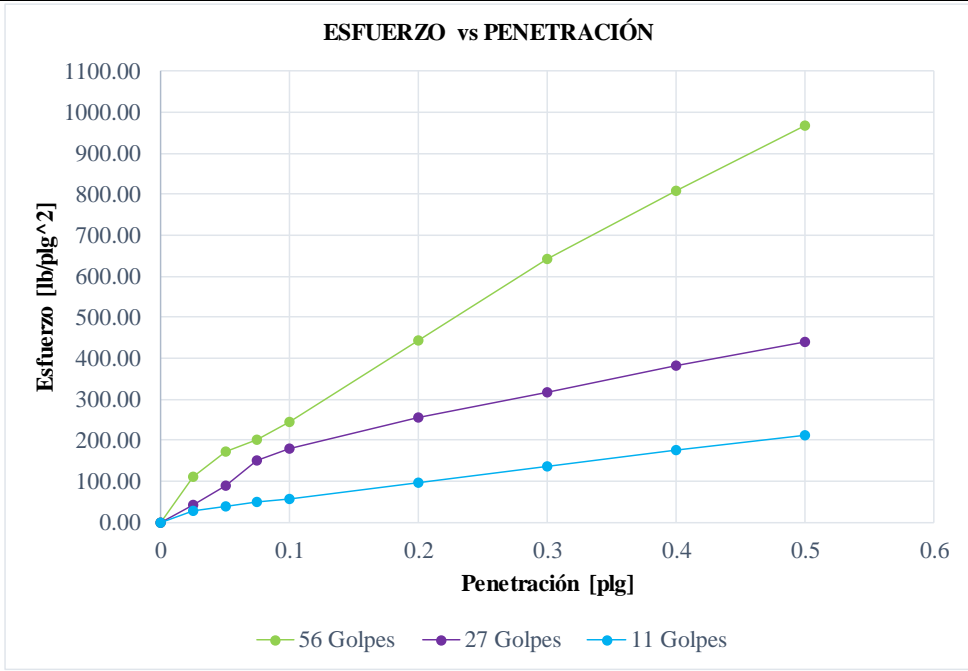
DN (mm/golpe)	DN (prom)
A	31.291
B	
C	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 82. Ensayo 7 CBR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 7				
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 775124; 9870713				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11427		10592		9209	
Masa del molde [gr]	6975		6273		5844	
Masa muestra húmeda [gr]	4452		4319		3365	
Volumen muestra [cm ³]	2283.34		2261.47		2049.62	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.950		1.910		1.642	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	101.3	99.3	89.0	77.3	72.3	61.0
Masa suelo seco + recip [gr]	90.8	87.6	79.6	68.3	63.2	55.3
Masa de agua [gr]	10.5	11.7	9.4	9.0	9.1	5.7
Masa del recip [gr]	33.6	23.8	32.0	23.1	30.3	27.6
Masa suelo seco [gr]	57.2	63.8	47.6	45.2	32.9	27.7
Contenido de humedad W%	18.36	18.34	19.75	19.91	27.66	20.58
W % promedio	18.35		19.83		24.12	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.648		1.594		1.320	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11511		10710		9584	
Masa del molde [gr]	6975		6273		5844	
Masa muestra húmeda [gr]	4536		4437		3740	
Masa de agua absorbida [gr]	84		118		375	
% de agua absorbida	1.8519		2.6595		10.0267	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	114.4	114.5	123.3	119.1	125.5	115.6
Masa de suelo seco + tarro [gr]	98.8	98.8	106.1	102.4	102.3	97.5
Masa del agua [gr]	15.6	15.7	17.2	16.7	23.2	18.1
Masa del tarro [gr]	32.4	33.2	33.4	30.6	31.9	32.3
Masa suelo seco	66.4	65.6	72.7	71.8	70.4	65.2
Contenido de agua %	23.49	23.93	23.66	23.26	32.95	27.76
W % promedio	23.71		23.46		30.36	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	328.82	109.61	130.72	43.57	85.50	28.50
0.05	511.65	170.55	267.14	89.05	119.32	39.77
0.075	605.15	201.72	447.60	149.20	146.30	48.77
0.1	735.25	245.08	537.60	179.20	174.23	58.08
0.2	1329.74	443.25	764.94	254.98	291.27	97.09
0.3	1925.42	641.81	945.82	315.27	408.69	136.23
0.4	2428.96	809.65	1143.42	381.14	522.50	174.17
0.5	2901.05	967.02	1324.87	441.62	636.50	212.17

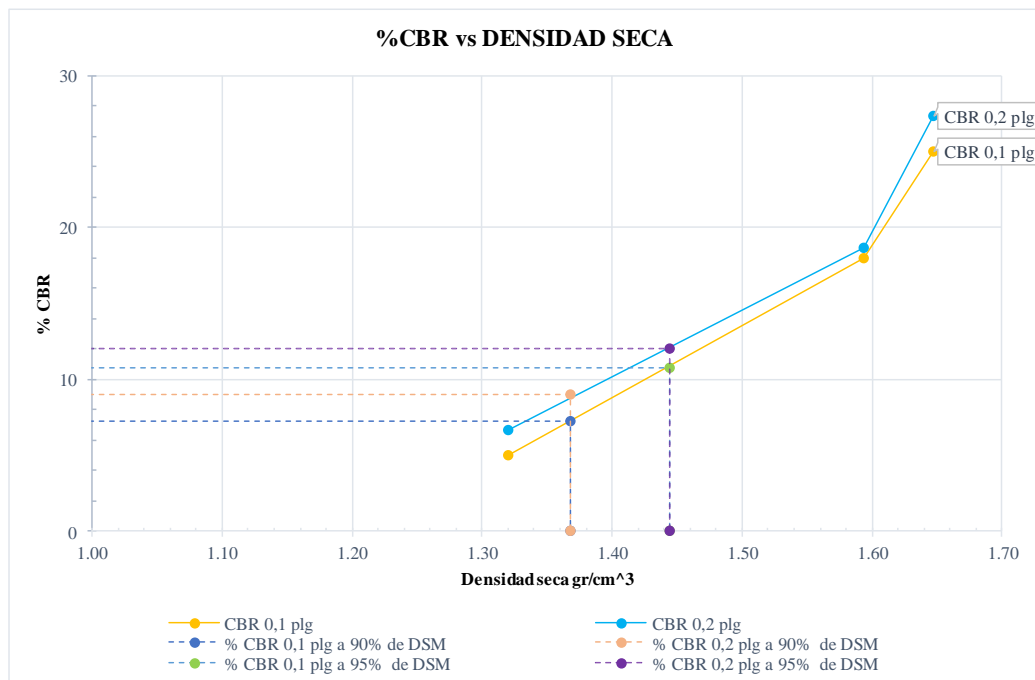
Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)

Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	250	25.00	1.648	410	27.33	1.648
2	180	18.00	1.594	280	18.67	1.594
3	50	5.00	1.320	100	6.67	1.320
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.520			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90		1.368	7.2		9	
95		1.444	10.8		12	

%CBR vs DENSIDAD SECA





El CBR para el diseño de pavimentos es

12

%



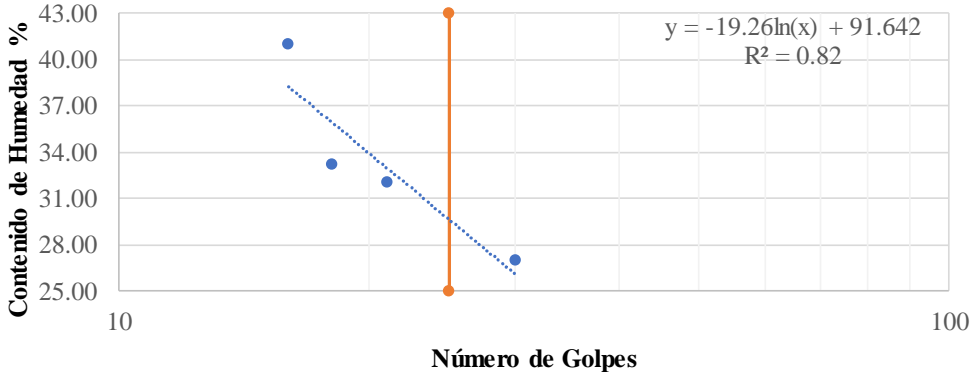
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 83. Ensayo 8 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	8				
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	776143; 9871868				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
47.40	418.90	324.70	29.01	29.27			
48.20	378.90	293.00	29.32				
50.20	349.60	270.00	29.48				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				714.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% que pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	36.90	36.90	5.17	94.83		
2	10	30.40	67.30	9.43	90.57		
1.19	16	88.60	155.90	21.83	78.17		
0.565	30	97.20	253.10	35.45	64.55		
0.42	40	48.50	301.60	42.24	57.76		
0.297	50	45.30	346.90	48.59	51.41		
0.25	60	24.80	371.70	52.06	47.94		
0.149	100	73.20	444.90	62.31	37.69		
0.074	200	95.70	540.60	75.71	24.29		
0.03	fuelle	173.20	713.80	99.97	0.03		
GRANULOMETRÍA							
D10 en mm	0.043	Cu = D60/D10	10.698				
D30 en mm	0.1	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0.506				
D60 en mm	0.46	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2 mm				




Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 84. Ensayo 8 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 8						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 776143; 9871868						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
38	18	49.80	44.10	28.30	5.70	15.80	36.08	33.20
40		44.20	40.50	28.30	3.70	12.20	30.33	
41	16	54.30	47.20	27.60	7.10	19.60	36.22	41.03
43		35.60	32.30	25.10	3.30	7.20	45.83	
42	30	37.10	35.60	27.60	1.50	8.00	18.75	27.06
39		48.20	43.00	28.30	5.20	14.70	35.37	
37	21	58.00	50.20	28.30	7.80	21.90	35.62	32.09
45		37.30	34.90	26.50	2.40	8.40	28.57	
LÍMITE LÍQUIDO								
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
1	7.30	7.10	0.20	6.10	1.00	20.00	26.54	
2	7.20	7.00	0.20	6.10	0.90	22.22		
3	6.90	6.70	0.20	6.10	0.60	33.33		
4	7.00	6.80	0.20	6.10	0.70	28.57		
5	7.00	6.80	0.20	6.10	0.70	28.57		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		30.00		SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %		26.54			SUCS	SM		
Índice plástico %		3.46						



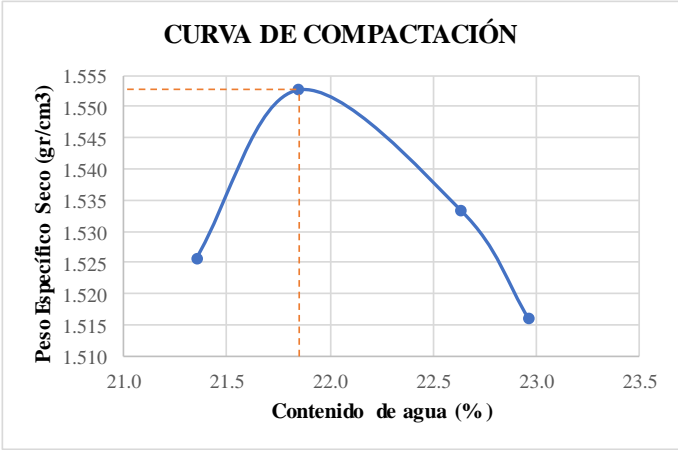
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 85. Ensayo 8 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 8		
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 776143; 9871868		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1577	
Peso de la funda gr	Rec	6.1	
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1570.9	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			7200.00
Peso final frasco + cono + arena			5580.00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			209.97
Peso arena en la perforación			1410.03
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)			1.582
Volumen de la perforación	Vm	891.30	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		6	5
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	87	209
Peso seco + recipiente	Ws + rec	74	176
Peso del recipiente	rec	23	50
Peso del agua	Ww	13	33
Peso de los sólidos	Ws	51	126
Contenido de humedad	w%	25.49	26.19
contenido de humedad promedio	w% prom	25.84	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		42.67	-
Vw		9.67	0
Vs		33	33
Vm		47.55	126
	Wa	90.21	159
	Ww		
	Ws		
	Wm		
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.762	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	1.401	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	25.84	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0.90	Natural
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	47.29	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	77.34	%
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	22.66	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnometro + agua Wbw	Wbw	669.10	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	698.03333	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	21.07	gr
Temperatura de agua y suelo °C		17.00	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99878	
Recipiente + Peso de suelo seco		607.20	gr
Peso de recipiente		81.50	gr
Peso del suelo seco Ws	Ws	48.60	gr
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.372	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

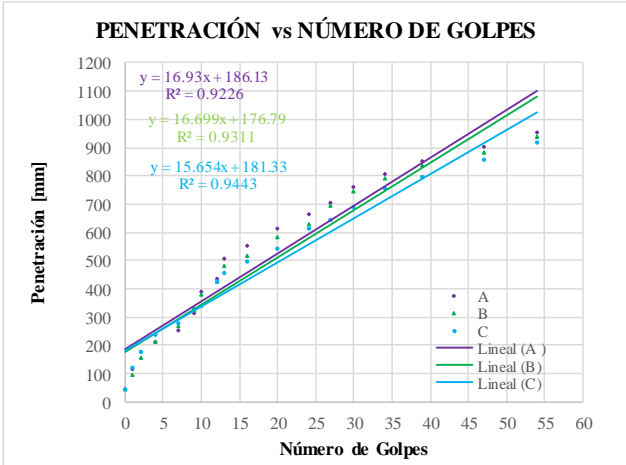
Tabla 86. Ensayo 8 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 8							
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 776143; 9871868							
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz							
	Revisado por: Ing. Favio Portilla							
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb					
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd					
VOLUMEN:	2124	cm ³	NÚMERO DE CAPAS: 5					
MASA:	16864	gr	GOLPE POR CAPAS: 56					
PRUEBA N°	1		2		3		4	
% Rango en aumento	0		1		2		3	
Suelo húmedo+molde (gr)	19560		19660		19650		19620	
Masa molde (gr)	15440		15440		15440		15440	
Masa suelo húmedo (gr)	4120		4220		4210		4180	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.940		1.987		1.982		1.968	
Masa del tarro (gr)	51.1	50.2	48.2	48.2	47.4	49.2	48.2	50.2
Masa suelo húm.+tarro (gr)	225.3	231.4	167.5	199.1	195.8	211.3	211.1	231.7
Masa suelo seco+tarro (gr)	188.6	192.2	141.7	165.8	162.4	174.4	173.8	189.9
Masa del agua (gr)	36.7	39.2	25.8	33.3	33.4	36.9	37.3	41.8
Masa suelo seco (gr)	174.2	181.2	119.3	150.9	148.4	162.1	162.9	181.5
Contenido de agua (%)	21.068	21.634	21.626	22.068	22.507	22.764	22.897	23.030
w (%) Promedio	21.351		21.847		22.635		22.964	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.526		1.553		1.533		1.516	
Densidad Seca Máxima (y máx):				1.553 gr/cm ³				
Humedad Óptima:				21.70 %				
Gravedad de compactación				98.25 %				
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p>CURVA DE COMPACTACIÓN</p>  <p>El gráfico muestra una curva de compactación con el eje vertical etiquetado como 'Peso Específico Seco (gr/cm³)' y el eje horizontal como 'Contenido de agua (%)'. La curva comienza en un punto a aproximadamente 21.1% de agua y 1.526 gr/cm³, sube a un pico de 21.70% de agua y 1.553 gr/cm³, y luego desciende a un punto a 23.030% de agua y 1.516 gr/cm³. Una línea punteada vertical indica la humedad óptima y una línea punteada horizontal indica la densidad seca máxima.</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 87. Ensayo 8 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	8
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	776143; 9871868
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	115	95	120
2	175	155	175
4	215	215	240
7	255	270	280
9	314	325	330
10	389	380	340
12	438	425	428
13	505	480	455
16	555	515	495
20	612	585	544
24	665	630	615
27	703	695	645
30	761	745	690
34	804	790	755
39	850	835	795
47	903	885	855
54	955	940	920



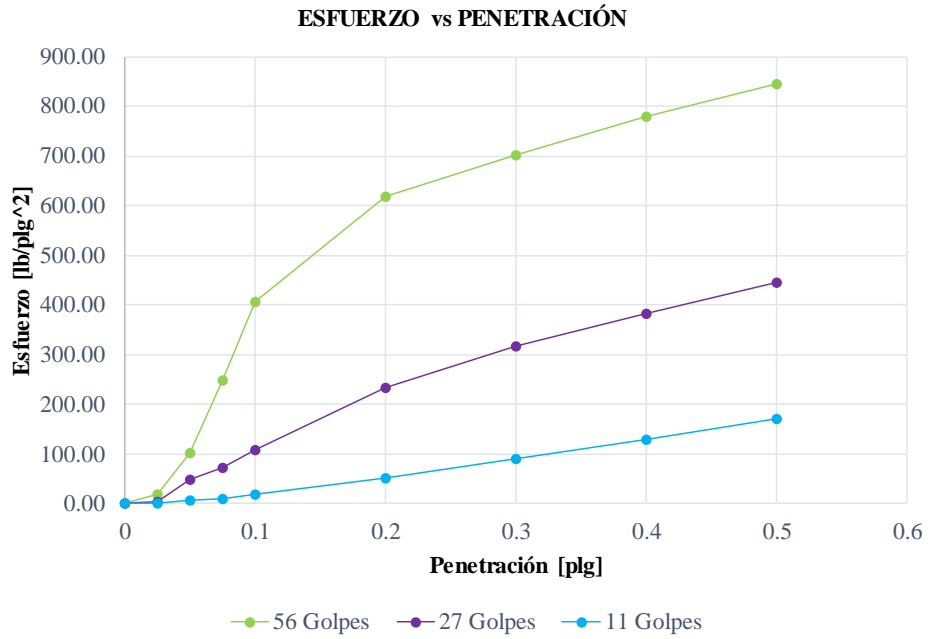
DN (mm/golpe)	DN (prom)
A	16.761
B	
C	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 88. Ensayo 8 CBR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 8				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 776143; 9871868				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11069		11684		9697	
Masa del molde [gr]	8319		9219		8067	
Masa muestra húmeda [gr]	2750		2465		1630	
Volumen muestra [cm³]	2307.55		2312.98		2111.56	
Peso unitario húmedo [gr/cm³]	1.192		1.066		0.772	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	129.4	154.7	127.9	116.6	106.2	54.1
Masa suelo seco + recip [gr]	127.4	123.4	109.3	91.6	84.3	41.6
Masa de agua [gr]	2.0	31.3	18.6	25.0	21.9	12.5
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	97.2	90.2	76.5	59.1	52.4	8.0
Contenido de humedad W%	2.05	34.65	24.29	42.36	41.86	155.69
W % promedio	18.35		33.32		98.78	
Peso unitario seco [gr/cm³]	1.012		0.806		0.492	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11159		11852		9965	
Masa del molde [gr]	8319		9219		8067	
Masa muestra húmeda [gr]	2840		2633		1898	
Masa de agua absorbida [gr]	90		169		268	
% de agua absorbida	3.1740		6.4074		14.1025	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	94.6	110.7	98.6	103.7	97.3	97.9
Masa de suelo seco + tarro [gr]	78.1	90.9	82.2	85.4	86.7	78.9
Masa del agua [gr]	16.4	19.8	16.3	18.3	10.6	19.1
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	45.5	60.2	51.1	52.9	54.9	45.8
Contenido de agua %	36.10	32.91	31.91	34.70	19.33	41.72
W % promedio	34.51		33.30		30.53	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg²]	dial	Presión [lb/plg²]	dial	Presión [lb/plg²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	62.33	20.78	9.26	3.09	0.06	0.02
0.05	305.79	101.93	143.39	47.80	18.23	6.08
0.075	748.18	249.39	219.52	73.17	30.21	10.07
0.1	1217.29	405.76	325.51	108.50	55.42	18.47
0.2	1852.48	617.49	698.86	232.95	157.84	52.61
0.3	2108.75	702.92	951.00	317.00	270.38	90.13
0.4	2335.90	778.63	1146.57	382.19	393.50	131.17
0.5	2536.63	845.54	1338.32	446.11	513.73	171.24

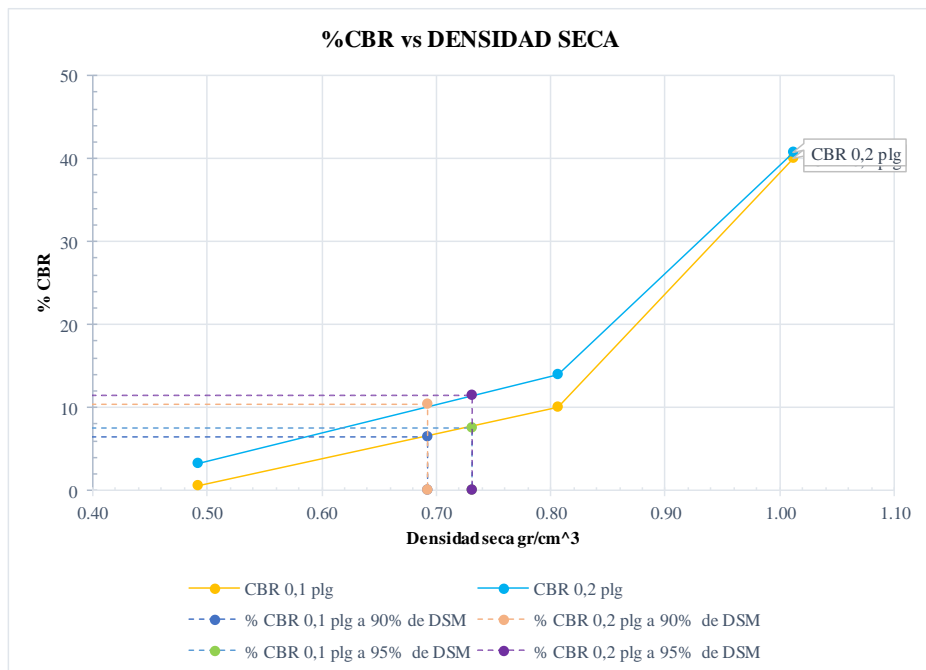
Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)

Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	400	40.00	1.012	610	40.67	1.012
2	100	10.00	0.806	210	14.00	0.806
3	5	0.50	0.492	50	3.33	0.492
Densidad seca máxima gr/cm ³			0.770			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	0.693	6.5	10.4		10.4	
95	0.732	7.5	11.5		11.5	

%CBR vs DENSIDAD SECA





El CBR para el diseño de pavimentos es

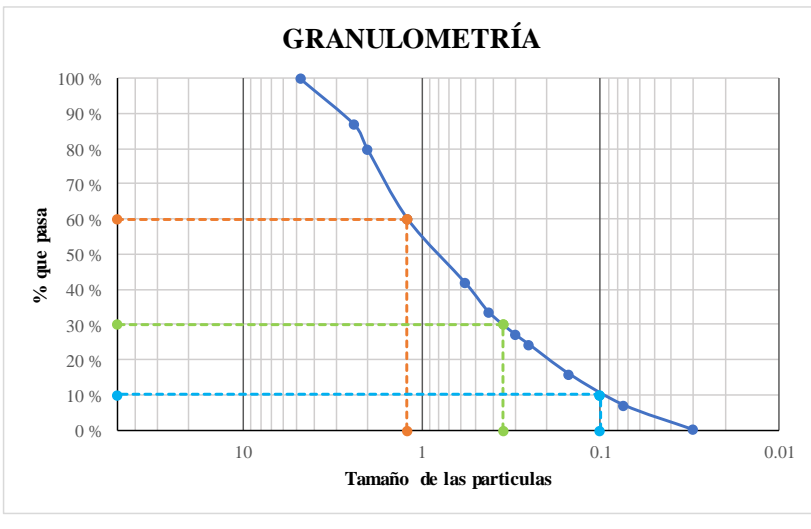
11.5 %

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 89. Ensayo 9 Contenido de Humedad y Granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN					
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	9		
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	791829; 9874864		
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015					
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio	
47.40	417.00	318.00	31.13	31.67	
48.20	467.40	354.10	32.00		
49.20	403.00	305.60	31.87		
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015					
Peso Muestra Seca			874.00		
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% pasa
4.76	4	0	0	0	100
2.38	8	113.90	113.90	13.03	86.97
2	10	61.60	175.50	20.08	79.92
1.19	16	174.30	349.80	40.02	59.98
0.565	30	159.40	509.20	58.26	41.74
0.42	40	71.50	580.70	66.44	33.56
0.297	50	56.40	637.10	72.89	27.11
0.25	60	23.80	660.90	75.62	24.38
0.149	100	73.60	734.50	84.04	15.96
0.074	200	77.00	811.50	92.85	7.15
0.03	fuelle	62.00	873.50	99.94	0.06



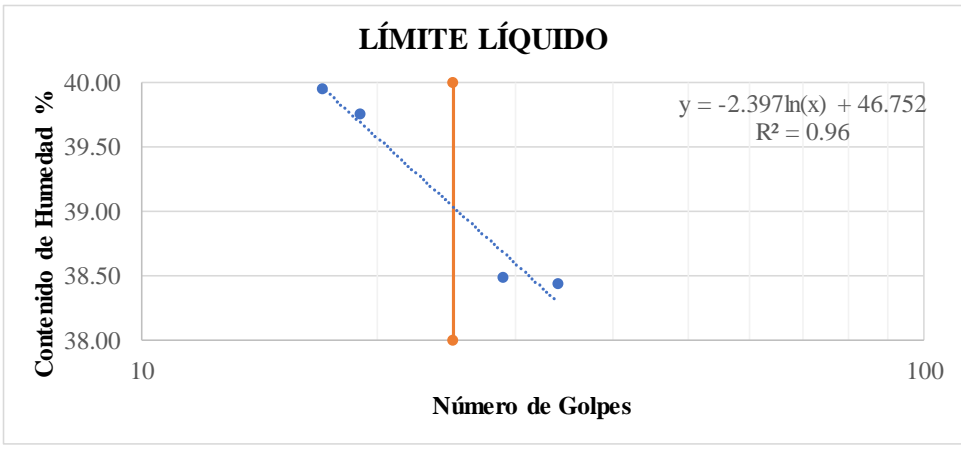
GRANULOMETRÍA



D10 en mm	0.1	$C_u = D_{60}/D_{10}$	12.000
D30 en mm	0.35	$C_c = D_{30}^2/(D_{60} * D_{10})$	1.021
D60 en mm	1.2	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2.38 mm



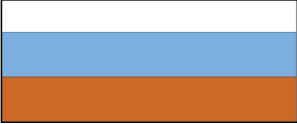
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 90. Ensayo 9 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 9						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 791829; 9874864						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
44	34	49.50	43.60	28.30	5.90	15.30	38.56	38.44
43		43.10	39.00	28.30	4.10	10.70	38.32	
47	19	58.00	49.60	27.60	8.40	22.00	38.18	39.76
46		38.20	35.10	27.60	3.10	7.50	41.33	
45	29	35.70	31.80	22.30	3.90	9.50	41.05	38.49
48		37.10	33.40	23.10	3.70	10.30	35.92	
49	17	32.80	28.90	22.30	3.90	6.60	59.09	39.95
41		52.70	47.60	23.10	5.10	24.50	20.82	
<div style="text-align: center;"> LÍMITE LÍQUIDO </div> 								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
6	11.40	11.20	0.20	10.60	0.60	33.33	33.10	
7	11.50	11.30	0.20	10.60	0.70	28.57		
8	11.50	11.30	0.20	10.60	0.70	28.57		
9	11.70	11.40	0.30	10.60	0.80	37.50		
10	11.70	11.40	0.30	10.60	0.80	37.50		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		37.90		SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %		33.10			SUCS	SW-SM		
Índice plástico %		4.80						



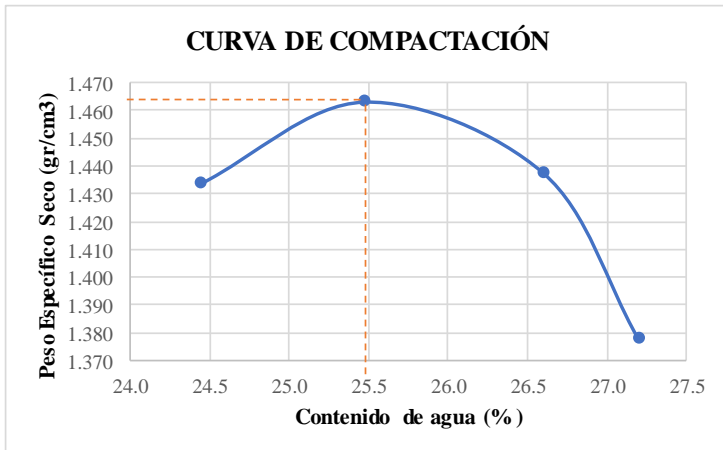
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 91. Ensayo 9 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 				
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.				
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 9			
Cantón: Pillaro	Coordenadas: 791829; 9874864			
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz			
	Revisado por: Ing. Favio Portilla			
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014				
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)				
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1496		
Peso de la funda gr	Rec	6.1		
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1489.9		
Volumen de la perforación del suelo (Vm)				
Peso inicial frasco + cono + arena			7190.00	
Peso final frasco + cono + arena			5740.00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			209.97	
Peso arena en la perforación			1240.03	
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)			1.582	
Volumen de la perforación	Vm	783.84		
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente #		D	E	
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	130	137	
Peso seco + recipiente	Ws + rec	107	113	
Peso del recipiente	rec	25	25	
Peso del agua	Ww	23	24	
Peso de los sólidos	Ws	82	88	
Contenido de humedad	w%	28.05	27.27	
contenido de humedad promedio	w% prom	27.66		
Determinación de las fases del suelo				
Vv		Volumen	Peso	
Va		Wa	25.72	-
Vw		Ww	1.72	0
Vs		Ws	24	24
Vm		Wm	33.21	88
			58.92	112
Determinación de las propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(ym)	1.901	gr/cm ³	
Densidad seca	(yd)	1.489	gr/cm ³	
Contenido de humedad	w%	27.66	%	
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0.77	Natural	
Porosidad	n%= Vv/Vm *100	43.64	%	
Grado de saturación de agua	Gw%= Vw/Vv *100	93.33	%	
Grado de saturación de aire	Ga%	6.67	%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015				
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	669.10	gr	
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	698.23333	gr	
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	20.87	gr	
Temperatura de agua y suelo °C		19.00	°C	
Factor por corrección por temperatura K		0.99841		
Recipiente + Peso de suelo seco		576.60	gr	
Peso de recipiente		47.50	gr	
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.80	gr	
Gravedad específica Gs	Gs= (Ws*K)/(Ws+Wbw-Wbws)	2.392	gr	



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

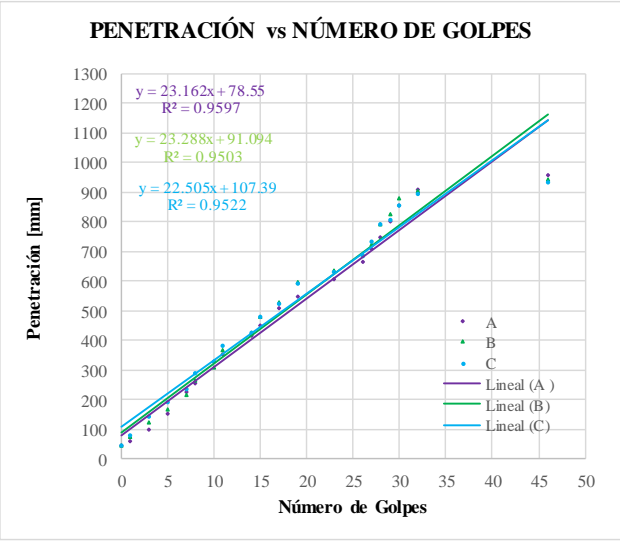
Tabla 92. Ensayo 9 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 9						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 791829; 9874864						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA: Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb						
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAIDA: 18 plgd						
VOLUMEN: 2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5						
MASA: 16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56						
PRUEBA N°	1	2	3	4				
% Rango en aumento	0	2	4	6				
Suelo húmedo+molde (gr)	19470	19610	19600	19460				
Masa molde (gr)	15440	15440	15440	15440				
Masa suelo húmedo (gr)	4030	4170	4160	4020				
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.897	1.963	1.959	1.893				
Masa del tarro (gr)	50.2	52.3	50.2	49.2	48.2	52.3	50.2	50.2
Masa suelo húm.+tarro (gr)	226.5	213.1	310.6	304.7	352.2	367.1	325.9	377.8
Masa suelo seco+tarro (gr)	183.3	173.9	244.3	239.6	271.8	282.9	250.6	289.1
Masa del agua (gr)	43.2	39.2	66.3	65.1	80.4	84.2	75.3	88.7
Masa suelo seco (gr)	176.3	160.8	260.4	255.5	304	314.8	275.7	327.6
Contenido de agua (%)	24.504	24.378	25.461	25.479	26.447	26.747	27.312	27.076
w (%) Promedio	24.441		25.470		26.597		27.194	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.434		1.463		1.438		1.378	
Densidad Seca Máxima (y máx):		1.463 gr/cm ³						
Humedad Óptima:		25.50 %						
Gravedad de compactación		97.98 %						
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
 <p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 93. Ensayo 9 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	9
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	791829; 9874864
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	A	B	C
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	60	75	80
3	100	125	145
5	155	170	192
7	225	215	235
8	255	265	290
10	330	308	330
11	355	370	380
14	415	425	425
15	450	480	480
17	510	530	525
19	550	595	590
23	605	635	630
26	666	690	685
27	710	725	735
28	750	790	790
29	800	825	805
30	855	878	855
32	910	905	895
46	955	945	935



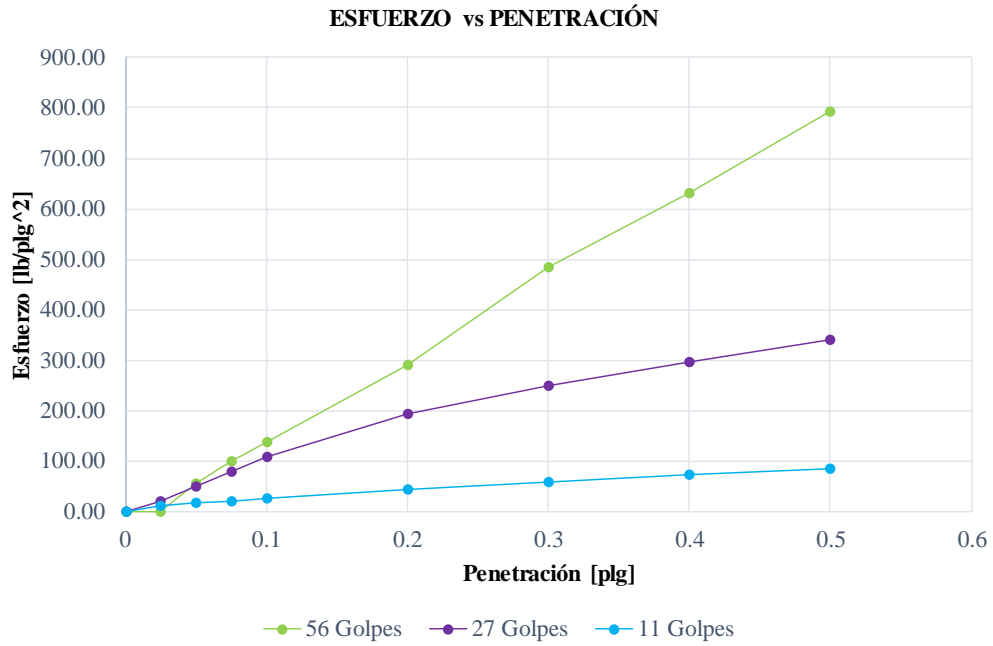
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	23.162	
B	23.288	
C	22.505	22.985

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 94. Ensayo 9 CBR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 9				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 791829; 9874864				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	10828		11121		10928	
Masa del molde [gr]	6915		8269		8009	
Masa muestra húmeda [gr]	3913		2852		2919	
Volumen muestra [cm ³]	2288.66		2114.32		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.710		1.349		1.244	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	94.4	64.6	78.2	83.0	88.3	62.5
Masa suelo seco + recip [gr]	81.6	58.4	70.5	74.7	78.0	56.8
Masa de agua [gr]	12.8	6.2	7.7	8.3	10.3	5.7
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	51.4	25.2	37.7	42.2	46.1	23.2
Contenido de humedad W%	24.85	24.41	20.29	19.64	22.45	24.34
W % promedio	24.63		19.97		23.40	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.371		1.125		1.010	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	10857		11143		11008	
Masa del molde [gr]	6915		8269		8009	
Masa muestra húmeda [gr]	3942		2874		2999	
Masa de agua absorbida [gr]	29		22		80	
% de agua absorbida	0.7321		0.7607		2.6533	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	94.5	105.7	98.9	89.5	96.0	94.9
Masa de suelo seco + tarro [gr]	82.7	92.4	86.0	78.3	83.2	82.7
Masa del agua [gr]	11.7	13.4	12.9	11.1	12.8	12.3
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	50.1	61.7	54.9	45.8	51.4	49.6
Contenido de agua %	23.41	21.69	23.56	24.24	24.95	24.80
W % promedio	22.55		23.90		24.87	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	2.19	0.73	59.90	19.97	35.11	11.70
0.05	168.27	56.09	146.63	48.88	51.24	17.08
0.075	298.03	99.34	237.70	79.23	63.17	21.06
0.1	417.16	139.05	323.59	107.86	76.17	25.39
0.2	872.17	290.72	578.99	193.00	130.43	43.48
0.3	1451.91	483.97	748.05	249.35	176.78	58.93
0.4	1890.44	630.15	888.72	296.24	220.38	73.46
0.5	2381.14	793.71	1022.58	340.86	257.03	85.68

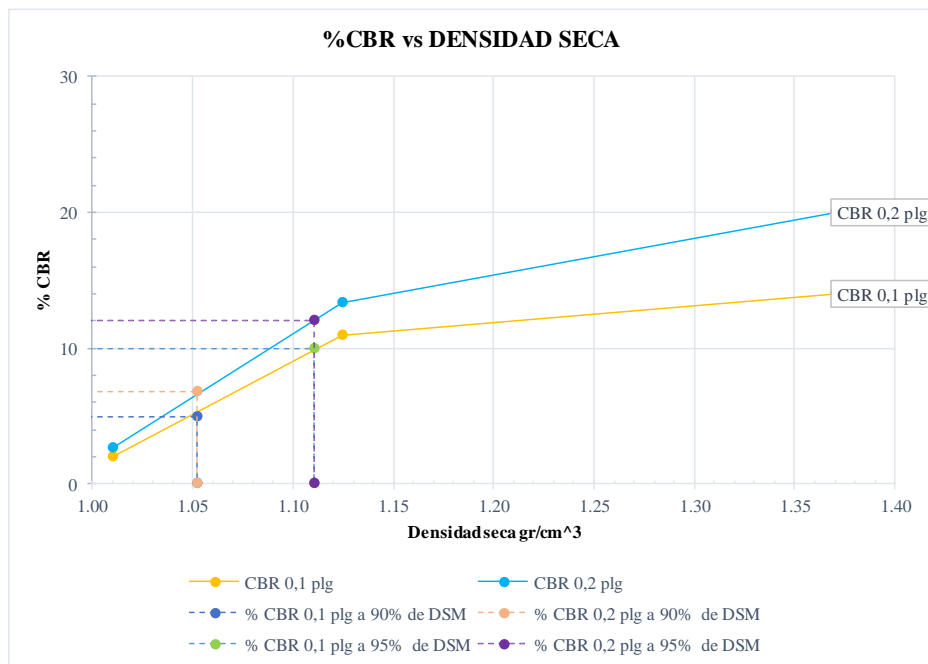
Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)

Molde N°	Presión [lb/plg^2]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg^2]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	140	14.00	1.371	300	20.00	1.371
2	110	11.00	1.125	200	13.33	1.125
3	20	2.00	1.010	40	2.67	1.010
Densidad seca máxima gr/cm^3			1.169			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.052	5	6.8		6.8	
95	1.110	10	12		12	

%CBR vs DENSIDAD SECA





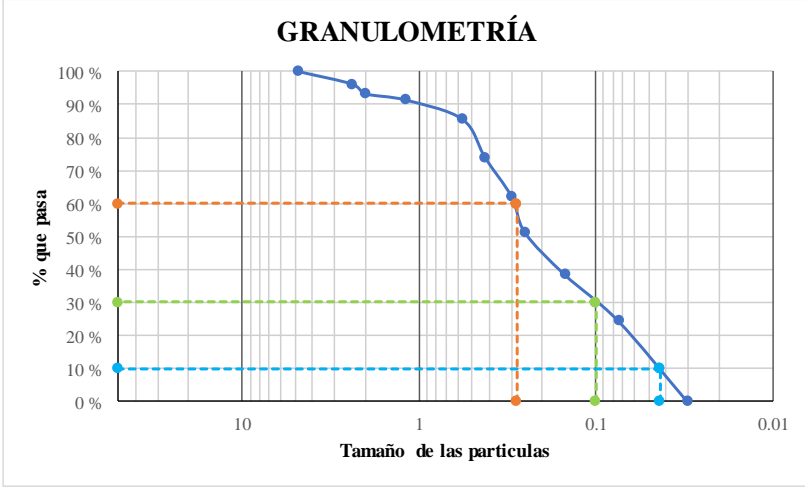
El CBR para el diseño de pavimentos es

12

%



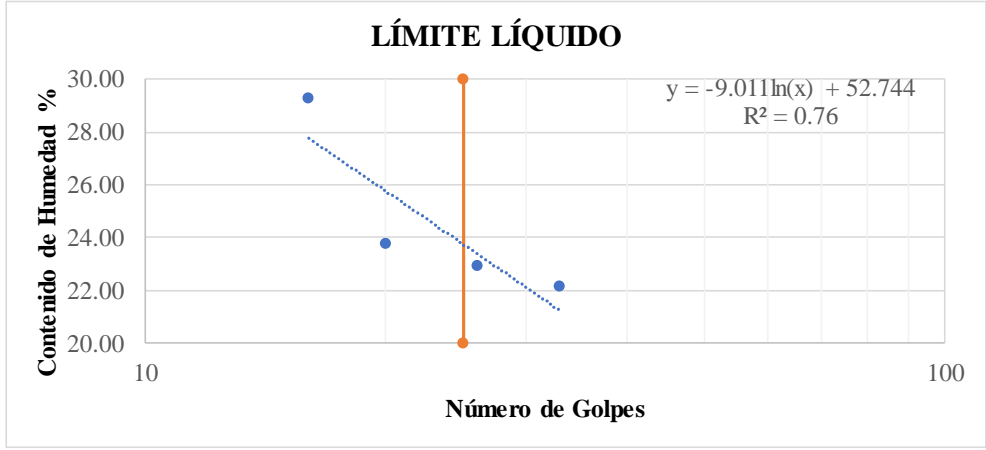
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 95. Ensayo 10 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	10				
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	789009; 9877419				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
47.40	965.00	896.40	7.65	7.81			
48.20	697.70	645.65	8.06				
50.20	755.70	701.50	7.73				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				1100.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% que pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	41.40	41.40	3.76	96.24		
2	10	32.40	73.80	6.71	93.29		
1.19	16	20.40	94.20	8.56	91.44		
0.565	30	64.40	158.60	14.42	85.58		
0.42	40	128.30	286.90	26.08	73.92		
0.297	50	130.60	417.50	37.95	62.05		
0.25	60	119.00	536.50	48.77	51.23		
0.149	100	139.90	676.40	61.49	38.51		
0.074	200	154.20	830.60	75.51	24.49		
0.03	fuente	269.40	1100.00	100.00	0.00		
GRANULOMETRÍA							
							
D10 en mm	0.043	Cu = D60/D10		6.512			
D30 en mm	0.1	Cc = D30²/(D60*D10)		0.831			
D60 en mm	0.28	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		1.19 mm			



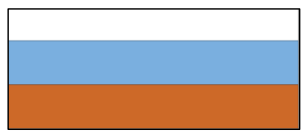
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 96. Ensayo 10 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 10						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 789009; 9877419						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
5	16	74.50	69.70	50.20	4.80	19.50	24.62	29.27
22		63.20	59.40	48.20	3.80	11.20	33.93	
11	20	61.30	58.50	47.40	2.80	11.10	25.23	23.77
32		74.80	69.80	47.40	5.00	22.40	22.32	
33	33	75.10	70.80	49.20	4.30	21.60	19.91	22.14
1		69.10	65.20	49.20	3.90	16.00	24.37	
16	26	66.80	63.60	50.20	3.20	13.40	23.88	22.95
17		73.70	69.10	48.20	4.60	20.90	22.01	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
43	31.80	30.80	1.00	28.30	2.50	40.00	20.79	
44	32.70	32.20	0.50	28.30	3.90	12.82		
45	33.80	33.10	0.70	28.30	4.80	14.58		
46	32.90	31.80	1.10	28.30	3.50	31.43		
47	32.40	32.20	0.20	28.30	3.90	5.13		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %		23.80		SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %		20.79			SUCS	SM		
Índice plástico %		3.01						



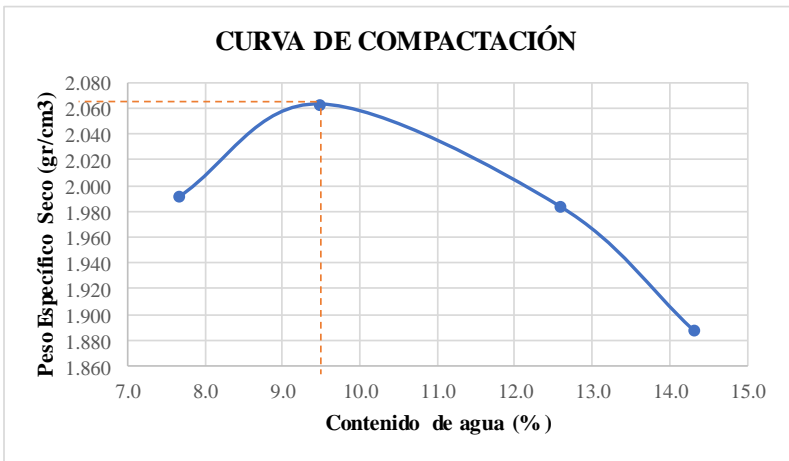
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 97. Ensayo 10 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 10		
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 789009; 9877419		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1742	
Peso de la funda gr	Rec	5.2	
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1736.8	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	7190.00		
Peso final frasco + cono + arena	5650.00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	209.97		
Peso arena en la perforación	1330.03		
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)	1.582		
Volumen de la perforación	Vm	840.73	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		21	31
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	280	273
Peso seco + recipiente	Ws + rec	242	239
Peso del recipiente	rec	47	48
Peso del agua	Ww	38	34
Peso de los sólidos	Ws	195	191
Contenido de humedad	w%	19.49	17.80
contenido de humedad promedio	w% prom	18.64	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		39.20	-
Vw		1.20	0
Vs		38	38
Vm		73.58	195
		112.79	233
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	2.066	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	1.741	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	18.64	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0.53	Natural
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	34.76	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = W_w/V_v * 100$	96.93	%
Grado de saturación de aire	$G_a\%$	3.07	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	668.17	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	698.23333	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	19.93	gr
Temperatura de agua y suelo °C		22.00	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99777	
Recipiente + Peso de suelo seco		782.50	gr
Peso de recipiente		256.30	gr
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.70	gr
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.503	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

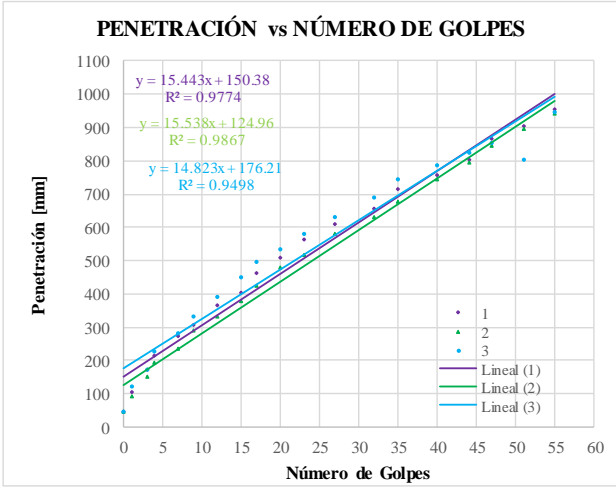
Tabla 98. Ensayo 10 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 10						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 789009; 9877419						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA: Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb						
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAIDA: 18 plgd						
VOLUMEN: 2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5						
MASA: 16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56						
PRUEBA N°	1	2	3	4				
% Rango en aumento	0	3	6	9				
Suelo húmedo+molde (gr)	20020	20280	20260	20120				
Masa molde (gr)	15440	15440	15440	15440				
Masa suelo húmedo (gr)	4580	4840	4820	4680				
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	2.156	2.279	2.269	2.203				
Masa del tarro (gr)	52.3	50.2	49.2	51.1	48.2	50.2	47.4	47.4
Masa suelo húm.+tarro (gr)	254.4	285.9	272.1	282.3	250.9	284.7	345.3	317.1
Masa suelo seco+tarro (gr)	238.6	268.2	249.6	261.8	224.2	256.6	302.8	278.4
Masa del agua (gr)	15.8	17.7	22.5	20.5	26.7	28.1	42.5	38.7
Masa suelo seco (gr)	202.1	235.7	222.9	231.2	202.7	234.5	297.9	269.7
Contenido de agua (%)	7.818	7.510	10.094	8.867	13.172	11.983	14.267	14.349
w (%) Promedio	7.664		9.480		12.578		14.308	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.991		2.063		1.984		1.888	
Densidad Seca Máxima (y máx):		2.063 gr/cm ³						
Humedad Óptima:		9.48 %						
Gravedad de compactación		96.53 %						
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
 <p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 99. Ensayo 10 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	10
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	789009; 9877419
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	1	2	3
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	105	90	120
3	170	150	170
4	215	195	225
7	274	235	280
9	306	290	330
12	364	330	390
15	405	380	450
17	462	425	495
20	510	478	535
23	564	515	580
27	608	580	630
32	655	632	690
35	714	678	745
40	756	745	785
44	805	795	825
47	865	845	855
51	905	894	805
55	955	940	945



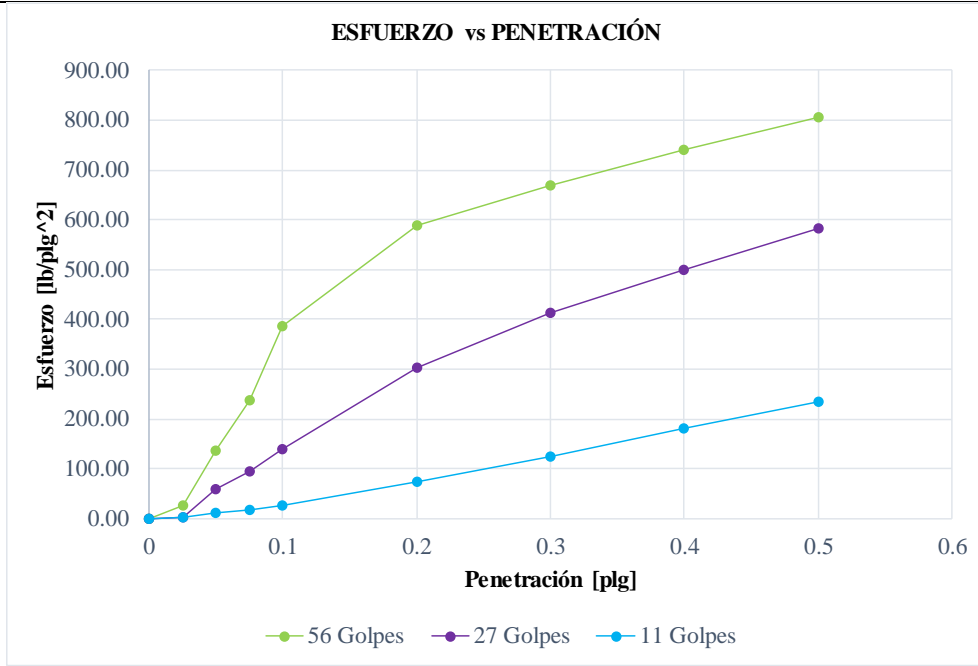
DN (mm/golpe)	DN (prom)
A	15.443
B	15.538
C	14.823
15.268	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 100. Ensayo 10 CBR

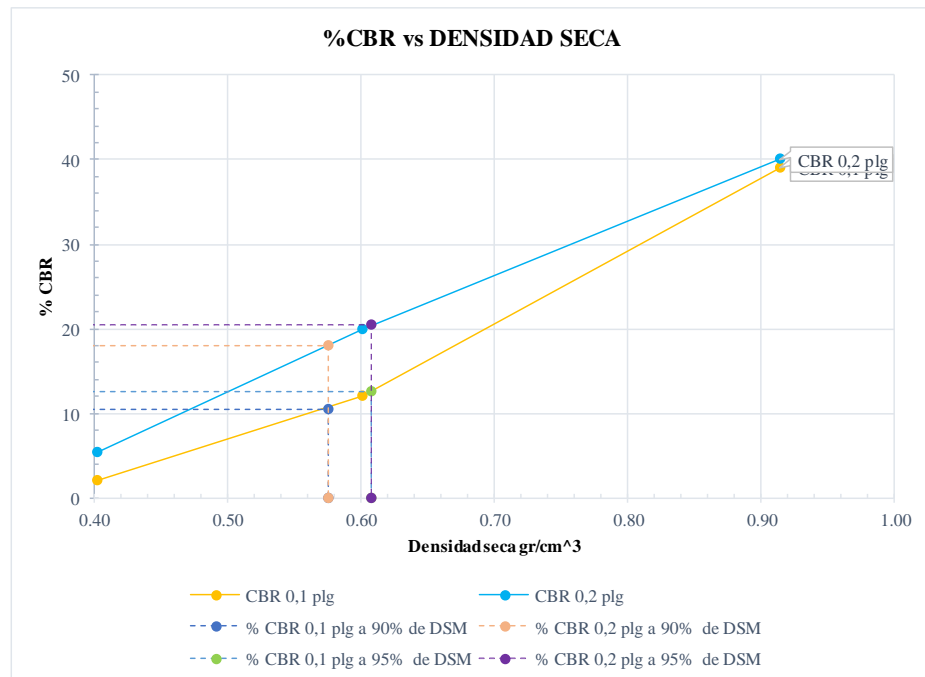
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 10				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 789009; 9877419				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	10975		11341		9827	
Masa del molde [gr]	8291		9540		8731	
Masa muestra húmeda [gr]	2684		1801		1096	
Volumen muestra [cm ³]	2343.37		2340.42		2143.87	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.145		0.770		0.511	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	128.3	153.3	124.1	113.2	107.7	109.0
Masa suelo seco + recip [gr]	110.2	127.4	103.9	95.8	91.2	93.1
Masa de agua [gr]	18.1	26.0	20.2	17.5	16.5	15.9
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	80.0	94.2	71.1	63.3	59.3	59.5
Contenido de humedad W%	22.57	27.59	28.44	27.59	27.74	26.64
W % promedio	25.08		28.02		27.19	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	0.914		0.601		0.402	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11064		11505		10099	
Masa del molde [gr]	8291		9540		8731	
Masa muestra húmeda [gr]	2773		1965		1368	
Masa de agua absorbida [gr]	89		164		271	
% de agua absorbida	3.2231		8.3342		19.8306	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	93.8	109.8	95.7	100.7	98.6	99.3
Masa de suelo seco + tarro [gr]	77.5	90.1	79.8	82.9	87.9	79.9
Masa del agua [gr]	16.3	19.6	15.8	17.8	10.8	19.3
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	44.9	59.4	48.7	50.4	56.1	46.8
Contenido de agua %	36.32	33.06	32.51	35.35	19.19	41.32
W % promedio	34.69		33.93		30.26	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	81.17	27.06	9.56	3.19	5.82	1.94
0.05	405.98	135.33	178.73	59.58	30.49	10.16
0.075	711.54	237.18	278.72	92.91	46.76	15.59
0.1	1158.56	386.19	417.93	139.31	80.99	27.00
0.2	1763.85	587.95	908.29	302.76	220.08	73.36
0.3	2008.05	669.35	1239.46	413.15	372.90	124.30
0.4	2224.51	741.50	1496.32	498.77	540.09	180.03
0.5	2415.78	805.26	1748.18	582.73	703.35	234.45

Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)



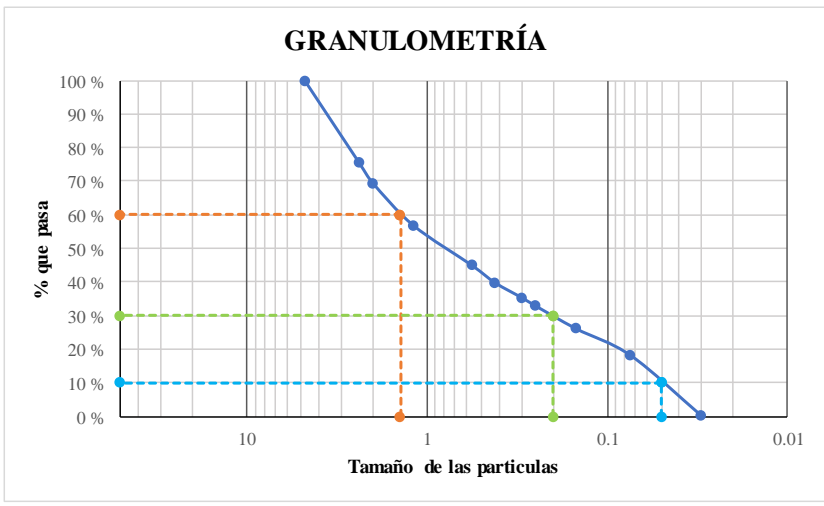
Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	390	39.00	0.914	600	40.00	0.914
2	120	12.00	0.601	300	20.00	0.601
3	20	2.00	0.402	80	5.33	0.402
Densidad seca máxima gr/cm ³			0.639			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	0.575	10.5	18		18	
95	0.607	12.5	20.5		20.5	



El CBR para el diseño de pavimentos es **20.5** %



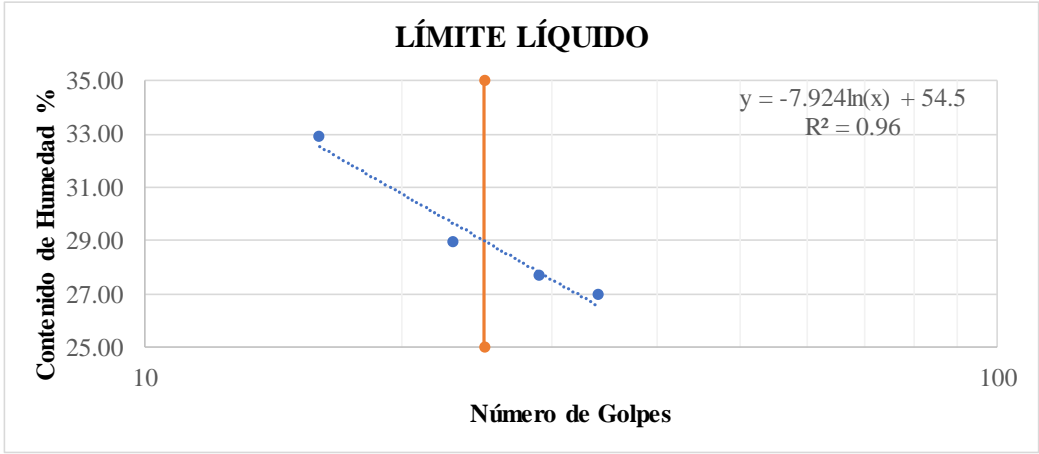
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 101. Ensayo 11 Contenido de Humedad y Granulometría

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO DE TITULACIÓN	
							
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	11				
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	789281; 9870400				
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla				
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015							
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio			
49.20	435.10	338.60	28.50	28.78			
49.20	463.20	359.60	28.81				
49.20	401.30	311.00	29.04				
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015							
Peso Muestra Seca				868.00			
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% pasa		
4.76	4	0	0	0	100		
2.38	8	212.30	212.30	24.46	75.54		
2	10	52.40	264.70	30.50	69.50		
1.19	16	110.00	374.70	43.17	56.83		
0.565	30	103.00	477.70	55.03	44.97		
0.42	40	45.10	522.80	60.23	39.77		
0.297	50	39.30	562.10	64.76	35.24		
0.25	60	20.80	582.90	67.15	32.85		
0.149	100	59.00	641.90	73.95	26.05		
0.074	200	69.70	711.60	81.98	18.02		
0.03	fuelle	156.10	867.70	99.97	0.03		
GRANULOMETRÍA							
							
D10 en mm	0.05	Cu = D60/D10		28.000			
D30 en mm	0.2	Cc = D30²/(D60*D10)		0.571			
D60 en mm	1.4	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2.38 mm			



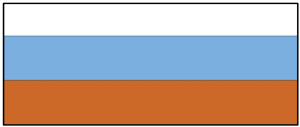
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 102. Ensayo 11 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto:		Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	11					
Cantón:	Píllaro	Coordenadas:	789281; 9870400					
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz					
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
39	16	65.20	56.30	28.30	8.90	28.00	31.79	32.90
43		41.30	38.00	28.30	3.30	9.70	34.02	
38	34	75.40	65.80	28.30	9.60	37.50	25.60	26.97
40		44.60	41.00	28.30	3.60	12.70	28.35	
45	29	63.50	55.10	26.50	8.40	28.60	29.37	27.70
42		46.00	42.20	27.60	3.80	14.60	26.03	
37	23	72.90	62.30	28.30	10.60	34.00	31.18	28.98
41		56.70	50.70	28.30	6.00	22.40	26.79	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
57	27.20	26.90	0.30	25.10	1.80	16.67	23.16	
58	27.30	27.00	0.30	25.10	1.90	15.79		
59	26.10	25.90	0.20	25.10	0.80	25.00		
60	26.30	26.00	0.30	25.10	0.90	33.33		
61	26.10	25.90	0.20	25.10	0.80	25.00		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %	29.10			SISTEMA	AASHTO	A-4		
Límite plástico %	23.16				SUCS	SM		
Índice plástico %	5.94							



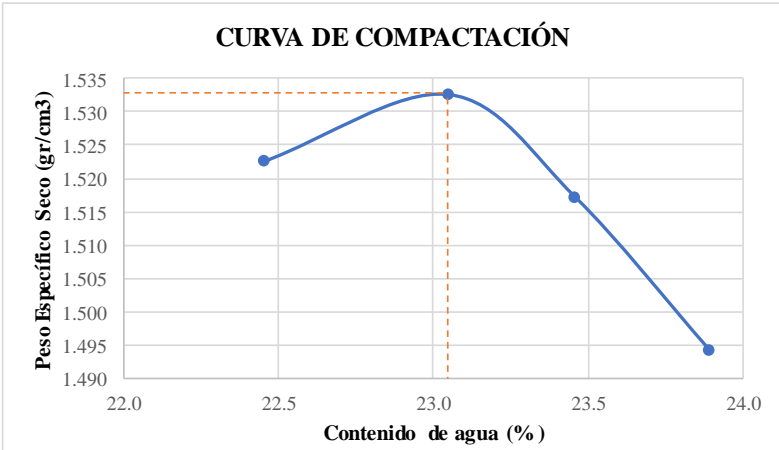
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 103. Ensayo 11 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 11		
Cantón: Pillaro	Coordenadas: 789281; 9870400		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1834	
Peso de la funda gr	Rec	6.1	
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1827.9	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	7290.00		
Peso final frasco + cono + arena	5570.00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	209.97		
Peso arena en la perforación	1510.03		
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)	1.582		
Volumen de la perforación	Vm	954.51	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		1	26
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	244	229
Peso seco + recipiente	Ws + rec	201	189
Peso del recipiente	rec	49	49
Peso del agua	Ww	43	40
Peso de los sólidos	Ws	152	140
Contenido de humedad	w%	28.29	28.57
contenido de humedad promedio	w% prom	28.43	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		44.47	-
Vw		1.47	0
Vs		43	43
Vm		57.36	152
	Wa	101.83	195
	Ww		
	Ws		
	Wm		
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.915	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	1.491	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	28.43	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0.78	Natural
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	43.67	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	96.70	%
Grado de saturación de aire	Ga%	3.30	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnometro + agua Wbw	Wbw	669.10	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	697.33333	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	21.77	gr
Temperatura de agua y suelo °C		17.00	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99878	
Recipiente + Peso de suelo seco		698.00	gr
Peso de recipiente		50.20	gr
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.60	gr
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.294	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

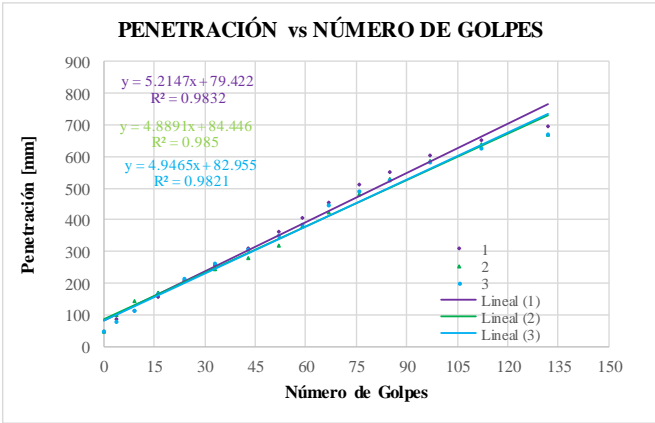
Tabla 104. Ensayo 11 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 11							
Cantón: Pillaro	Coordenadas: 789281; 9870400							
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz							
	Revisado por: Ing. Favio Portilla							
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb					
DATOS DEL MOLDE			ALTURA DE CAIDA: 18 plgd					
VOLUMEN:	2124	cm ³	NÚMERO DE CAPAS: 5					
MASA:	16864	gr	GOLPE POR CAPAS: 56					
PRUEBA N°	1		2	3	4			
% Rango en aumento	0		1	2	3			
Suelo húmedo+molde (gr)	19610		19670	19650	19610			
Masa molde (gr)	15440		15440	15440	15440			
Masa suelo húmedo (gr)	4170		4230	4210	4170			
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.963		1.992	1.982	1.963			
Masa del tarro (gr)	47.4	48.2	50.2	48.2	49.2	48.2	48.2	52.3
Masa suelo húm.+tarro (gr)	204.5	268.6	214.4	258.7	255.3	268.7	283.6	289.5
Masa suelo seco+tarro (gr)	169.1	219.3	176	210.9	206.1	217.9	227.5	232.7
Masa del agua (gr)	35.4	49.3	38.4	47.8	49.2	50.8	56.1	56.8
Masa suelo seco (gr)	157.1	220.4	164.2	210.5	206.1	220.5	235.4	237.2
Contenido de agua (%)	22.533	22.368	23.386	22.708	23.872	23.039	23.832	23.946
w (%) Promedio	22.451		23.047	23.455	23.889			
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.523		1.533	1.517	1.494			
Densidad Seca Máxima (y máx):			1.533 gr/cm ³					
Humedad Óptima:			23.10 %					
Gravedad de compactación			99.35 %					
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
 <p style="text-align: center;">CURVA DE COMPACTACIÓN</p>								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 105. Ensayo 11 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	11
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	789281; 9870400
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	1	2	3
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
4	87	100	75
9	112	142	110
16	154	170	165
24	207	210	214
33	256	245	262
43	308	280	305
52	362	320	350
59	407	380	385
67	455	425	445
76	513	480	490
85	550	530	525
97	605	585	580
112	654	640	625
132	695	670	670



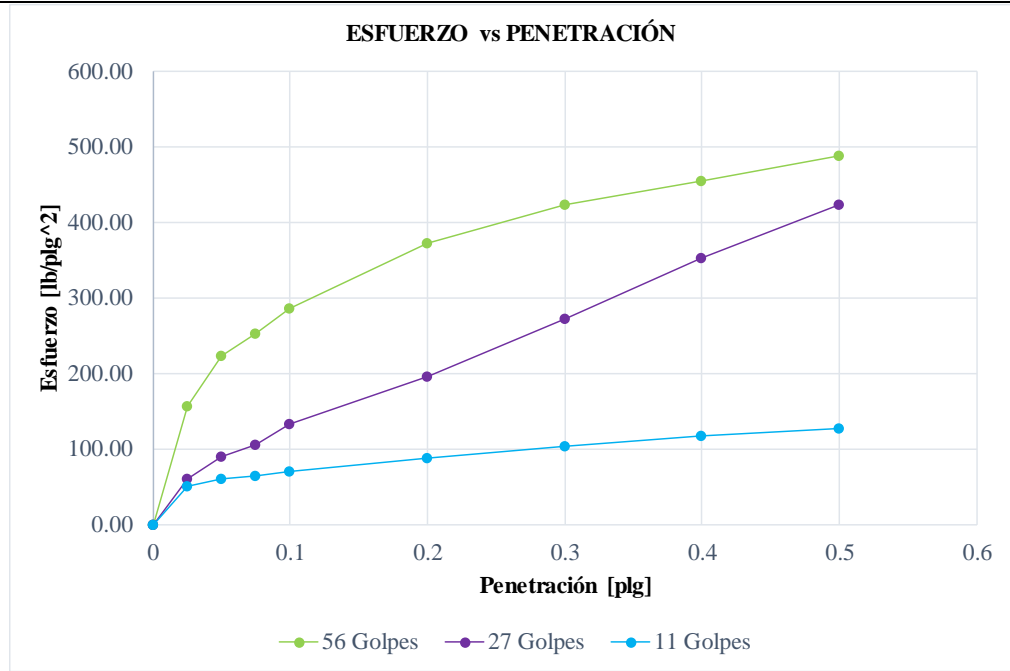
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	5.2147	
B	4.8991	
C	4.9565	
		5.023

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 106. Ensayo 11 CBR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 11				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 789281; 9870400				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	10727		11158		11151	
Masa del molde [gr]	6915		8269		8009	
Masa muestra húmeda [gr]	3812		2889		3142	
Volumen muestra [cm ³]	2343.37		2340.42		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.627		1.234		1.338	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	93.5	63.9	78.4	83.3	90.1	63.8
Masa suelo seco + recip [gr]	83.0	58.9	71.8	75.9	77.2	54.3
Masa de agua [gr]	10.5	5.1	6.6	7.4	12.9	9.5
Masa del recip [gr]	30.2	33.2	32.8	32.5	31.9	33.6
Masa suelo seco [gr]	52.8	25.7	39.0	43.4	45.3	20.7
Contenido de humedad W%	19.85	19.66	16.98	16.97	28.50	45.76
W % promedio	19.75		16.97		37.13	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.358		1.055		0.999	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	10756		11180		11232	
Masa del molde [gr]	6915		8269		8009	
Masa muestra húmeda [gr]	3841		2911		3223	
Masa de agua absorbida [gr]	29		22		81	
% de agua absorbida	0.7444		0.7535		2.5190	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	93.6	104.7	99.3	89.8	98.0	96.9
Masa de suelo seco + tarro [gr]	82.0	91.5	86.3	78.6	84.9	84.3
Masa del agua [gr]	11.6	13.2	13.0	11.2	13.1	12.5
Masa del tarro [gr]	32.6	30.7	31.1	32.5	31.8	33.1
Masa suelo seco	49.4	60.8	55.2	46.1	53.1	51.2
Contenido de agua %	23.56	21.79	23.52	24.19	24.64	24.47
W % promedio	22.67		23.85		24.56	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	467.33	155.78	183.08	61.03	148.22	49.41
0.05	669.74	223.25	267.30	89.10	180.11	60.04
0.075	756.53	252.18	315.97	105.32	193.24	64.41
0.1	858.72	286.24	399.81	133.27	212.57	70.86
0.2	1120.70	373.57	590.30	196.77	261.91	87.30
0.3	1270.43	423.48	816.72	272.24	309.19	103.06
0.4	1365.12	455.04	1061.40	353.80	349.34	116.45
0.5	1465.72	488.57	1271.85	423.95	378.23	126.08

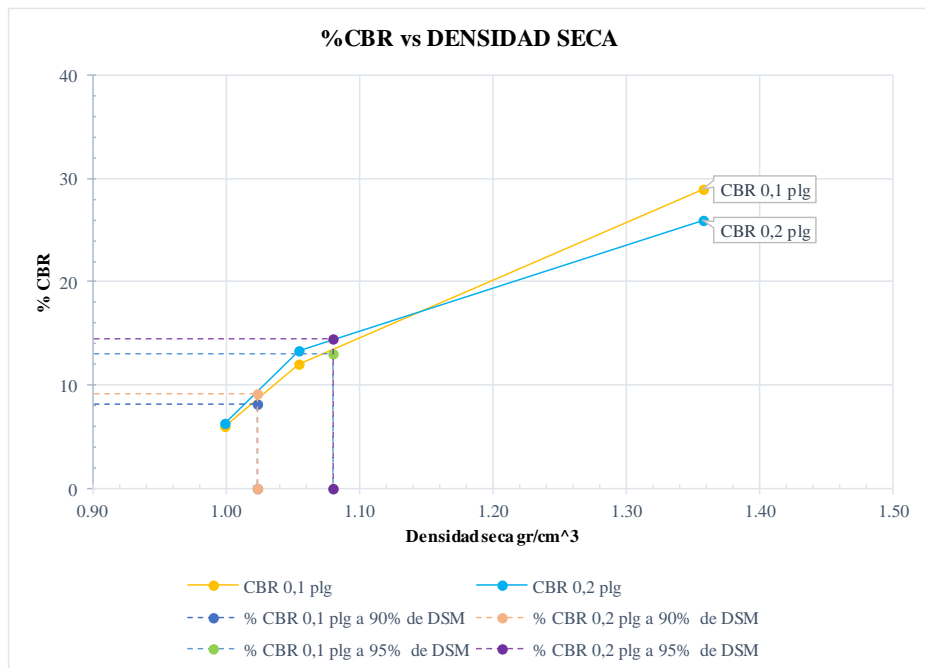
Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)

Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	290	29.00	1.358	390	26.00	1.358
2	120	12.00	1.055	200	13.33	1.055
3	60	6.00	0.999	95	6.33	0.999
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.138			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.024	8.2	9.2		9.2	
95	1.081	13	14.5		14.5	

%CBR vs DENSIDAD SECA



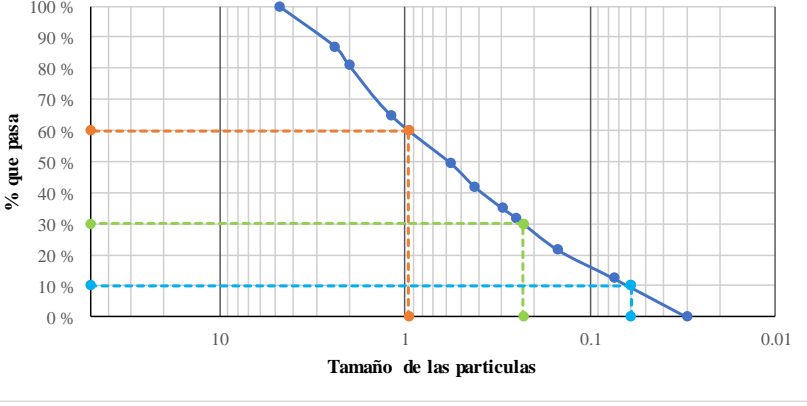


El CBR para el diseño de pavimentos es

14.5 %



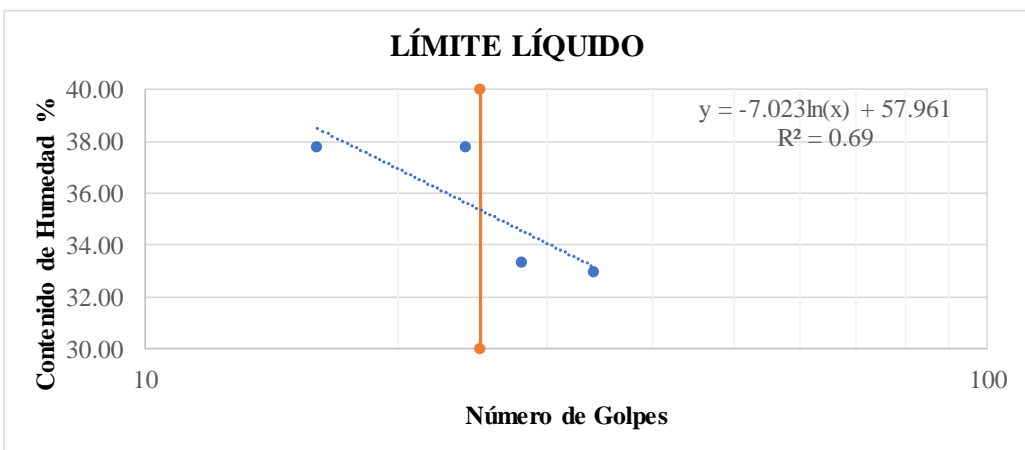
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 107. Ensayo 12 Contenido de Humedad y Granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 					
Proyecto:		Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	12		
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	795920; 9875004		
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015					
W cáps. (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W nat	% W nat Promedio	
52.30	434.00	320.10	35.58	35.60	
50.20	384.50	283.90	35.44		
50.20	401.20	295.50	35.77		
GRANULOMETRÍA - AASHTO T 265 2015					
Peso Muestra Seca				787.00	
Tamiz (mm)	Tamiz N°	Pesos Retenidos	Pesos Retenidos Acumulados	% Retenido	% pasa
4.76	4	0	0	0	100
2.38	8	102.00	102.00	12.96	87.04
2	10	46.20	148.20	18.83	81.17
1.19	16	126.90	275.10	34.96	65.04
0.565	30	121.80	396.90	50.43	49.57
0.42	40	59.10	456.00	57.94	42.06
0.297	50	55.00	511.00	64.93	35.07
0.25	60	24.40	535.40	68.03	31.97
0.149	100	80.70	616.10	78.28	21.72
0.074	200	72.80	688.90	87.53	12.47
0.03	fúente	97.10	786.00	99.87	0.13
GRANULOMETRÍA					
					
D10 en mm	0.06	Cu = D60/D10	15.833		
D30 en mm	0.23	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0.928		
D60 en mm	0.95	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2.38 mm		




Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 108. Ensayo 12 Límites de Atterberg

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 12						
Cantón: Pillaro		Coordenadas: 795920; 9875004						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
		Revisado por: Ing. Favio Portilla						
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE) - AASHTO T 89 2013								
Recipiente N°	Golpes	Muestra Húm. + Rec.	Muestra Seca + Rec.	Peso Rec.	Peso Agua	Peso Sólidos	W%	Promedio W%
23	24	66.80	61.10	47.40	5.70	13.70	41.61	37.78
8		58.20	56.40	51.10	1.80	5.30	33.96	
36	28	76.40	69.20	48.20	7.20	21.00	34.29	33.33
15		64.10	60.70	50.20	3.40	10.50	32.38	
25	16	61.80	58.30	49.20	3.50	9.10	38.46	37.81
13		68.50	63.00	48.20	5.50	14.80	37.16	
34	34	72.30	66.90	50.20	5.40	16.70	32.34	32.95
3		67.70	62.80	48.20	4.90	14.60	33.56	
								
LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013								
N° Recipiente	Peso Muestra Húm. + Rec.	Peso Muestra Seca + Rec.	Peso Agua	Peso Recipiente	Peso Muestra Seca	W%	Promedio W%	
40	29.60	29.30	0.30	28.30	1.00	30.00	31.00	
39	29.50	29.10	0.40	28.30	0.80	50.00		
42	29.60	29.20	0.40	27.60	1.60	25.00		
41	28.60	27.90	0.70	25.10	2.80	25.00		
43	27.60	27.10	0.50	25.10	2.00	25.00		
LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN DEL SUELO				
Límite líquido %	35.30			SISTEMA	AASHTO	A-2-4		
Límite plástico %	31.00				SUCS	SM		
Índice plástico %	4.30							



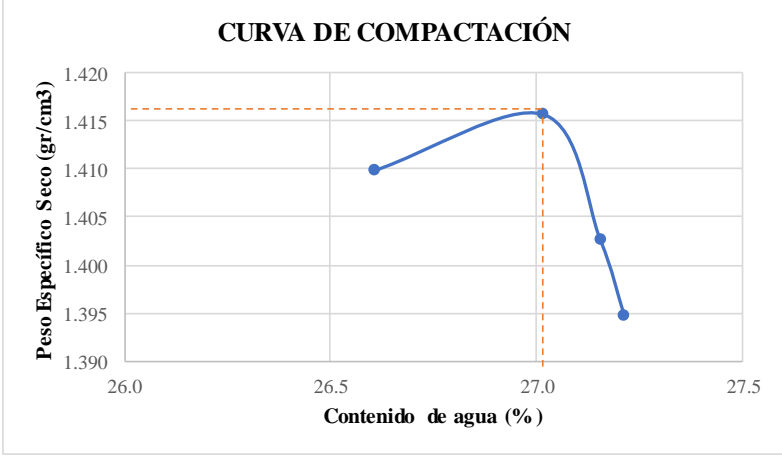
Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 109. Ensayo 12 Densidad de Campo y Gravedad Específica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN			
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.			
Provincia: Tungurahua	N° Muestra: 12		
Cantón: Píllaro	Coordenadas: 795920; 9875004		
Parroquia: Marcos Espinel	Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz		
	Revisado por: Ing. Favio Portilla		
DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA ASSHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído (Wn)			
Peso de la masa del suelo + funda gr	Wm + Rec	1362	
Peso de la funda gr	Rec	6.1	
Peso de la masa de suelo gr	Wm = Wm + Rec - Rec	1355.9	
Volumen de la perforación del suelo (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			7200.00
Peso final frasco + cono + arena			5750.00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			209.97
Peso arena en la perforación			1240.03
Densidad de la arena de Ottawa (calibración arena)			1.582
Volumen de la perforación	Vm	783.84	
Determinación del contenido de humedad			
Recipiente #		14	24
Peso húmedo + recipiente	Wm + rec	206	264
Peso seco + recipiente	Ws + rec	163	196
Peso del recipiente	rec	52	47
Peso del agua	Ww	43	68
Peso de los sólidos	Ws	111	149
Contenido de humedad	w%	38.74	45.64
contenido de humedad promedio	w% prom	42.19	
Determinación de las fases del suelo			
Vv		Volumen	Peso
Va		69.22	-
Vw		1.22	0
Vs		68	68
Vm		56.23	149
		125.45	217
Determinación de las propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico del suelo (Densidad húmeda)	(γ_m)	1.730	gr/cm ³
Densidad seca	(γ_d)	1.217	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	42.19	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	1.23	Natural
Porosidad	$n\% = V_v/V_m * 100$	55.18	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = V_w/V_v * 100$	98.24	%
Grado de saturación de aire	Ga%	1.76	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS AASHTO T 100 2015			
Peso del picnómetro + agua Wbw	Wbw	668.97	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido Wbws	Wbws	696.53333	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	Ws + Wbw - Wbws	22.43	gr
Temperatura de agua y suelo °C		18.50	°C
Factor por corrección por temperatura K		0.99850	
Recipiente + Peso de suelo seco		782.70	gr
Peso de recipiente		258.20	gr
Peso del suelo seco Ws	Ws	49.70	gr
Gravedad específica Gs	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2.226	gr



Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

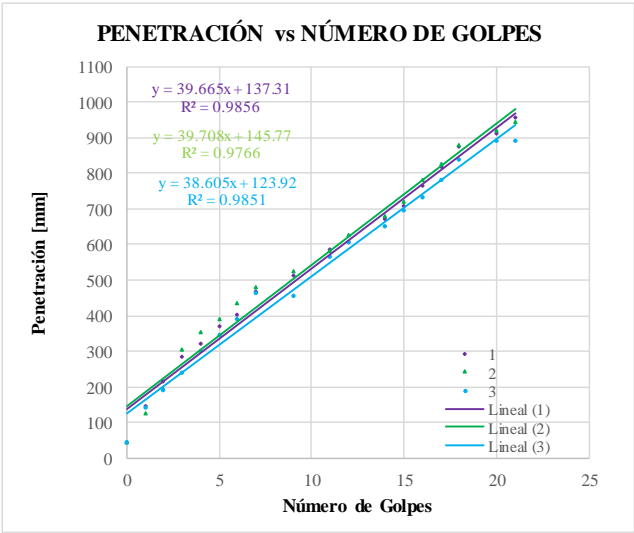
Tabla 110. Ensayo 12 Proctor Modificado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN								
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.								
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 12						
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 795920; 9875004						
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz						
Revisado por: Ing. Favio Portilla								
PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018								
TIPO DE PRUEBA: Proctor Modificado		MASA MARTILLO: 10 Lb						
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAIDA: 18 plgd						
VOLUMEN: 2124 cm ³		NÚMERO DE CAPAS: 5						
MASA: 16864 gr		GOLPE POR CAPAS: 56						
PRUEBA N°	1	2	3	4				
% Rango en aumento	0	1	2	3				
Suelo húmedo+molde (gr)	19520	19560	19530	19510				
Masa molde (gr)	15440	15440	15440	15440				
Masa suelo húmedo (gr)	4080	4120	4090	4070				
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1.921	1.940	1.926	1.916				
Masa del tarro (gr)	48.2	47.4	47.4	49.2	47.4	50.2	48.2	49.2
Masa suelo húm.+tarro (gr)	229.2	260	235.9	249.7	204.4	251.5	270.7	286.6
Masa suelo seco+tarro (gr)	181.5	202.9	185.1	195.4	161.8	196.8	209.4	222.8
Masa del agua (gr)	47.7	57.1	50.8	54.3	42.6	54.7	61.3	63.8
Masa suelo seco (gr)	181	212.6	188.5	200.5	157	201.3	222.5	237.4
Contenido de agua (%)	26.354	26.858	26.950	27.082	27.134	27.173	27.551	26.874
w (%) Promedio	26.606		27.016		27.154		27.213	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1.410		1.416		1.403		1.395	
Densidad Seca Máxima (y máx):		1.416 gr/cm ³						
Humedad Óptima:		27.00 %						
Gravedad de compactación		99.59 %						
GRÁFICO MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA								
<p>CURVA DE COMPACTACIÓN</p> 								

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 111. Ensayo 12 DCP



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 			
Proyecto:	Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Pillaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.		
Provincia:	Tungurahua	N° Muestra:	12
Cantón:	Pillaro	Coordenadas:	795920; 9875004
Parroquia:	Marcos Espinel	Ensayado por:	Patricia Monserrath Manzano Ortiz
		Revisado por:	Ing. Favio Portilla
ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03			
Número de Golpes	1	2	3
	Penetración acumulada	Penetración acumulada	Penetración acumulada
#	[mm]	[mm]	[mm]
0	45	45	45
1	147	125	140
2	214	195	190
3	286	305	240
4	320	355	300
5	368	390	345
6	402	435	390
7	468	480	465
9	512	525	455
11	585	580	564
12	605	625	605
14	672	680	650
15	708	721	695
16	763	780	734
17	816	825	780
18	875	880	840
20	910	920	890
21	955	945	890



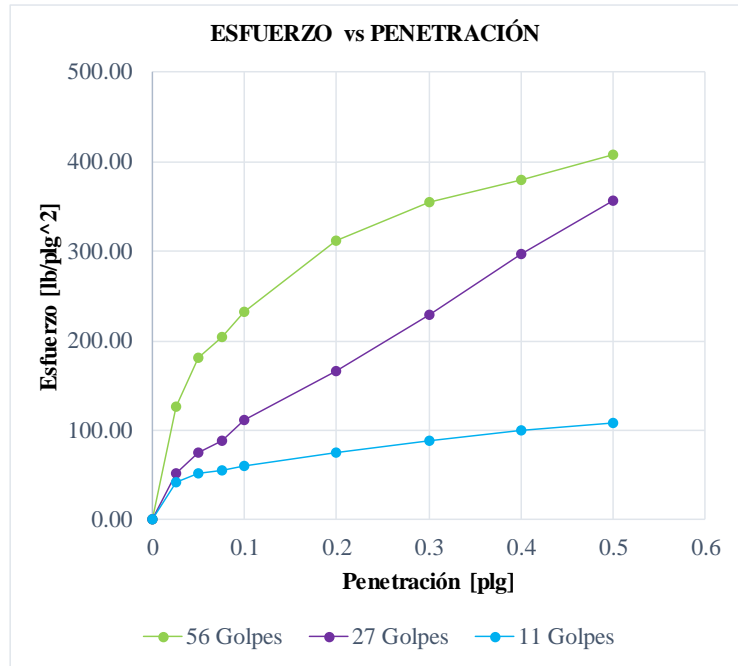
DN (mm/golpe)		DN (prom)
A	39.665	
B	39.708	
C	38.605	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 112. Ensayo 12 CBR

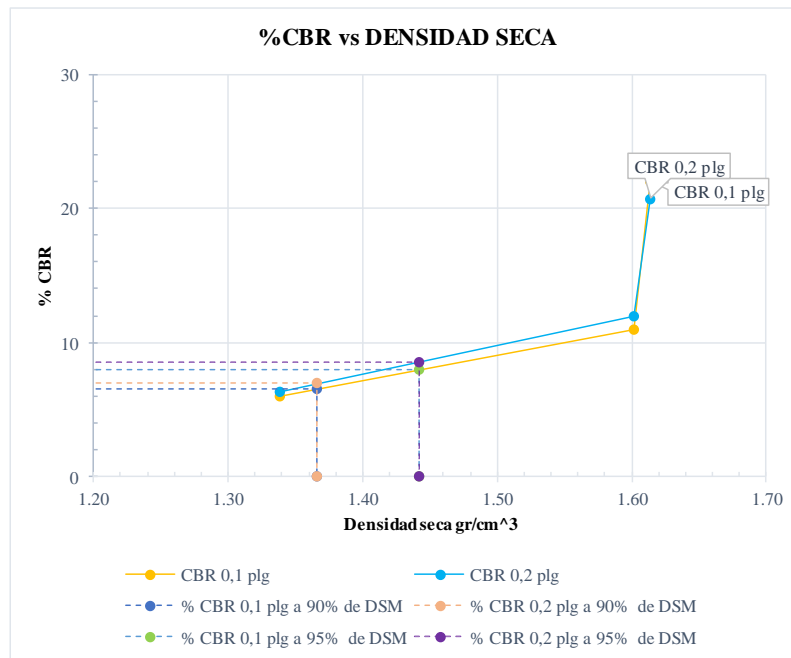
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL PROYECTO DE TITULACIÓN 						
Proyecto: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos del cantón Píllaro; parroquia Marcos Espinel; de la provincia de Tungurahua.						
Provincia: Tungurahua		N° Muestra: 12				
Cantón: Píllaro		Coordenadas: 795920; 9875004				
Parroquia: Marcos Espinel		Ensayado por: Patricia Monserrath Manzano Ortiz				
Revisado por: Ing. Favio Portilla						
CBR de laboratorio - AASHTO T 193-2013						
Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda + Molde [gr]	11353		10458		9706	
Masa del molde [gr]	6975		6273		5844	
Masa muestra húmeda [gr]	4378		4185		3862	
Volumen muestra [cm ³]	2288.66		2114.32		2347.17	
Peso unitario húmedo [gr/cm ³]	1.913		1.979		1.645	
Contenido de humedad	Base	Molde	Base	Molde	Base	Molde
Masa suelo húmedo + recip [gr]	89.5	70.9	112.1	97.5	117.8	120.7
Masa suelo seco + recip [gr]	79.8	65.0	96.6	85.5	102.3	103.9
Masa de agua [gr]	9.7	5.9	15.5	12.0	15.5	16.8
Masa del recip [gr]	30.3	30.2	33.4	31.9	33.4	31.9
Masa suelo seco [gr]	49.5	34.8	63.2	53.6	68.9	72.0
Contenido de humedad W%	19.60	16.95	24.53	22.39	22.50	23.33
W % promedio	18.27		23.46		22.91	
Peso unitario seco [gr/cm ³]	1.614		1.602		1.339	
Datos después de la saturación						
Muestra húmeda + molde [gr]	11512		10618		9954	
Masa del molde [gr]	6975		6273		5844	
Masa muestra húmeda [gr]	4537		4345		4110	
Masa de agua absorbida [gr]	159		160		248	
% de agua absorbida	3.5045		3.6824		6.0341	
Contenido de humedad	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa de suelo húmedo + tarro [gr]	106.6	104.9	113.6	109.7	113.5	104.5
Masa de suelo seco + tarro [gr]	92.1	89.9	97.7	94.3	92.5	88.1
Masa del agua [gr]	14.5	15.0	15.8	15.4	21.0	16.4
Masa del tarro [gr]	30.3	30.2	33.4	31.9	33.4	31.9
Masa suelo seco	61.8	59.7	64.3	62.4	59.1	56.2
Contenido de agua %	23.53	25.12	24.63	24.64	35.50	29.09
W % promedio	24.33		24.64		32.30	
Ensayo						
Molde N°	1		2		3	
Penetración [plg]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]	dial	Presión [lb/plg ²]
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	379.04	126.35	154.08	51.36	126.40	42.13
0.05	543.20	181.07	224.96	74.99	153.60	51.20
0.075	613.60	204.53	265.92	88.64	164.80	54.93
0.1	696.48	232.16	336.48	112.16	181.28	60.43
0.2	937.37	312.46	496.80	165.60	223.36	74.45
0.3	1062.60	354.20	687.36	229.12	263.68	87.89
0.4	1141.80	380.60	893.28	297.76	297.92	99.31
0.5	1225.95	408.65	1070.40	356.80	322.56	107.52

Gráfica esfuerzo vs Penetración



Porcentaje CBR (corregidos)

Molde N°	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión [lb/plg ²]	CBR 0,2 plg	Densidad seca
1	220	22.00	1.614	310	20.67	1.614
2	110	11.00	1.602	180	12.00	1.602
3	60	6.00	1.339	95	6.33	1.339
Densidad seca máxima gr/cm ³			1.518			
DSM		% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg		% CBR mayor	
90	1.366	6.5	7		7	
95	1.442	8	8.5		8.5	



El CBR para el diseño de pavimentos es **8.5** %

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

C. CONTEO DE TRÁFICO VEHICULAR

Tabla 113. Conteo tráfico vehicular 1

CONTEO TRÁFICO VEHICULAR										
FECHA: 01/02/2021										
VÍA: Marcos Espinel - Pilaro Centro										
HORA	AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	BUSES			CAMIONES		TOTAL	TOTAL HORA
				LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	2E LIVIANOS	2E MEDIANOS		
7h00 - 7h15	1	2	1	1	1	0	1	0	7	31
7h15 - 7h30	2	3	0	0	0	0	0	0	5	
7h30 - 7h45	1	2	2	1	2	0	2	1	11	
7h45 - 8h00	3	2	0	1	1	0	1	0	8	
8h00 - 8h15	1	1	0	0	1	0	0	0	3	25
8h15 - 8h30	1	2	1	2	0	0	1	0	7	
8h30 - 8h45	1	1	0	1	0	0	0	1	4	
8h45 - 9h00	3	3	1	1	2	0	1	0	11	
9h00 - 9h15	1	2	0	0	1	0	0	0	4	22
9h15 - 9h30	2	2	0	1	1	0	1	2	9	
9h30 - 9h45	1	0	2	2	0	0	0	0	5	
9h45 - 10h00	1	0	0	1	0	0	1	1	4	
10h00 - 10h15	2	3	1	0	0	0	1	1	8	25
10h15 - 10h30	1	1	0	1	1	0	2	0	6	
10h30 - 10h45	2	0	1	0	0	0	0	0	3	
10h45 - 11h00	2	2	1	1	1	0	0	1	8	
11h00 - 11h15	1	1	1	1	1	0	1	0	6	27
11h15 - 11h30	3	1	0	2	0	0	0	0	6	
11h30 - 11h45	1	1	0	1	0	0	1	1	5	
11h45 - 12h00	3	3	1	0	1	0	2	0	10	
12h00 - 12h15	1	2	0	0	0	0	1	0	4	24
12h15 - 12h30	2	3	1	1	2	0	0	1	10	
12h30 - 12h45	2	1	0	0	0	0	1	0	4	
12h45 - 13h00	1	1	0	2	1	0	0	1	6	
13h00 - 13h15	1	1	1	1	0	0	1	1	6	19
13h15 - 13h30	0	3	0	1	0	0	0	0	4	
13h30 - 13h45	2	1	0	0	1	0	1	1	6	
13h45 - 14h00	1	0	0	1	0	0	0	1	3	
14h00 - 14h15	1	2	0	1	1	0	0	1	6	25
14h15 - 14h30	3	1	0	1	1	0	2	0	8	
14h30 - 14h45	2	1	1	0	0	0	1	0	5	
14h45 - 15h00	1	2	0	0	1	0	1	1	6	
15h00 - 15h15	1	1	1	1	1	0	3	0	8	24
15h15 - 15h30	2	1	1	0	1	0	0	1	6	
15h30 - 15h45	2	1	0	1	0	0	1	0	5	
15h45 - 16h00	1	3	0	0	0	0	0	1	5	
16h00 - 16h15	1	2	0	1	1	0	1	1	7	25
16h15 - 16h30	3	0	1	1	0	0	0	0	5	
16h30 - 16h45	2	2	0	0	1	0	2	1	8	
16h45 - 17h00	1	1	1	2	0	0	0	0	5	
17h00 - 17h15	1	2	1	0	0	0	1	1	6	22
17h15 - 17h30	2	0	1	1	1	0	1	1	7	
17h30 - 17h45	1	1	0	0	0	0	0	0	2	
17h45 - 18h00	2	2	0	1	1	0	0	1	7	
18h00 - 18h15	1	1	0	1	1	0	0	0	4	19
18h15 - 18h30	0	1	0	0	1	0	0	1	3	
18h30 - 18h45	1	3	0	2	0	0	1	0	7	
18h45 - 19h00	2	0	1	1	0	0	0	1	5	
	73	71	22	37	28	0	33	24	288	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 114. Conteo tráfico vehicular 2

CONTEO TRÁFICO VEHICULAR										
FECHA: 02/02/2021										
VÍA: Marcos Espinel - Píllaro Centro										
HORA	AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	BUSES			CAMIONES		TOTAL	TOTAL HORA
				LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	2E LIVIANOS	2E MEDIANOS		
7h00 - 7h15	2	3	1	2	1	0	1	1	11	33
7h15 - 7h30	3	0	2	1	0	0	2	1	9	
7h30 - 7h45	2	2	0	0	1	0	2	0	7	
7h45 - 8h00	1	1	1	1	0	0	1	1	6	
8h00 - 8h15	1	2	0	0	0	0	2	0	5	23
8h15 - 8h30	1	1	1	1	0	0	1	0	5	
8h30 - 8h45	2	1	0	0	2	0	0	1	6	
8h45 - 9h00	2	2	1	1	0	0	1	0	7	
9h00 - 9h15	1	1	1	2	1	0	1	1	8	20
9h15 - 9h30	1	1	1	1	0	0	0	0	4	
9h30 - 9h45	1	0	0	0	1	0	2	0	4	
9h45 - 10h00	0	1	0	0	1	0	1	1	4	
10h00 - 10h15	1	2	0	2	0	0	1	2	8	23
10h15 - 10h30	0	1	2	1	2	0	1	2	9	
10h30 - 10h45	1	1	0	0		0	0	1	3	
10h45 - 11h00	0	0	0	0	1	0	1	1	3	
11h00 - 11h15	0	0	0	0	1	0	1	0	2	23
11h15 - 11h30	2	1	1	0	1	0	1	0	6	
11h30 - 11h45	0	1	0	2	1	0	2	1	7	
11h45 - 12h00	3	2	1	1	0	0	1	0	8	
12h00 - 12h15	1	2	0	3	1	0	0	1	8	23
12h15 - 12h30	1	1	0	1	1	0	1	0	5	
12h30 - 12h45	0	1	1	0	2	0	1	1	6	
12h45 - 13h00	2	0	1	0	0	0	1	0	4	
13h00 - 13h15	2	1	1	1	1	0	1	1	8	22
13h15 - 13h30	1	2	0	0	0	0	0	0	3	
13h30 - 13h45	1	1	0	1	1	0	2	1	7	
13h45 - 14h00	0	0	1	0	1	0	1	1	4	
14h00 - 14h15	1	2	0	1	1	0	1	0	6	22
14h15 - 14h30	2	1	1	1	2	0	3	1	11	
14h30 - 14h45	0	1	0	0	1	0	0	0	2	
14h45 - 15h00	1	0	0	0	1	0	1	0	3	
15h00 - 15h15	1	1	0	0	0	0	1	0	3	21
15h15 - 15h30	1	2	0	0	1	0	0	1	5	
15h30 - 15h45	2	1	1	2	1	0	1	0	8	
15h45 - 16h00	0	1	0	1	0	0	2	1	5	
16h00 - 16h15	1	0	1	0	1	0	1	2	6	26
16h15 - 16h30	2	2	2	1	1	0	1	1	10	
16h30 - 16h45	1	0	0	2	1	0	0	0	4	
16h45 - 17h00	1	1	0	1	2	0	0	1	6	
17h00 - 17h15	0	1	1	0	1	0	2	1	6	19
17h15 - 17h30	1	0	1	1	2	0	1	2	8	
17h30 - 17h45	1	2	0	0	1	0	1	0	5	
17h45 - 18h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18h00 - 18h15	1	2	0	1	2	0	0	0	6	24
18h15 - 18h30	1	2	1	0	1	0	1	0	6	
18h30 - 18h45	2	1	0	1	1	0	2	1	8	
18h45 - 19h00	0	1	0	1	1	0	0	1	4	
	51	52	24	34	41	0	47	30	279	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 115. Conteo tráfico vehicular 3

CONTEO TRÁFICO VEHICULAR										
FECHA: 04/02/20221										
VÍA: Marcos Espinel - Pillaro Centro										
HORA	AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	BUSES			CAMIONES		TOTAL	TOTAL HORA
				LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	2E LIVIANOS	2E MEDIANOS		
7h00 - 7h15	1	2	1	0	0	0	1	1	6	26
7h15 - 7h30	0	3	1	2	0	0	2	0	8	
7h30 - 7h45	1	2	0	0	1	0	0	0	4	
7h45 - 8h00	2	1	0	1	1	0	1	2	8	
8h00 - 8h15	1	2	0	0	0	0	0	1	4	24
8h15 - 8h30	2	1	2	0	0	0	1	0	6	
8h30 - 8h45	3	1	0	1	2	0	1	2	10	
8h45 - 9h00	2	0	1	0	0	0	0	1	4	
9h00 - 9h15	0	1	0	0	1	0	2	1	5	19
9h15 - 9h30	2	1	1	1	0	0	1	1	7	
9h30 - 9h45	1	2	0	0	0	0	0	1	4	
9h45 - 10h00	1	0	0	1	1	0	0	0	3	
10h00 - 10h15	1	0	0	0	0	0	1	1	3	22
10h15 - 10h30	2	1	1	1	0	0	1	0	6	
10h30 - 10h45	1	4	0	0	1	0	0	0	6	
10h45 - 11h00	3	1	0	2	0	0	0	1	7	
11h00 - 11h15	2	1	0	1	2	0	2	2	10	20
11h15 - 11h30	1	0	0	1	0	0	0	0	2	
11h30 - 11h45	1	2	1	0	0	0	1	1	6	
11h45 - 12h00	0	1	0	0	1	0	0	0	2	
12h00 - 12h15	2	1	1	1	0	0	0	1	6	23
12h15 - 12h30	3	2	1	0	0	0	1	0	7	
12h30 - 12h45	1	2	0	1	1	0	0	1	6	
12h45 - 13h00	1	1	0	0	0	0	1	1	4	
13h00 - 13h15	0	1	1	1	1	0	2	0	6	23
13h15 - 13h30	2	2	0	0	0	0	1	0	5	
13h30 - 13h45	1	1	1	2	1	0	0	1	7	
13h45 - 14h00	1	3	0	1	0	0	0	0	5	
14h00 - 14h15	1	1	1	0	0	0	0	1	4	23
14h15 - 14h30	2	2	0	0	1	0	1	2	8	
14h30 - 14h45	2	0	0	1	2	0	0	1	6	
14h45 - 15h00	2	1	1	0	0	0	1	0	5	
15h00 - 15h15	1	1	0	1	0	0	1	0	4	23
15h15 - 15h30	1	1	0	0	1	0	1	2	6	
15h30 - 15h45	2	2	1	1	0	0	2	1	9	
15h45 - 16h00	0	1	0	1	2	0	0	0	4	
16h00 - 16h15	1	1	0	0	1	0	0	0	3	20
16h15 - 16h30	1	2	0	0	1	0	1	1	6	
16h30 - 16h45	2	2	0	1	0	0	1	1	7	
16h45 - 17h00	1	0	1	0	1	0	1	0	4	
17h00 - 17h15	1	1	0	0	2	0	0	0	4	20
17h15 - 17h30	2	2	1	1	1	0	0	0	7	
17h30 - 17h45	2	1	0	1	0	0	1	1	6	
17h45 - 18h00	1	1	0	0	0	0	1		3	
18h00 - 18h15	0	0	0	1	1	0	0	1	3	20
18h15 - 18h30	1	2	1	0	0	0	1	0	5	
18h30 - 18h45	1	2	0	1	1	0	1	1	7	
18h45 - 19h00	2	1	0	1	0	0	0	1	5	
	64	63	18	27	27	0	32	32	263	

Autor: Patricia Monserrath Manzano Ortiz

Tabla 116. Conteo tráfico vehicular 4

CONTEO TRÁFICO VEHICULAR										
FECHA: 05/02/2021										
VÍA: Marcos Espinel - Pillaro Centro										
HORA	AUTOMOVILES	CAMIONETAS	MOTOS	BUSES			CAMIONES		TOTAL	TOTAL HORA
				LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	2E LIVIANOS	2E MEDIANOS		
7h00 - 7h15	1	2	0	0	0	0	1	1	5	27
7h15 - 7h30	3	1	0	1	1	0	1	0	7	
7h30 - 7h45	2	1	1	1	0	0	2	0	7	
7h45 - 8h00	1	3	1	1	1	0	0	1	8	
8h00 - 8h15	1	1	1	0	1	0	1	0	5	23
8h15 - 8h30	2	1	0	0	1	0	2	1	7	
8h30 - 8h45	0	2	0	1	1	0	0	1	5	
8h45 - 9h00	2	1	1	1	0	0	1	0	6	
9h00 - 9h15	2	2	0	0	0	0	1	0	5	20
9h15 - 9h30	1	2	1	1	1	0	1	0	7	
9h30 - 9h45	2	1	1	0	0	0	0	1	5	
9h45 - 10h00	3	0	0	0	0	0	0	0	3	
10h00 - 10h15	2	0	0	1	1	0	2	0	6	23
10h15 - 10h30	3	1	1	0	1	0	0	1	7	
10h30 - 10h45	2	2	0	0	0	0	1	0	5	
10h45 - 11h00	1	3	0	1	0	0	0	0	5	
11h00 - 11h15	2	1	1	0	1	0	1	0	6	21
11h15 - 11h30	1	2	0	0	0	0	0	0	3	
11h30 - 11h45	2	1	0	1	0	0	1	0	5	
11h45 - 12h00	2	1	1	0	1	0	1	1	7	
12h00 - 12h15	1	2	0	0	1	0	1	1	6	23
12h15 - 12h30	1	2	0	1	1	0	1	0	6	
12h30 - 12h45	2	1	1	1	1	0	0	1	7	
12h45 - 13h00	2	2	0	0	0	0	0	0	4	
13h00 - 13h15	1	2	0	1	0	0	0	1	5	22
13h15 - 13h30	2	1	1	1	0	0	2	0	7	
13h30 - 13h45	3	0	1	0	1	0	1	0	6	
13h45 - 14h00	2	1	0	0	1	0	0	0	4	
14h00 - 14h15	1	1	0	1	1	0	1	0	5	22
14h15 - 14h30	3	1	0	0	0	0	0	1	5	
14h30 - 14h45	2	2	1	0	1	0	2	0	8	
14h45 - 15h00	2	0	0	1	0	0	1	0	4	
15h00 - 15h15	2	2	0	0	1	0	0	0	5	22
15h15 - 15h30	1	1	1	0	0	0	0	1	4	
15h30 - 15h45	1	3	0	1	1	0	1	1	8	
15h45 - 16h00	2	1	1	0	0	0	1	0	5	
16h00 - 16h15	3	1	0	1	1	0	1	1	8	25
16h15 - 16h30	1	2	0	1	1	0	0	0	5	
16h30 - 16h45	1	3	1	0	0	0	1	1	7	
16h45 - 17h00	1	4	0	0	0	0	0	0	5	
17h00 - 17h15	1	1	0	0	1	0	0	0	3	25
17h15 - 17h30	3	2	1	1	0	0	1	0	8	
17h30 - 17h45	4	3	0	0	1	0	0	1	9	
17h45 - 18h00	1	1	1	1	0	0	1	0	5	
18h00 - 18h15	2	2	0	0	0	0	1	0	5	20
18h15 - 18h30	1	2	0	0	1	0	0	1	5	
18h30 - 18h45	2	2	0	1	0	0	0	0	5	
18h45 - 19h00	1	2	1	0	1	0	0	0	5	
	84	75	19	21	25	0	32	17	273	