



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

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

**TEMA:**

---

---

**“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE  
Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS DE LAS PARROQUIAS: CHIQUICHA,  
EL ROSARIO, SALASACA, GARCÍA MORENO Y BENÍTEZ DEL  
CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**

---

---

**AUTOR:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**TUTORA:** Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS DE LAS PARROQUIAS: CHIQUICHA, EL ROSARIO, SALASACA, GARCÍA MORENO Y BENÍTEZ DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. Luis Adrián Cevallos Núñez, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0504367350, 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 autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

---

**Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado**

**TUTORA**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Luis Adrián Cevallos Núñez**, con C.I. 0504367350 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS DE LAS PARROQUIAS: CHIQUICHA, EL ROSARIO, SALASACA, GARCÍA MORENO Y BENÍTEZ DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cevallos', with several horizontal and diagonal strokes crossing it.

---

**Luis Adrián Cevallos Núñez**

**C.I: 0504367350**

**AUTOR**

## **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, Septiembre 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cevallos', with a large, stylized flourish extending to the right. The signature is written over a light-colored, textured background.

---

**Luis Adrián Cevallos Nùñez**

**C.I: 0504367350**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Luis Adrián Cevallos Núñez de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LOS SUELOS DE LAS PARROQUIAS: CHIQUICHA, EL ROSARIO, SALASACA, GARCÍA MORENO Y BENÍTEZ DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

---

**Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino**  
**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por fortalecerme cada día en todo momento y en todo lugar y brindarme la sabiduría necesaria para afrontar las dificultades y adversidades que se presentaron a lo largo de toda mi vida.

A mis Sres. Padres Luis e Isabel por ser los pilares fundamentales en mi vida y brindarme su apoyo, comprensión, compañía, confianza y amor incondicional para lograr cada una de las metas que me he trazado, enseñándome que con sacrificio y esfuerzo los sueños se hacen realidad.

A mi hermano Edgar y a mi prima Mary por ser las personas que siempre han estado ahí para ayudarnos y apoyarnos en todo lo que hemos necesitado.

A mi abuelita Rosario y a mi tía Ana quienes siempre estuvieron dispuestas a escucharme, ayudarme y velar por mí durante este arduo proceso para convertirme en un profesional.

A mi hijo, Jostin Aldair quien es el amor de mi vida, mi motivación, inspiración y felicidad.

A todas y cada una de las personas que contribuyeron de una u otra manera a la culminación exitosa de mi carrera universitaria.

*Luis Adrián Cevallos Núñez*

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento franco y sincero a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por ser la sede de todos los conocimientos adquiridos durante estos años de formación académica.

Mi profundo agradecimiento al Ing. Favio Portilla, quien con su conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo del tema de este trabajo.

Un especial agradecimiento a la Ing. Lorena Pérez, tutora de tesis, por toda la colaboración guía y asesoramiento brindado para que mi trabajo experimental culmine satisfactoriamente.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil por brindarme sus conocimientos, valores y enseñanzas para formarme como ser humano y profesional.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a todos mis amigos con quienes he compartido todo este tiempo de carrera universitaria gracias por brindarme su cariño de amistad de una manera desinteresada por toda su ayuda y buena voluntad.

¡A todos ellos mis más sinceros agradecimientos!

*Luis Adrián Cevallos Núñez*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	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. Suelos .....	4
1.1.3.1.1. Tipos de suelos .....	4
1.1.3.1.2. Tamaño de las partículas .....	5
1.1.3.1.3. Forma de las partículas .....	6
1.1.3.1.4. Estructura.....	8
1.1.3.2. Relaciones fundamentales de los suelos .....	9
1.1.3.2.1. Contenido de Humedad .....	10
1.1.3.2.2. Relación de vacíos .....	11
1.1.3.2.3. Porosidad .....	12
1.1.3.2.4. Grado de saturación del agua .....	12
1.1.3.2.5. Grado de saturación del aire .....	12
1.1.3.3. Propiedades índice .....	13
1.1.3.3.1. Granulometría.....	13
1.1.3.3.2. Límite líquido (LL) .....	16
1.1.3.3.3. Límite plástico (LP).....	18
1.1.3.3.4. Índice plástico (Ip).....	18



1.1.3.3.5. Gravedad específica (Gs) .....	19
1.1.3.3.6. Densidad de campo .....	20
1.1.3.4. Propiedades mecánicas.....	21
1.1.3.4.1. Compactación .....	21
1.1.3.4.2. Relación de Soporte de California (CBR).....	24
1.1.3.4.3. Penetrómetro dinámico de cono (DCP).....	25
1.1.3.4.4. Clasificación de suelos .....	27
1.1.3.4.5. Clasificación AASHTO.....	27
1.1.3.4.6. Clasificación SUCS .....	31
1.1.3.5. Definición de pavimento .....	33
1.1.3.6. Pavimentos flexibles .....	34
1.1.3.7. Capas que conforman la estructura de un pavimento flexible .....	34
1.1.3.7.1. Subrasante .....	34
1.1.3.7.2. Subbase.....	35
1.1.3.7.3. Base .....	36
1.1.3.7.4. Capa de rodadura.....	38
1.1.3.8. Factores a considerar en el diseño de pavimentos flexibles.....	38
1.1.3.8.1. Tránsito.....	38
1.1.3.8.2. Terreno de fundación.....	42
1.1.3.8.3. El clima y condiciones ambientales .....	42
1.1.3.8.4. Los materiales utilizados .....	42
1.1.3.9. Diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93.....	43
1.1.3.9.1. Periodo de diseño .....	43
1.1.3.9.2. Tránsito en ejes equivalentes acumulados $W_{18}$ .....	44
1.1.3.9.3. Confiabilidad (R).....	44
1.1.3.9.4. Desviación estándar normal ( $Z_r$ ).....	44
1.1.3.9.5. Desviación estándar global ( $S_o$ ).....	45
1.1.3.9.6. Índice de serviciabilidad (PSI) .....	45
1.1.3.9.7. Módulo de resiliencia de la subrasante ( $M_r$ ).....	47
1.1.3.9.8. Determinación de espesores por capa.....	47
1.1.3.9.9. Coeficientes estructurales o de capa ( $a_1, a_2, a_3$ ) .....	49
1.1.3.9.10. Coeficientes de drenaje ( $m_2, m_3$ ).....	51
1.1.3.10. Conceptos estadísticos .....	52
1.1.3.10.1. Media aritmética.....	52

1.1.3.10.2. Varianza.....	52
1.1.3.10.3. Desviación estándar o desviación típica.....	53
1.1.3.10.4. Covarianza.....	53
1.1.3.10.5. Regresión.....	53
1.1.3.10.6. Correlación.....	54
1.1.3.10.7. Coeficiente de correlación (r).....	54
1.1.3.10.8. Coeficiente de determinación ( $r^2$ ).....	55
1.1.3.10.9. Diagramas de dispersión.....	56
1.1.3.10.10. Principio de mínimos cuadrados.....	56
1.1.3.10.11. Correlación simple.....	57
1.1.3.10.12. Correlación múltiple.....	61
1.1.4. Hipótesis.....	66
1.2. Objetivos.....	67
1.2.1. Objetivo General.....	67
1.2.2. Objetivos Específicos.....	67
CAPÍTULO II.....	68
2.1. Materiales y equipos.....	68
2.2. Métodos.....	70
2.2.1. Nivel o tipo de investigación.....	70
2.3. Población y muestra.....	71
2.4. Plan de Recolección de Datos.....	74
CAPÍTULO III.....	89
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	89
3.1.1. Ensayos de campo.....	89
3.1.2. Ensayos de laboratorio.....	91
3.1.3. Nomenclatura.....	96
3.2. Correlaciones.....	99
3.3. Estudio de tráfico.....	125
3.3.1.1. Cálculo del tránsito existente (TPDA existente).....	126
3.3.1.2. Cálculo del tránsito generado (Tg).....	127
3.3.1.3. Cálculo del tránsito atraído (Tat).....	128
3.3.1.4. Cálculo del tránsito desarrollado (Td).....	129
3.3.1.5. Cálculo del tránsito actual (Ta).....	130
3.3.1.6. Cálculo del tránsito futuro (Tf).....	131

3.3.1.7. Clasificación de la carretera en función del tráfico proyectado.....	132
3.3.1.8. Cálculo del número de ejes equivalentes .....	133
3.4. Diseño estructural del pavimento flexible con el CBR de laboratorio.....	136
3.5. Diseño estructural del pavimento flexible con el CBR correlacionado .....	147
3.6. Verificación de la hipótesis .....	150
CAPÍTULO IV.....	151
4.1. Conclusiones .....	151
4.2. Recomendaciones .....	154
Bibliografía.....	156
Anexos.....	160
Anexo A.- Ubicación de las muestras en estudio .....	160
Anexo B.- Estudio de suelos.....	160
Anexo C.- Conteo vehicular .....	160
Anexo D.- Pesos y dimensiones de vehículos .....	160
Anexo E.- Archivo fotográfico .....	160

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo.....	6
Tabla 2. Rangos de gravedad específica de algunos suelos .....	19
Tabla 3. Especificaciones del ensayo Proctor Estándar .....	23
Tabla 4. Especificaciones del ensayo Proctor Modificado .....	23
Tabla 5. Valores de penetración y carga unitaria patrón.....	24
Tabla 6. Clasificación del suelo en función del CBR .....	25
Tabla 7. Clasificación del suelo por el método AASHTO.....	28
Tabla 8. Factores a considerar de acuerdo al sistema SUCS .....	31
Tabla 9. Símbolos de grupo SUCS .....	31
Tabla 10. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.....	32
Tabla 11. Granulometría para subbases .....	36
Tabla 12. Granulométrica para bases .....	37
Tabla 13. Periodos de diseño en función del tipo de carretera.....	43
Tabla 14. Niveles de confiabilidad en función de la clasificación de las carreteras ..	44
Tabla 15. Valores de la desviación estándar normal en función de la confiabilidad .	45
Tabla 16. Evaluación del índice de serviciabilidad.....	46
Tabla 17. Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular.....	48
Tabla 18. Calidad del drenaje .....	51
Tabla 19. Valores de coeficientes de drenaje.....	51
Tabla 20. Escalas de valores de correlación.....	55
Tabla 21. Formato para correlaciones simples de tipo lineal.....	58
Tabla 22. Formato para correlaciones simples de tipo exponencial .....	59
Tabla 23. Formato para correlaciones simples de tipo potencial .....	60
Tabla 24. Formato para correlaciones simples de tipo logarítmico .....	61
Tabla 25. Formato para correlaciones múltiples de tipo lineal .....	62
Tabla 26. Formato para correlaciones múltiples de tipo exponencial.....	64
Tabla 27. Formato para correlaciones múltiples de tipo potencial .....	65
Tabla 28. Formato para correlaciones múltiples de tipo logarítmico.....	66
Tabla 29. Materiales y equipos .....	68
Tabla 30. Ubicación de los puntos de estudio.....	74

Tabla 31. Plan de recolección de datos .....	74
Tabla 32. Resultados del ensayo de penetración DCP .....	89
Tabla 33. Resultados del ensayo de densidad de campo.....	90
Tabla 34. Resultados del ensayo de contenido de humedad .....	91
Tabla 35. Resultados del ensayo de granulometría y clasificación de suelos .....	92
Tabla 36. Resultado del ensayo de límites de Atterberg.....	93
Tabla 37. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos.....	93
Tabla 38. Resultados del ensayo de compactación .....	94
Tabla 39. Resultados del ensayo CBR .....	95
Tabla 40. Nomenclatura de las variables que se utilizaron en los ensayos.....	96
Tabla 41. Resumen de las propiedades de los suelos en estudio .....	97
Tabla 42. Resumen de las propiedades de los suelos en estudio .....	98
Tabla 43. Resumen de las ecuaciones de correlación .....	99
Tabla 44. Volumen horario de máxima demanda .....	125
Tabla 45. Tránsito generado.....	127
Tabla 46. Tránsito atraído .....	128
Tabla 47. Tránsito desarrollado.....	129
Tabla 48. Tránsito actual.....	130
Tabla 49. Índice de crecimiento vehicular .....	131
Tabla 50. Clasificación de la carretera en función de tráfico proyectado .....	132
Tabla 51. Tráfico futuro .....	133
Tabla 52. Factores de daño de acuerdo al tipo de vehículo .....	134
Tabla 53. Factores de distribución por carril .....	134
Tabla 54. Factores de distribución por dirección .....	135
Tabla 55. Cálculo del número de ejes equivalentes .....	136
Tabla 56. Espesores mínimos en función del número de ejes equivalentes .....	137
Tabla 57. Nivel de confiabilidad del proyecto .....	137
Tabla 58. Desviación estándar normal del proyecto .....	138
Tabla 59. Percentiles para determinar el CBR de la subrasante .....	139
Tabla 60. Valores de CBR obtenidos por medio de ensayos .....	139
Tabla 61. Coeficientes de drenaje empleados en el diseño.....	144
Tabla 62. Datos para el diseño estructural del pavimento flexible .....	144
Tabla 63. Cálculo de los espesores del pavimento con el CBR de laboratorio.....	146

Tabla 64. Valores de CBR obtenido por medio de correlaciones .....	148
Tabla 65. Cálculo de los espsores del pavimento con el CBR correlacionado .....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forma de las partículas de suelos granulares.....	7
Figura 2. Forma de las partículas de suelos finos .....	7
Figura 3. Estructura granular.....	8
Figura 4. Estructura apanalada.....	8
Figura 5. Estructura floculenta.....	9
Figura 6. Fases de la muestra de un suelo.....	10
Figura 7. Curva granulométrica de un suelo .....	13
Figura 8. Curva granulométrica, definición D10, D30 y D60 .....	14
Figura 9. Límites de Atterberg.....	16
Figura 10. Copa de Casagrande .....	17
Figura 11. Curva de fluidez para la determinación del límite líquido .....	17
Figura 12. Forma de amasar la muestra de suelo.....	18
Figura 13. Determinación del peso unitario con el método del cono de arena .....	20
Figura 14. Curva de compactación.....	21
Figura 15. Esquema del cono dinámico de penetración.....	26
Figura 16. Curva DCP.....	27
Figura 17. Carta de plasticidad para el sistema AASHTO.....	29
Figura 18. Ábacos para la determinación gráfica del índice de grupo.....	30
Figura 19. Carta de plasticidad para el sistema SUCS.....	33
Figura 20. Sección transversal típica de un pavimento flexible.....	34
Figura 21. Relación entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual .....	40
Figura 22. Espesores de las capas de un pavimento flexible .....	48
Figura 23. Nomograma para estimar el coeficiente de la carpeta asfáltica "a <sub>1</sub> " .....	49
Figura 24. Ábaco para estimar el coeficiente de la carpeta asfáltica "a <sub>1</sub> " .....	49
Figura 25. Ábaco para estimar el coeficiente de la base granular "a <sub>2</sub> " .....	50
Figura 26. Ábaco para estimar el coeficiente de la subbase granular "a <sub>3</sub> " .....	50
Figura 27. Diagrama de dispersión .....	56
Figura 28. Desviaciones de valores observados y ajustados.....	57
Figura 29. Mapa de ubicación de las parroquias objeto de estudio .....	72
Figura 30. Mapa de ubicación de los puntos objeto de estudio .....	73

Figura 31. Pozo a cielo abierto.....	76
Figura 32. Densidad de campo.....	77
Figura 33. Ensayo DCP.....	78
Figura 34. Gravedad específica de sólidos.....	79
Figura 35. Contenido de humedad .....	80
Figura 36. Límite líquido .....	82
Figura 37. Límite plástico .....	83
Figura 38. Análisis granulométrico.....	84
Figura 39. Ensayo de compactación Proctor Modificado .....	85
Figura 40. Proceso del ensayo CBR, antes de la inmersión.....	87
Figura 41. Proceso del ensayo CBR, después de la inmersión .....	87
Figura 42. Correlación entre límite plástico y límite líquido.....	100
Figura 43. Correlación entre densidad seca máxima y límite líquido.....	101
Figura 44. Correlación entre densidad seca máxima y humedad natural.....	102
Figura 45. Correlación entre densidad seca máxima vs. límite líquido – límite plástico .....	103
Figura 46. Correlación entre humedad óptima y límite líquido.....	104
Figura 47. Correlación entre humedad óptima y humedad natural.....	105
Figura 48. Correlación entre humedad óptima vs. límite líquido - límite plástico ..	106
Figura 49. Correlación entre humedad óptima vs. humedad natural - límite plástico .....	107
Figura 50. Correlación entre el grado de compactación y la relación de vacíos.....	108
Figura 51. Correlación entre grado de compactación vs. relación de vacíos densidad húmeda in situ .....	109
Figura 52. Correlación entre el límite líquido y la humedad natural .....	110
Figura 53. Correlación entre gravedad específica vs. límite líquido - límite plástico .....	111
Figura 54. Correlación entre densidad seca in situ vs. contenido de finos y humedad óptima.....	112
Figura 55. Correlación entre densidad seca máxima vs. índice DCP - límite plástico .....	113
Figura 56. Correlación entre densidad seca máxima vs. índice DCP – humedad natural.....	114
Figura 57. Correlación entre humedad óptima vs. índice DCP – humedad natural.	115
Figura 58. Correlación entre humedad óptima vs. límite líquido y DCP.....	116



Figura 59. Correlación entre límite líquido vs. índice DCP – humedad natural.....	117
Figura 60. Correlación entre humedad óptima vs. índice DCP – humedad natural.	118
Figura 61. Correlación entre el índice DCP y el coeficiente de uniformidad.....	119
Figura 62. Correlación entre el índice DCP y la humedad natural .....	120
Figura 63. Correlación entre CBR vs. coeficiente de uniformidad – contenido de arena .....	121
Figura 64. Correlación entre el CBR y la densidad húmeda in situ.....	122
Figura 65. Correlación entre el CBR y la humedad óptima.....	123
Figura 66. Correlación entre el CBR y el índice DCP .....	124
Figura 67. Interpretación gráfica de la composición vehicular.....	125
Figura 68. CBR de diseño correspondiente al percentil del 75% .....	140
Figura 69. Nomograma para estimar el coeficiente de la carpeta asfáltica del proyecto .....	141
Figura 70. Nomograma para estimar el coeficiente de la base del proyecto.....	142
Figura 71. Nomograma para estimar el coeficiente de la subbase del proyecto .....	143
Figura 72. Cálculo del “SN” con el CBR de laboratorio .....	145
Figura 73. Cálculo del “SN” con el CBR correlacionado .....	145
Figura 74. Espesores del pavimento con el CBR de laboratorio.....	147
Figura 75. Determinación del CBR de diseño correspondiente al percentil del 75% .....	148
Figura 76. Espesores del pavimento con el CBR correlacionado .....	150

## RESUMEN

Para el presente estudio de investigación se recogieron 12 muestras de suelo de subrasante de diferentes vías del cantón San Pedro de Pelileo, efectuando in situ los ensayos correspondientes a: Densidad de campo e índice de penetración DCP y en laboratorio los ensayos de: Contenido de humedad, Gravedad específica, Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR para determinar sus propiedades índice y mecánicas.

En base a los datos obtenidos, se realizó un análisis estadístico de regresión entre 2 y 3 variables obteniendo como resultado 25 ecuaciones de correlaciones con coeficientes de confiabilidad relativamente buenos que varían entre el 63 y el 98 por ciento. Las diferentes ecuaciones propuestas servirán de soporte para verificar y contrastar los resultados obtenidos mediante ensayos, también servirán como una base para el diseño preliminar de la estructura del pavimento.

Finalmente se realizó una comparación entre dos diseños de pavimentos flexibles basados en los valores del CBR de laboratorio y del CBR correlacionado, consiguiendo como resultados los mismos espesores de la estructura del pavimento en los dos diseños, debido a que presentan una variación mínima entre los dos valores. Los espesores propuestos son: Capa de subbase = 15 cm, capa de base = 10 cm y carpeta asfáltica = 5cm.

**Palabras claves:** Suelos, Correlación experimental, DCP, CBR, Pavimento flexible.

## ABSTRACT

For the present research study, 12 subgrade soil samples were collected from different roads of the San Pedro de Pelileo canton, carrying out in situ tests corresponding to: Field density and DCP penetration index and in the laboratory the tests of: Moisture content , Specific Gravity, Granulometry, Atterberg Limits, Modified Proctor and CBR to determine their index and mechanical properties.

Based on the data obtained, a statistical regression analysis was performed between 2 and 3 variables, obtaining as a result 25 correlation equations with relatively good reliability coefficients that vary between 63 and 98 percent. The different equations proposed will serve as support to verify and contrast the results obtained through tests, they will also serve as a basis for the preliminary design of the pavement structure.

Finally, a comparison was made between two flexible pavement designs based on the values of the laboratory CBR and the correlated CBR, obtaining as results the same thicknesses of the pavement structure in the two designs, due to the fact that they present a minimal variation between the two. values. The proposed thicknesses are: sub-base layer = 15 cm, base layer = 10 cm and asphalt layer = 5 cm.

**Keywords:** Soils, Experimental correlation, DCP, CBR, Flexible pavement.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

Para fundamentar técnicamente el objeto de estudio, se tomó como referencia trabajos de investigaciones realizadas sobre correlaciones entre: EL CBR, DCP Y LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS, por diferentes instituciones y autores en diferentes países del mundo.

Según Castillo Joan y Mena Lenin en Ecuador (2019), evaluaron las condiciones de cimentación de la vía Portoviejo-Manta proponiendo una correlación entre el DCP y CBR, por medio del método estadístico de regresión, se efectuaron dos ecuaciones utilizando valores de CBR 0.1", 0.2" y DCP. Arrojando con el primer valor un coeficiente de determinación  $R^2$  igual al 0.80 y en la segunda se obtuvo un  $R^2$  igual al 0.82, siendo valores aceptables con proximidad a uno.[1]

El estudio realizado por Wilches Fernando, Feria Jhon y Hernández José en la Universidad de Sucre Colombia (2018), tuvo como objetivo determinar una ecuación de correlación entre el CBR y el DCP para muestras de suelos de la ciudad de Simplejo proporcionando una herramienta de bajo costo para definir la capacidad de carga de la subrasante. Se tomaron 46 muestras de suelo del sur de la ciudad para realizar las pruebas in situ DCP y de laboratorio CBR, posteriormente desarrollaron un diagrama de dispersión y una curva de correlación, en la que mostraron coeficientes de determinación mayores al 80%, indicando que las ecuaciones obtenidas tienen una buena representación en cuanto a los datos de las pruebas realizadas.[2]

En la Universidad de Bamenda (2017), realizaron un análisis de correlación entre el valor CBR y las propiedades índice del suelo (límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, densidad seca máxima, contenido óptimo de humedad y el porcentaje del tamaño de las partículas grava, arena y finos).[3]

El estudio se llevó a cabo a lo largo de un proyecto de construcción de carreteras, ubicado en Yaundé capital de Camerún donde se recolectaron un total de 33 muestras de suelo. Se llevo a cabo ensayos de suelos rutinarios y posteriormente realizaron un análisis de regresión con los datos obtenidos, para evaluar la relación entre el CBR y sus propiedades índice. Los resultados mostraron coeficientes de determinación relativamente buenos de  $R^2 = 0.772$  entre el CBR y la densidad seca máxima utilizando un análisis de regresión simple, y un valor de  $R^2 = 0.841$  entre el CBR y todas las propiedades del suelo utilizando un análisis de regresión lineal múltiple.[3]

Josué Bermúdez y Oswaldo Vásquez en Honduras (2016), realizaron un estudio de la validación del método DCP para encontrar un CBR in situ que se pueda comparar con un CBR determinado en laboratorio. Para realizar dicha investigación determinaron las condiciones in situ de densidad y contenido de humedad, posteriormente fueron reproducidas dichas condiciones con el método de Compactación Proctor Modificado para encontrar el CBR en laboratorio. En el análisis de resultados se verificó que los suelos seleccionados para el estudio cumplen con la correlación del método del DCP con el CBR de acuerdo a la ecuación planteada por la norma ASTM 6951 para los suelos estudiados.[4]

Finalmente, el Ing. William Araujo en Perú (2014), propuso un método alternativo para obtener el valor del CBR mediante correlaciones lineales simples y múltiples con las propiedades índice de los suelos. Los resultados muestran que el contenido de grava y el contenido óptimo de humedad presentan una buena correlación lineal simple con el CBR, obteniendo valores de  $R = 0.84$  y  $0.81$ , la máxima densidad seca y el contenido de grava es directamente proporcional al CBR, mientras que el contenido de arena, de arcillas, limos, límites de consistencia y el contenido máximo de humedad son de manera inversa.[5]

Con todos estos antecedentes el propósito de esta investigación es determinar correlaciones estadísticas entre el CBR de laboratorio, DCP medido en campo y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de las parroquias rurales del cantón Pelileo.

### **1.1.2. Justificación**

La infraestructura vial es parte fundamental para el crecimiento y desarrollo de una nación, porque facilita el movimiento de bienes y servicios estratégicos que contribuyen a los procesos de transformación económica y social de un país. El conjunto de carreteras y caminos en Ecuador es conocido como red vial nacional y está integrada por la red vial estatal (red primaria y secundaria), red vial provincial (vías terciarias) y la red vial cantonal (caminos vecinales), lo que hace posible la conectividad entre diferentes puntos del territorio nacional.[6]

La red vial nacional de Ecuador en su mayoría está constituida por carreteras con pavimentos de tipo flexible, por lo que un adecuado diseño será de vital importancia para que resista satisfactoriamente los esfuerzos que producen las cargas repetidas del tránsito durante el periodo para el cual fue diseñado.

La estructura convencional típica de un pavimento flexible está conformada por una capa de rodadura asfáltica apoyada sobre dos capas de materiales granulares compactadas, base y subbase las cuales se construyen sobre la subrasante.[7] El diseño y desempeño del pavimento flexible depende principalmente de la resistencia de la subrasante, por lo tanto, es de vital importancia evaluar su calidad mediante el CBR, el mismo que se puede obtener a través de ensayos en campo o laboratorio.[8]

Sin embargo, obtener su valor es costoso, laborioso y requiere mucho tiempo, por lo que, para superar estas dificultades se propone correlacionar estadísticamente el valor del CBR en función de sus propiedades índice y mecánicas que son de fácil evaluación, con el fin de generar resultados más rápidos con un ahorro significativo de tiempo y costos.[9] De esta manera, la finalidad de la presente investigación se basa fundamentalmente en realizar un muestreo representativo de los suelos de las parroquias rurales del cantón Pelileo, efectuando in situ los ensayos de Densidad de Campo, DCP y en laboratorio los ensayos de: Contenidos de humedad, Gravedad específica, Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR; para determinar correlaciones experimentales, las mismas que podrán servir de referencia para un diseño preliminar de la estructura de pavimentos.

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1. Suelos**

##### **Definición**

Depósitos de partículas que provienen de la desintegración física y descomposición química de las rocas debido a la exposición de los agentes atmosféricos, formando nuevos materiales sueltos que se encuentran dentro de la corteza terrestre.[10]

Agregado natural de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido (generalmente agua) y gas (generalmente aire) que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.[11]

##### **Origen y formación**

La corteza terrestre, se ve afectada por procesos meteorizantes o de interperismo que es el proceso de desintegración física y descomposición química en fragmentos más pequeños especialmente en la parte más superficial, de esta manera se forman los materiales sin cementación o muy pocos cementados de naturaleza y espesor variable; este es el material que los ingenieros llaman suelo. [10]

#### **1.1.3.1.1. Tipos de suelos**

##### **Gravas**

Su tamaño tiene más de 2 mm de diámetro y son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca. Cuando son acarreadas por el agua sufren desgastes en sus aristas y pueden aparecer como redondeadas. Como material suelto se encuentran en los ríos y en depresiones de terrenos rellenados por el acarreo o transporte de las aguas lluvias. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con menor o mayor porción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas.[10]

## **Arenas**

Sus partículas varían desde 0.05 mm hasta los 2 mm de diámetro, son materiales de grano fino procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial. La existencia y el origen de las arenas es similar al de las gravas, las dos suelen encontrarse en el mismo depósito. Las arenas cuando están limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que las arcillas y si se aplica una carga en la superficie, se comprimen o densifican casi instantáneamente.[10]

## **Limos**

Son suelos finos con poca o ninguna plasticidad, su diámetro está comprendido entre 0.005 mm y 0.05 mm con colores que varían de gris claro a gris oscuro, pudiendo ser limo inorgánico el que se produce en las canteras por trituración de gravas, o limo orgánico el que suele encontrarse en los ríos, el mismo que es de características plásticas.[10]

## **Arcillas**

Son partículas sólidas que tienen la propiedad de volverse plásticas al ser mezcladas con agua y su diámetro es menor a 0.005 mm, químicamente son silicatos de aluminio hidratado, aunque contienen también silicatos de hierro o de magnesio hidratado, la estructura de sus minerales son generalmente cristalinas ya que sus átomos se disponen en forma laminar.[10]

### **1.1.3.1.2. Tamaño de las partículas**

Las partículas que conforman el suelo, varían en un extenso rango independientemente de su origen y se describen en función de su tamaño, utilizando términos como: grava, arena, limo y arcilla. En la siguiente tabla se indican los límites de suelos por el tamaño de sus partículas que algunas organizaciones han desarrollado.[11]



**Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo**

Organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
MIT Instituto de Tecnología de Massachusetts	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
USDA Departamento de Agricultura de Estados Unidos	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
AASHTO Asociación de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos < 0.075	

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

#### 1.1.3.1.3. Forma de las partículas

La forma de las partículas depende del tipo de suelo así: los suelos friccionantes o gruesos tienen partículas esféricas, mientras que los suelos cohesivos o finos tienen partículas laminares.[12]

Las partículas de los suelos granulares generalmente son:

##### **Angular**

Son partículas que no han sufrido del ataque erosivo por lo que presentan vértices y aristas agudas, filudas y hasta cortantes, entre estos suelos se puede citar: arenas residuales, volcánicas y marinas.[12]

##### **Subangular**

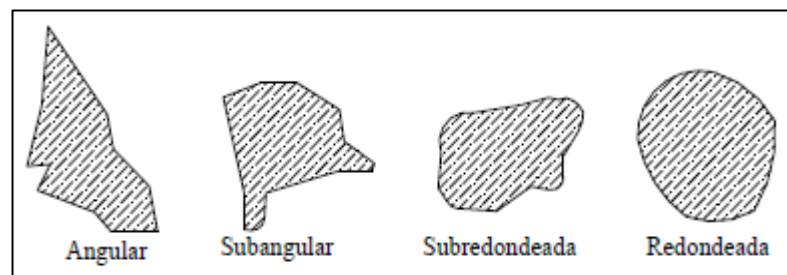
Partículas que se caracterizan por un proceso erosivo de menor intensidad y únicamente se han limado y redondeado los vértices y aristas.[12]

## Subredondeada

Las partículas aún tienden a ser esféricas y su proceso erosivo ha sido de menor intensidad.[12]

## Redondeada

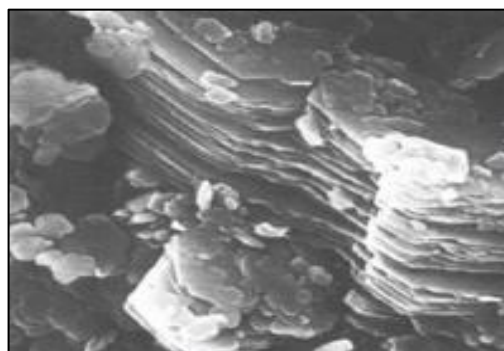
Son partículas equidimensionales que han sufrido un proceso erosivo muy intenso, por lo que existe predominio de la esfericidad sobre cualquier otra forma. Entre estos suelos se destacan: arenas de playa, ríos y las eólicas. [12]



**Figura 1. Forma de las partículas de suelos granulares**

**Fuente:** Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

Las partículas de los suelos finos generalmente son de tipo laminar y su forma es aplastada con dos dimensiones mayores que la tercera, la actividad superficial es de tipo eléctrica y está en función de la relación área volumen. La mayoría de las partículas son minerales de arcilla.[12]



**Figura 2. Forma de las partículas de suelos finos**

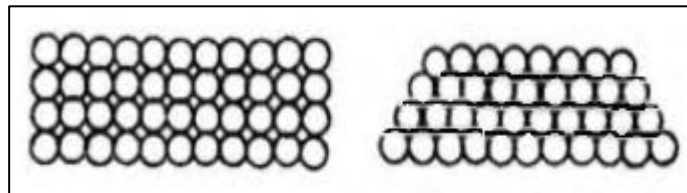
**Fuente:** <https://slidetodoc.com/forma-de-las-particulas-estructuracin-de-los-suelos/>

#### 1.1.3.1.4. Estructura

La estructura del suelo está compuesta por gran cantidad de elementos de diversa composición mineralógica, así como también de diversos tamaños y formas; es decir es la distribución y orden de un cuerpo.[10]

#### **Estructura simple o granular**

Es la característica propia de todos los suelos cuyas partículas son grandes (gravas y arenas) y cuyos granos no tienen ningún enlace, excepto la gravedad para que cada partícula individual descansa en los puntos de contacto o con partículas vecinas.[12]

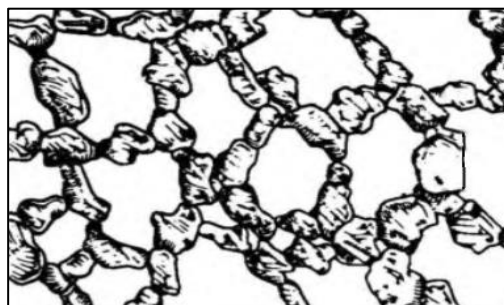


**Figura 3. Estructura granular**

**Fuente:** Mecánica de Suelos Tomo 1, Juárez Badillo, Rico Rodríguez

#### **Estructura apanalada o panaloide**

Es característica de los suelos limosos los cuales han sido depositados en agua arreglándose las partículas unas con otras para formar arcos con grandes espacios vacíos, como los dejados por los panales de abejas. Los vacíos presentes hacen que estos suelos tengan alto porcentaje de porosidad y la masa sea blanda.[12]

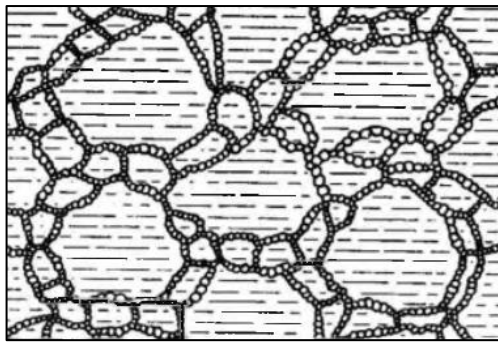


**Figura 4. Estructura apanalada**

**Fuente:** Mecánica de Suelos Tomo 1, Juárez Badillo, Rico Rodríguez

### **Estructura floculenta**

Es un arreglo complejo de las partículas muy finas, que dependen de la formación de los panales que al depositarse se juntan y forman una especie de red. Para las partículas menores a 0.2 micras no actúa la fuerza de gravedad ya que es más fuerte la atracción o repulsión eléctrica, produciendo un movimiento de zigzag que impide que los flóculos formados se sedimenten, eso hace que el volumen de los sólidos presentes en la masa del suelo sea del orden del 10%. [12]

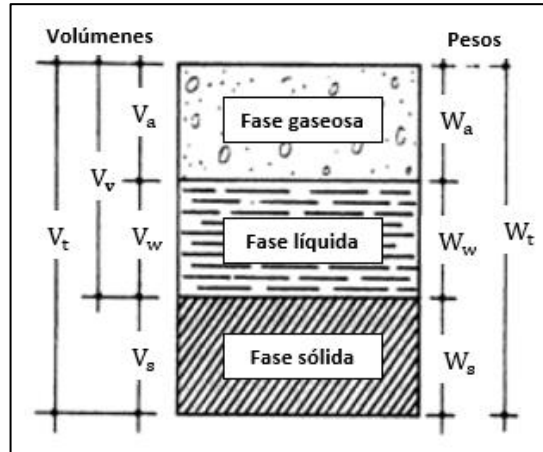


**Figura 5. Estructura floculenta**

**Fuente:** Mecánica de Suelos Tomo 1, Juárez Badillo, Rico Rodríguez

#### **1.1.3.2. Relaciones fundamentales de los suelos**

Las fases que conforman un suelo son: la sólida, constituida por las partículas minerales, la líquida que generalmente es el agua contenida en la masa de suelo y la gaseosa que es el aire que se encuentra dentro de los poros. Entre estas fases es necesario definir un conjunto de relaciones que están vinculadas a sus pesos y volúmenes, las mismas que permiten establecer el comportamiento del suelo. [13] En la siguiente figura se muestra esquemáticamente una muestra de suelo con sus respectivos componentes.



**Figura 6. Fases de la muestra de un suelo**

**Fuente:** Mecánica de Suelos Tomo 1, Juárez Badillo, Rico Rodríguez

**Donde:**

- $V_t$  = Volumen total de la muestra de suelo.
- $V_v$  = Volumen de los vacíos de la muestra de suelo.
- $V_a$  = Volumen de la fase gaseosa de la muestra de suelo.
- $V_w$  = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra de suelo.
- $V_s$  = Volumen de la fase sólida de la muestra de suelo.
- $W_t$  = Peso total de la muestra de suelo.
- $W_a$  = Peso de la fase gaseosa de la muestra de suelo, su valor es igual a cero.
- $W_w$  = Peso de la fase líquida de la muestra de suelo.
- $W_s$  = Peso de la fase sólida de la muestra de suelo.

#### 1.1.3.2.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad, permite determinar la cantidad de agua presente en una muestra dada de suelo, y se lo define como la relación entre el peso del agua contenida en el suelo con respecto al peso del suelo seco, se expresa como un valor porcentual.[14]

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

**Donde:**

- $W\%$  = Contenido de humedad.
- $W_w$  = Peso del agua presente en la masa del suelo.
- $W_s$  = Peso de los sólidos en el suelo.

Es importante determinar la cantidad de agua que se encuentra en el suelo, porque influye en varias propiedades físicas y mecánicas; tales como: la densidad natural, resistencia al corte, compactación, consistencia y capacidad portante del suelo.[15]

El contenido de humedad varía dependiendo del tipo de suelo, los rangos más comunes para suelos orgánicos y turbas puede llegar alcanzar 500%. Para suelos limosos y arcillosos desde el 80 al 50%, mientras que para gravas y suelos arenosos están entre el 20 y el 15%. [16]

**1.1.3.2.2. Relación de vacíos**

Se define como la razón entre el volumen de espacios vacíos y el volumen de las partículas sólidas de un suelo. Los valores de la relación de vacíos teóricamente pueden variar desde cero hasta el infinito, sin embargo en la práctica sus límites están comprendidos entre 0.25 (para arenas muy compactas con finos) y 15 ( para suelos muy sueltos que pueden ser arcillas altamente comprensibles).[17]

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

**Donde:**

- $e$  = Relación de vacíos.
- $V_v$  = Volumen de vacíos.
- $V_s$  = Volumen de los sólidos.

### 1.1.3.2.3. Porosidad

Es la relación expresada como porcentaje, entre el volumen de vacíos y el volumen total de la masa del suelo, sus límites varían entre 0 y 100%. [11]

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

**Donde:**

- $n\%$  = Porosidad.
- $V_v$  = Volumen de vacíos.
- $V_m$  = Volumen de la masa del suelo.

### 1.1.3.2.4. Grado de saturación del agua

Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos, se lo expresa en porcentaje y sus valores varían en un rango de 0% (suelo totalmente seco) y 100% (suelo totalmente saturado). [17]

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

**Donde:**

- $G_w\%$  = Grado de saturación del agua.
- $V_w$  = Volumen de agua.
- $V_m$  = Volumen de vacíos.

### 1.1.3.2.5. Grado de saturación del aire

Es la relación expresada como porcentaje, entre el volumen del aire con respecto al volumen de los vacíos de una muestra de suelo. [17]

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

**Donde:**

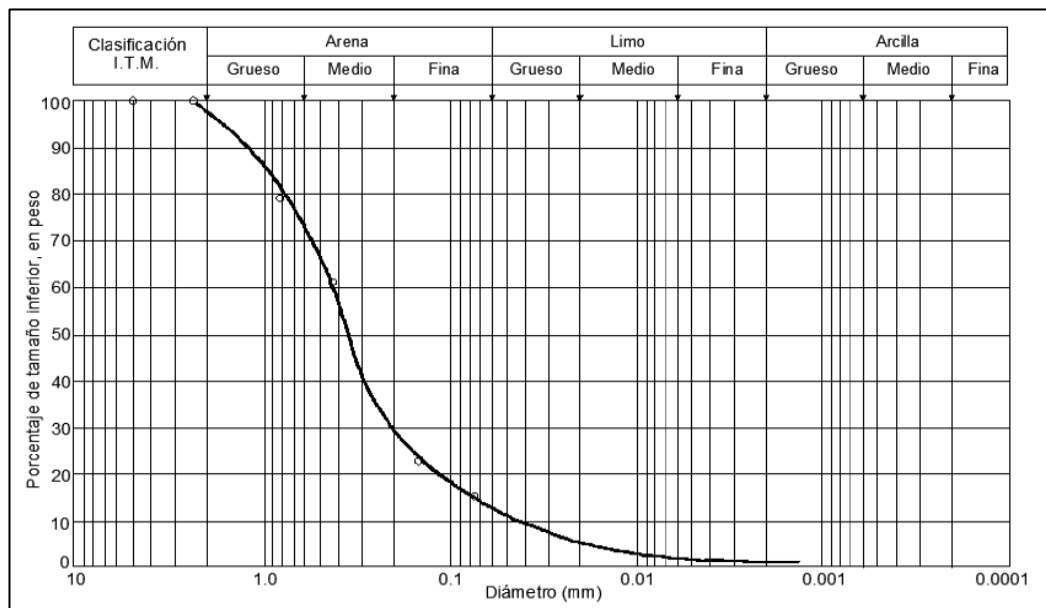
- $G_a \%$  = Grado de saturación del aire.
- $V_w$  = Volumen del aire.
- $V_m$  = Volumen de vacíos.

**1.1.3.3. Propiedades índice**

**1.1.3.3.1. Granulometría**

El propósito del análisis granulométrico es determinar los diferentes tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos que constituyen el suelo, mediante una serie normalizada de tamices, a través de los cuales mediante un proceso de agitado se lleva a cabo la separación de las partículas en diferentes rangos de tamaño. Estas porciones se pesan expresando dicho retenido como porcentaje en peso de la muestra total.

Se ha establecido universalmente el tamiz N° 200 (0,075 mm) como una medida para clasificar los suelos finos y gruesos. Finalmente, a través de una curva de distribución semilogarítmica, se representa el porcentaje en peso de la muestra retenida para cada diámetro de tamiz.[18]



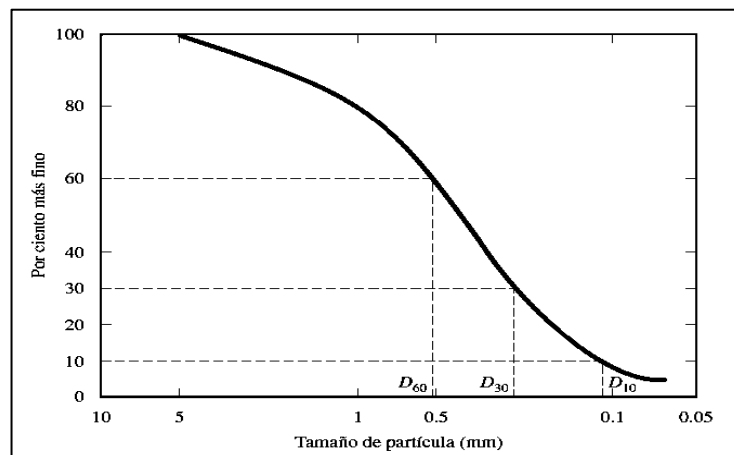
**Figura 7. Curva granulométrica de un suelo**

**Fuente:** Mecánica de suelos, William Lambe



A partir de la curva de distribución granulométrica se puede determinar los siguientes diámetros característicos.

- **Diámetro efectivo (D10):** Tamaño de las partículas del suelo en milímetros que en la gráfica de la distribución granulométrica representa al material que pasa en un 10%.
- **Diámetro equiparable (D30):** Tamaño de las partículas del suelo en milímetros que en la gráfica de la distribución granulométrica representa al material que pasa en un 30%.
- **Diámetro dimensional (D60):** Tamaño de las partículas del suelo en milímetros que en la gráfica de distribución granulométrica representa al material que pasa en un 60%.



**Figura 8. Curva granulométrica, definición D10, D30 y D60**

**Fuente:** Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

### **Coefficiente de uniformidad ( $C_u$ )**

El parámetro que determina si los suelos son uniformes o no uniformes es el coeficiente de uniformidad, y se define como la relación entre los diámetros de tamices por donde pasa el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada.[19]

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

**Donde:**

- $C_u$  = Coeficiente de uniformidad.
- $D_{60}$  = Diámetro dimensional.
- $D_{10}$  = Diámetro efectivo.

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores de  $C_u$  superiores a 4 para gravas y mayor a 6 para arenas se consideran materiales de buena granulometría o no uniformes, mientras que inferiores a esos valores, significa que el material es de mala granulométrica o prácticamente uniforme en el diámetro de sus partículas.[10]

**Coeficiente de curvatura ( $C_c$ )**

Es un coeficiente que permita determinar la graduación de un suelo y se define por la siguiente expresión.[19]

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

**Donde:**

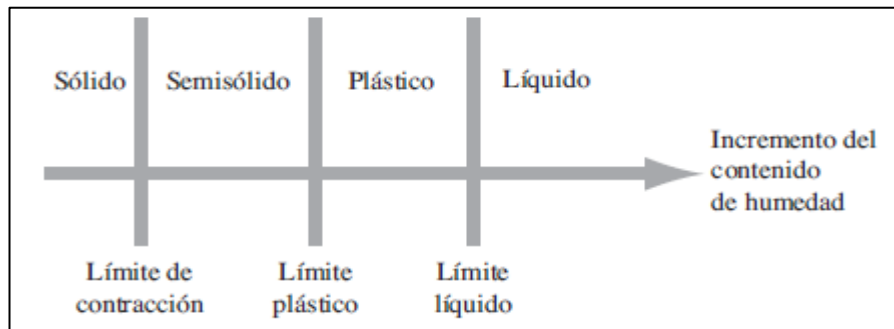
- $C_c$  = Coeficiente de curvatura.
- $D_{30}$  = Diámetro equiparable.
- $D_{10}$  = Diámetro efectivo.
- $D_{60}$  = Diámetro dimensional.

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores de  $C_c$  en el rango de 1 a 3 se consideran como bien graduados, caso contrario se consideran como suelos mal graduados.[12]

**Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg son de gran importancia para la clasificación y comportamiento de suelos finos y se basan en el concepto de que solamente pueden existir en cuatro estados de consistencia según su humedad.

Así, para un bajo contenido de humedad el suelo tendrá una consistencia sólida a semisólida, a medida que se incrementa la humedad progresivamente tomará una consistencia plástica y finalmente para una humedad muy alta tendrá una consistencia líquida. Los puntos de transición de un estado a otro se denominan como: límite de contracción, límite plástico y límite líquido.[20]



**Figura 9. Límites de Atterberg**

**Fuente:** Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

#### 1.1.3.3.2. Límite líquido (LL)

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad necesario para pasar de un estado semilíquido a un estado plástico, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra. La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula y los suelos plásticos tienen una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, y según A. Casagrande es de  $25 \text{ gr/cm}^2$ . [10]

El ensayo del límite líquido se lo realiza en el laboratorio mediante el método de la "Copa de Casagrande", que es un recipiente de bronce o latón (aleación de cobre y zinc), cuyo objetivo es determinar la cantidad mínima de agua que puede tener una muestra de suelo seco que pasa completamente por el tamiz N° 40 (0.425 mm).

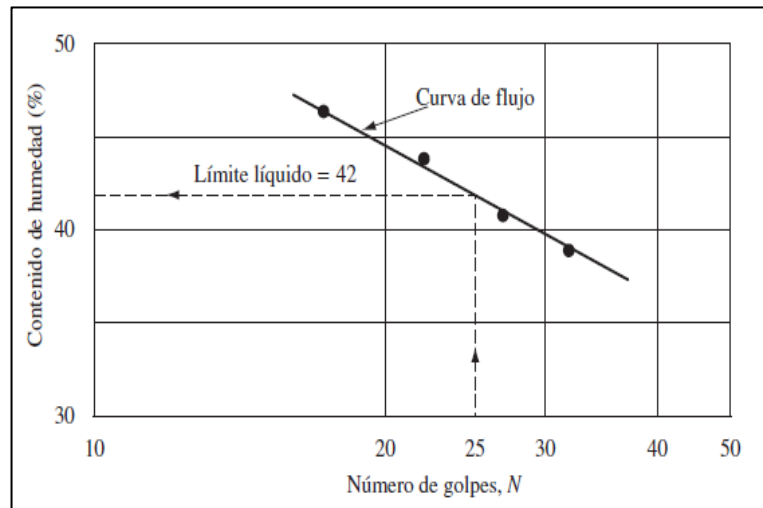
Sobre la copa se coloca la muestra de suelo y se divide en la parte media en dos porciones utilizando un ranurador normalizado. El propósito es determinar el número de golpes necesarios para que los bordes inferiores de la ranura se cierren dejando caer la cuchara de Casagrande desde una altura de 1 cm. [17]



**Figura 10. Copa de Casagrande**

**Fuente:** Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

Obteniendo 3 o más puntos en el rango de 10 a 50 golpes con diferentes contenidos de humedad, se debe realizar una curva de fluidez, la cual se representará en el eje de las abscisas el número de golpes en escala logarítmica y en el eje de las ordenadas el contenido de humedad en escala aritmética, el límite líquido será el contenido de humedad que corresponda a la ordenada de los 25 golpes.[12]



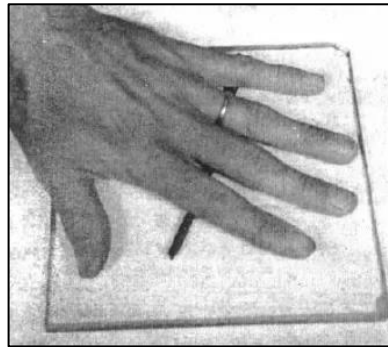
**Figura 11. Curva de fluidez para la determinación del límite líquido**

**Fuente:** Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

El número de golpes en el ensayo del límite líquido indica la resistencia al corte a ese contenido de humedad, los suelos con curvas de fluidez más pronunciadas poseen una mayor resistencia al corte, mientras que las menos pronunciadas presentan menor resistencia.[12]

#### 1.1.3.3.3. Límite plástico (LP)

Se denomina límite plástico al contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, para lo cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.[10] Al límite plástico también se lo define como el contenido de humedad del suelo necesario para agrietar, desprender o romper pequeños rollitos de suelo de aproximadamente 3 mm de diámetro. Es importante resaltar que la muestra de suelo para realizar este ensayo deberá pasar por el tamiz N° 40 (0.425 mm), para formar los rollitos de suelo se lo realizará con la palma de la mano sobre una placa de vidrio. [21]



**Figura 12. Forma de amasar la muestra de suelo**

**Fuente:** Mecánica de suelos, William Lambe

#### 1.1.3.3.4. Índice plástico (Ip)

El índice de plasticidad o índice plástico de un suelo se define como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico, e indica el grado de plasticidad que presenta el suelo. Un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad, mientras que un suelo no plástico tendrá un bajo índice de plasticidad.[19]

$$I_p = LL - LP$$

**Donde:**

- **Ip** = Índice plástico.
- **LL** = Límite líquido.

- **LP** = Límite plástico.

Cuando el límite plástico (LP) resulte mayor o igual que el límite líquido (LL), el índice de plasticidad (Ip) se informará como no plástico (NP).[21]

#### 1.1.3.3.5. Gravedad específica (Gs)

La gravedad específica o densidad específica de un suelo se define como la relación entre el peso específico de los sólidos con respecto al peso específico del agua, y se presenta como un valor adimensional.[22]

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

**Donde:**

- **G<sub>s</sub>**= Gravedad específica.
- **γ<sub>s</sub>** = Peso específico del suelo.
- **γ<sub>w</sub>** = Peso específico del agua.

Para determinar la gravedad específica del suelo se lo realiza por medio de un picnómetro o frasco volumétrico, dicho ensayo es aceptable para suelos cuyo tamaño de partículas pasen por el tamiz N° 4 (4.75 mm), el valor de la gravedad específica se utiliza para determinar la relación de vacíos y grado de saturación de los suelos, entre otras propiedades.[23]

**Tabla 2. Rangos de gravedad específica de algunos suelos**

Tipo de suelo	Gs
Arena	2.65 - 2.67
Arena limosa	2.67 - 2.70
Arcilla inorgánica	2.70 - 2.80
Suelos con micas o hierro	2.75 - 3.00
Suelos orgánicos	Inferior a 2.00

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

### 1.1.3.3.6. Densidad de campo

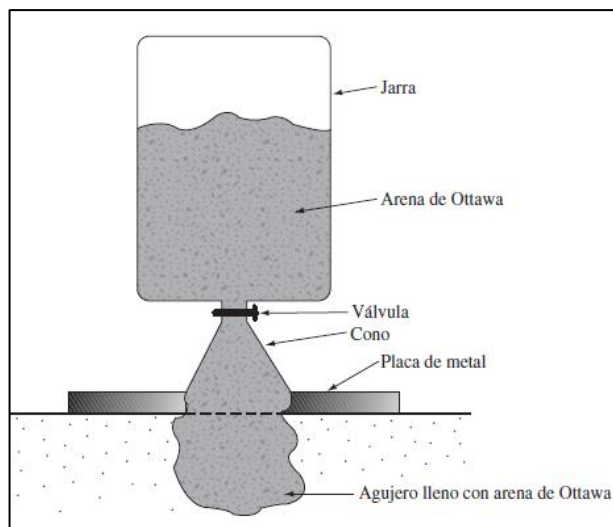
Este ensayo es necesario para determinar la densidad del suelo in situ, y se lo realiza con la finalidad de verificar que el grado de compactación del suelo se encuentre en óptimas condiciones, permitiendo así determinar si se ha cumplido con las especificaciones de compactación en el terreno.[18]

El procedimiento del método de “Cono y Arena” consiste en excavar manualmente un pequeño hueco en el sitio del ensayo y se procede a colocar cuidadosamente todo el suelo removido en una funda plástica, luego se procede a rellenar el hueco con arena de “Ottawa” de densidad conocida empleando un recipiente previamente calibrado que permitirá conocer la cantidad que se va introducir y poder determinar el volumen de dicho hueco. La densidad del suelo húmedo en el sitio se calcula dividiendo el peso del suelo húmedo con respecto al volumen del hueco. [24]

$$\gamma_{\text{Hum}} = \frac{\text{Peso del suelo húmedo}}{\text{Volumen del hueco}}$$

**Donde:**

- $\gamma_{\text{Hum}}$  = Densidad húmeda del suelo.



**Figura 13. Determinación del peso unitario con el método del cono de arena**

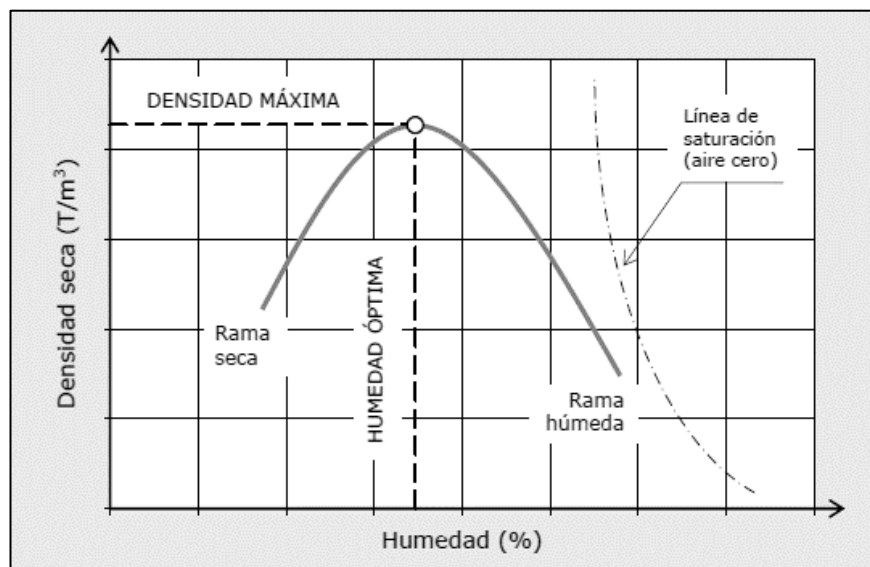
**Fuente:** Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das

### 1.1.3.4. Propiedades mecánicas

#### 1.1.3.4.1. Compactación

Es un procedimiento por medios mecánicos que permite el reacomodo de las partículas a través de la expulsión de aire logrando incrementar el peso volumétrico del suelo. Su objetivo principal es mejorar artificialmente sus propiedades mecánicas como: el aumento de la resistencia, disminución de la deformabilidad, disminución de la permeabilidad y una disminución del volumen de vacíos presentes en la masa del suelo.[25]

Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación este actúa como un agente ablandador permitiendo que el contenido de humedad se incremente conforme aumenta su peso específico seco, logrando que las partículas del suelo se deslicen entre sí hasta alcanzar su máxima densidad seca, a partir de este punto cualquier incremento en el contenido de agua tiende a disminuir el peso específico debido a que el agua toma los espacios vacíos que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua en el que se alcanza el máximo peso específico seco se denomina como contenido óptimo de humedad.[11]



**Figura 14. Curva de compactación**

**Fuente:** Manual de carreteras volumen II, Luis Bañón, José Beviá



Los factores que influyen en el proceso de compactación son los siguientes:

**El tipo de suelo**, la distribución granulométrica, la forma de los granos del suelo, la gravedad específica de los sólidos y la cantidad y tipo de material fino presentes afectan en el peso unitario seco máximo y humedad óptima del suelo.[11]

**El contenido de humedad** es importante ya que depende de la cantidad de agua presente en la masa de suelo para que las partículas minerales puedan reacomodarse bajo una determinada energía de compactación. [26]

**La energía de compactación** puede determinarse con la siguiente expresión.

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

**Donde:**

- **E<sub>c</sub>** = Energía de compactación.
- **N** = Número de golpes por capa.
- **n** = Número de capas de suelo.
- **W** = Peso del pisón.
- **h** = Altura de caída libre del pisón.
- **V** = Volumen del suelo compactado.

En términos generales a medida que la energía de compactación aumenta el peso unitario seco máximo también se incrementa, pero el contenido óptimo de humedad disminuye en cierta medida.[10]

### **Ensayo Proctor**

El ensayo de compactación Proctor toma el nombre de su creador el ingeniero estadounidense Ralph R. Proctor (1933) y permite determinar la densidad seca máxima con relación a su grado de humedad en función de una energía de compactación.[27]

Existen dos pruebas Proctor normalizadas: Proctor Estándar y Proctor Modificado, la principal diferencia entre los dos ensayos radica en la energía de compactación empleada. En el ensayo Proctor Estándar se deja caer un martillo de 5.5 lb a una altura de caída libre de 12" compactando en un molde de tamaño dado en 3 capas, mientras que en el Proctor Modificado se utiliza un martillo de 10 lb dejando caer a una altura de 18" compactando en 5 capas.[27]

**Tabla 3. Especificaciones del ensayo Proctor Estándar**

Ensayo Proctor Estándar AASHTO T-99 Martillo 5.5 lb – Altura de caída 12"				
MÉTODOS	A	B	C	D
Material que pasa	Tamiz # 4	Tamiz # 4	Tamiz 3/4"	Tamiz 3/4"
Diámetro del molde	4"	6"	4"	6"
Nº de capas	3	3	3	3
Nº de golpes por capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collarín	1/30 pie <sup>3</sup>	1/13,33pie <sup>3</sup>	1/30pie <sup>3</sup>	1/13,33pie <sup>3</sup>
Energía de compactación	12.375 lb*pie/pie <sup>3</sup>	12316.92 lb*pie/pie <sup>3</sup>	12.375 lb*pie/pie <sup>3</sup>	12316.92 lb*pie/pie <sup>3</sup>

**Fuente:** Carreteras calles y aeropistas, Raúl Vallejo Rodas

**Tabla 4. Especificaciones del ensayo Proctor Modificado**

Ensayo Proctor Modificado AASHTO T-180 Martillo 10 lb – Altura de caída 18"				
MÉTODOS	A	B	C	D
Material que pasa	Tamiz # 4	Tamiz # 4	Tamiz 3/4"	Tamiz 3/4"
Diámetro del molde	4"	6"	4"	6"
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collarín	1/30 pie <sup>3</sup>	1/13,33pie <sup>3</sup>	1/30pie <sup>3</sup>	1/13,33pie <sup>3</sup>
Energía de compactación	56249.98 lb*pie/pie <sup>3</sup>	55985.98 lb*pie/pie <sup>3</sup>	56249.98 lb*pie/pie <sup>3</sup>	55985.98 lb*pie/pie <sup>3</sup>

**Fuente:** Carreteras calles y aeropistas, Raúl Vallejo Rodas

### 1.1.3.4.2. Relación de Soporte de California (CBR)

El índice CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controladas y principalmente se basa en que a mayores valores de CBR, podrá soportar mayores cargas de tránsito y por lo tanto se requerirá menores espesores en la estructura del pavimento.[9] Este método se usa en el diseño de pavimentos flexibles para evaluar la calidad relativa de los suelos de subrasante, subbase y base, que contengan una cantidad limitada de material que pase por el tamiz de 2" (50 mm) y que es retenido en el tamiz 3/4" (19.1 mm). Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.[28]

Básicamente el ensayo consiste en medir la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 19.4 cm<sup>2</sup> de área en una muestra de suelo de 6" de diámetro y una altura de 7 a 8" a una velocidad de 1.27 mm/min.[28] El valor del CBR se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria necesaria para producir una penetración en la muestra de suelo con respecto a una carga unitaria denominada patrón.[14]

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100\%$$

**Tabla 5. Valores de penetración y carga unitaria patrón**

<b>Penetración</b> pulg	<b>Carga unitaria patrón</b> lb/pulg <sup>2</sup>
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

El valor del CBR que se utilizará para el diseño, es el que se obtiene para una penetración del pistón de 0.1" y 0.2", se escogerá el mayor de entre los dos. Los valores del CBR puede variar de 0 a 100, mientras mayor sea su valor mayor será la capacidad portante del suelo. En la siguiente tabla se indica la clasificación del suelo en función del índice CBR:

**Tabla 6. Clasificación del suelo en función del CBR**

<b>CBR</b>	<b>Clasificación general</b>	<b>Usos</b>
0 - 3	Muy pobre	Subrasante
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante
7 - 20	Regular	Subbase
20 - 50	Bueno	Base, subbase
> 50	Excelente	Base

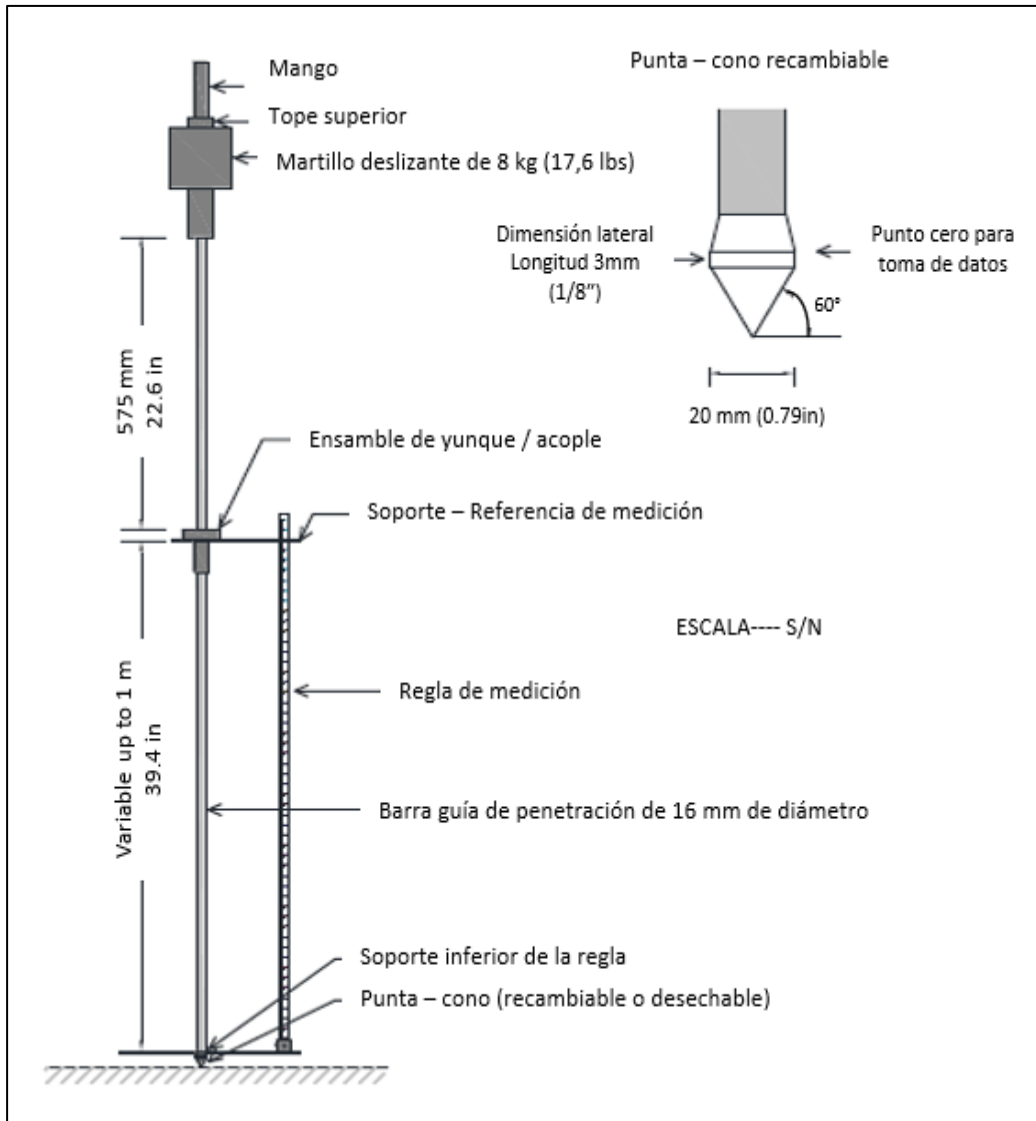
**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

#### **1.1.3.4.3. Penetrómetro dinámico de cono (DCP)**

El ensayo DCP se emplea para evaluar en el sitio la resistencia de suelos compactados o suelos en estado natural, proporcionando una medida de la resistencia a la penetración dinámica por golpe. Dicha medición permite estimar el valor del CBR en campo, identificar espesores de estratos, su resistencia y otras propiedades del suelo.[29]

El método consiste en introducir una barra de acero de 15.8 mm (5/8") de diámetro con una punta en forma de cono de 60° recambiable o desechable de 20 mm de diámetro. El DCP se introduce a través de un martillo deslizante de 8 kg (17.6 lb) que cae libremente desde una altura de 575 mm (22.6 "). [29]

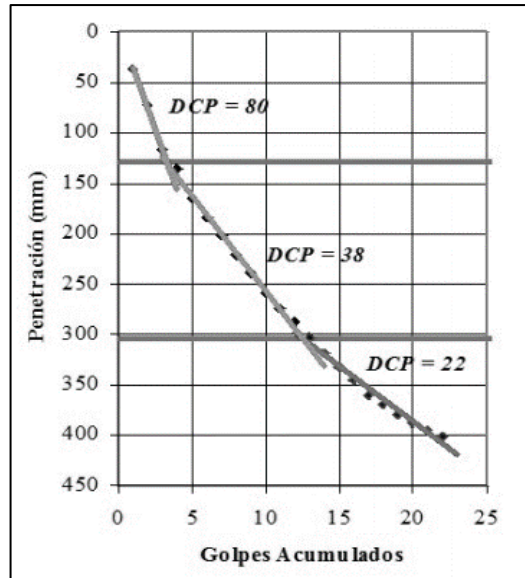
Para efectuar las lecturas tiene una regla de medición sujeta al instrumento por dos soportes; un soporte superior unido al yunque que sirve de referencia para las lecturas y un soporte inferior fijo unido a la barra de penetración.[30] El DCP de 8 kg se utiliza para evaluar las propiedades de los materiales ubicados hasta 100 mm de profundidad y no puede ser utilizado en materiales altamente estabilizados o para materiales granulares que contengan un alto porcentaje de agregados mayores que 2".[29]



**Figura 15. Esquema del cono dinámico de penetración**

**Fuente:** Norma ASTM D 6951-03

La curva DCP representa el número de golpes acumulados en función de la penetración acumulada y su unidad es mm/golpe. En la siguiente figura se puede apreciar el número de capas representadas por rectas de diferentes pendientes, la cual indica que mientras más vertical sea la pendiente menor será la resistencia del suelo.[30]



**Figura 16. Curva DCP**

**Fuente:** El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos, Fabiana Viscarra 2006

#### 1.1.3.4.4. Clasificación de suelos

Teniendo en cuenta la amplia variedad de suelos de la naturaleza, se han desarrollado algunos métodos de clasificación. Actualmente los sistemas más empleados para la clasificación de suelos para el diseño de pavimentos, vías y aeropistas son el sistema AASHTO y el sistema SUCS.[13]

#### 1.1.3.4.5. Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación propuesta por la AASHTO divide a los suelos inorgánicos en 7 grupos que van del A-1 al A-7, los cuales a su vez se subdividen en subgrupos. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2, A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos del total de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos donde más del 35% del total pasa a través del tamiz N° 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 estos son limos y arcillas.[13]

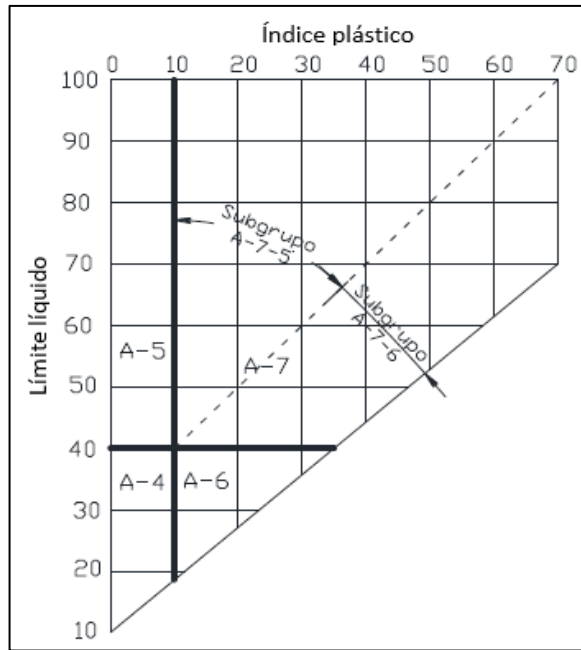
**Tabla 7. Clasificación del suelo por el método AASHTO**

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos del total pasa por el tamiz N° 200)							MATERIALES LAMINARES (Más del 35% del total pasa por el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A7	
SUB-GRUPOS	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Porcentaje del material que pasa el tamiz												
N° 10 (2 mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 200 (0.0075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del material que pasa el tamiz N° 40												
Límite líquido (LL)	-	-	-	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min*	41 min*
Índice plástico (IP)	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	11 min.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calidad (Subrasante)	Excelente a bueno							Regular a malo				

\* Para el límite líquido del subgrupo A-7-5,  $IP \leq LL-30$

\* Para el límite líquido del subgrupo A-7-6,  $IP > LL-30$

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles



**Figura 17. Carta de plasticidad para el sistema AASHTO**

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

El sistema AASHTO, además utiliza un número llamado índice de grupo (IG) para evaluar la calidad de un suelo como material de subrasante, permitiendo comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo, teniendo en cuenta que tendrá mejor comportamiento aquel cuyo índice de grupo sea menor. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.[11]

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

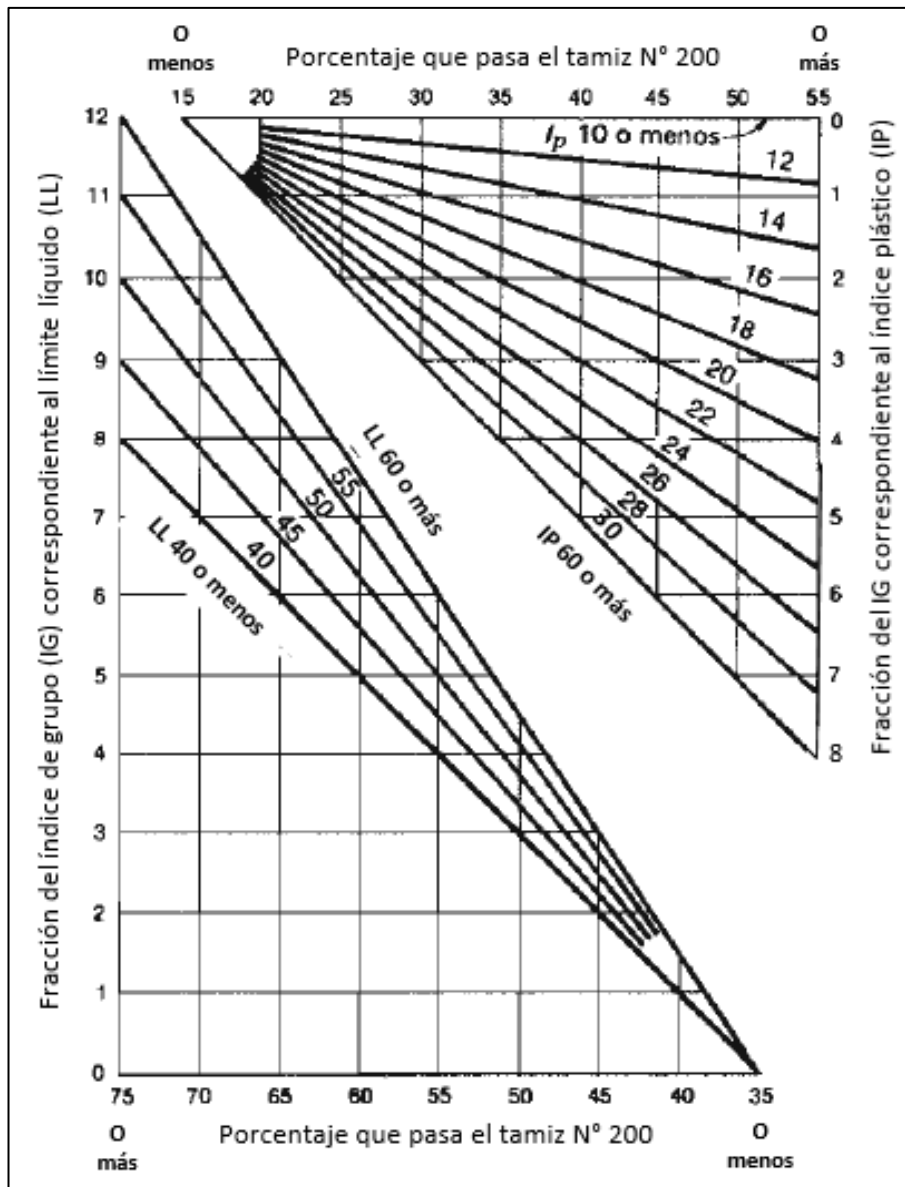
**Donde:**

- **a** = Porcentaje de material más fino que el tamiz N° 200 mayor que el 35% pero menor que el 75%, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40.
- **b** = Porcentaje de material más fino que el tamiz N° 200 mayor que el 15% pero menor que el 55%, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40.
- **c** = Porcentaje del límite líquido mayor que 40 pero no superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20.



- $d$  = Porcentaje del índice plástico mayor que 10 pero no superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20.

El índice de grupo también se lo puede determinar mediante la utilización de ábacos, en donde su valor es igual a la sumatoria de las dos lecturas en escala vertical el mismo que deberá informarse como un número entero.



**Figura 18. Ábacos para la determinación gráfica del índice de grupo**

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

### 1.1.3.4.6. Clasificación SUCS

El sistema unificado de clasificación de suelos, fue propuesta por A. Casagrande en (1942) y fue empleado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU. para la construcción de aeropuertos. Diez años más tarde y en vista de la gran utilidad de este sistema fue modificado por el Bureau of Reclamation, apareciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado subsecuentemente por la ASTM como parte de sus métodos normalizados.[19] El sistema SUCS permite clasificar los suelos en dos grupos: suelos de grano grueso y suelos de grano fino y se diferencian mediante el tamizado del material que pasa por la malla N° 200.

**Tabla 8. Factores a considerar de acuerdo al sistema SUCS**

SUELO GRUESO		SUELO FINO
El material se considera grueso si se retiene más del 50% en el tamiz N° 200		El material se considera fino si pasa más del 50% por el tamiz N° 200
<b>Grava (G)</b>	<b>Arena (S)</b>	<b>Limo (M)</b> <b>Arcilla (C)</b> <b>Orgánico (O)</b>
Si más del 50% queda retenido en el tamiz N° 4	Si más del 50% pasa por el tamiz N° 4	

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres de los tipos de suelo, mientras que los sufijos matizan sus propiedades.[13]

**Tabla 9. Símbolos de grupo SUCS**

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduada	W
Arena	S	Mal graduada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Baja plasticidad (LL< 50%)	L
Turba	Pt	Alta plasticidad (LL> 50%)	H

**Fuente:** Manual de carreteras volumen II, Luis Bañón, José Beviá

**Tabla 10. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS**

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES			
<b>SUELO DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más del 50% del material es retenido en el tamiz N° 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N° 4	GRAVAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	<b>GW</b>	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas con poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad $C_u > 4$ Coeficiente de curvatura $C_c$ entre 1 y 3		
			<b>GP</b>	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN GW	
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	<b>GM</b>	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	Límites Atterberg debajo de la Línea A o $IP < 4$	Arriba de la Línea A y con $4 < I_p < 7$ son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles	
			<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Límites Atterberg arriba de la Línea A o $IP > 7$		
		<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N° 4	ARENAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	<b>SW</b>	Arenas bien gradadas, arenas con grava, poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad $C_u > 6$ Coeficiente de curvatura $C_c$ entre 1 y 3	
				<b>SP</b>	Arenas mal gradadas, arenas gravosas con poco o nada de finos.	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN SW	
	ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas		<b>SM</b>	Arenas limosas, mezcla mal gradadas de arena y limo.	Límites Atterberg debajo de la Línea A o $IP < 4$	Arriba de la Línea A y con $4 \leq I_p \leq 7$ son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles	
			<b>SC</b>	Arenas arcillosas, mal gradadas de arena y arcilla.	Límites Atterberg arriba de la Línea A o $IP > 7$		
	<b>SUELO DE PARTÍCULAS FINAS</b> Mas del 50% del material pasa por el tamiz N° 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido < 50%	<b>ML</b>	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	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.		
			<b>CL</b>	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad, arcilla con grava, arenosas o limosas.			
<b>OL</b>			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido > 50%		<b>MH</b>	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos.				
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
		<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		<b>Pt</b>	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

**Fuente:** Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

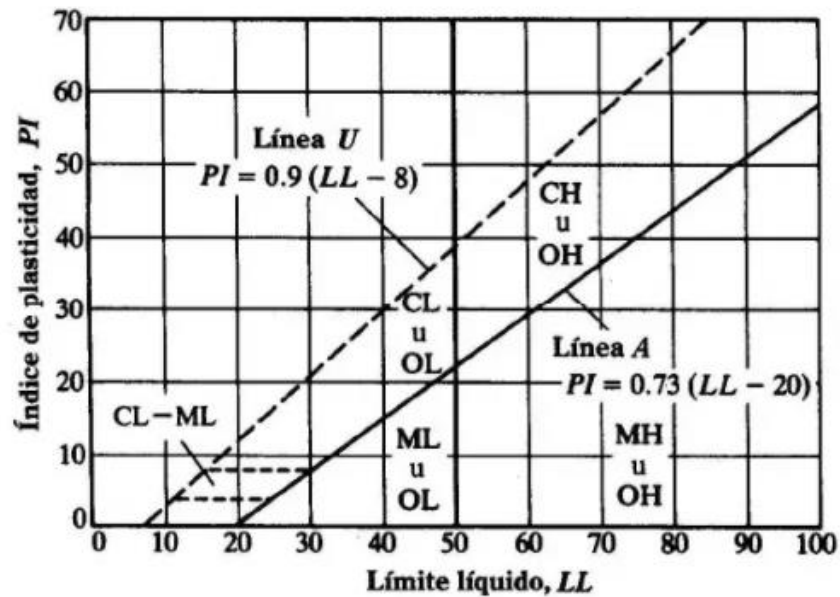


Figura 19. Carta de plasticidad para el sistema SUCS

Fuente: Manual de laboratorio de suelos, Joseph Bowles

### 1.1.3.5. Definición de pavimento

Es una estructura integral de varias capas superpuestas de materiales seleccionados asentada sobre la superficie del terreno de fundación o subrasante, se encarga de resistir y distribuir esfuerzos originados por las cargas del tránsito. Además, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el movimiento seguro y confortable de los vehículos.[7]

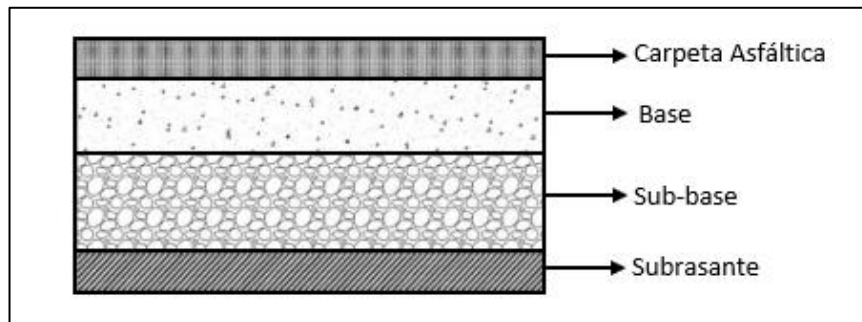
Para que un pavimento cumpla adecuadamente sus funciones deberá reunir las siguientes características:

- Brindar una razonable economía y durabilidad.
- Resistir los factores climatológicos en especial a los cambios extremos de temperatura y del agua.
- Presentar una adecuada textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos. Esta característica permite al vehículo acelerar, girar, detenerse y cuya influencia en la seguridad vial es decisiva.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.

- Satisfacer los requerimientos ambientales y estéticos.
- Poseer un color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, ofreciendo una adecuada seguridad al tránsito vehicular.[31]

### 1.1.3.6. Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una capa de rodadura asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas de materiales granulares compactadas, base y subbase las cuales se construyen sobre la subrasante. La superficie de rodadura al ser menos rígida permite deformarse y transmitir tensiones a las capas subyacentes.[7]



**Figura 20. Sección transversal típica de un pavimento flexible**

**Fuente:** Estructuración de vías terrestres, Fernando Bustamante

### 1.1.3.7. Capas que conforman la estructura de un pavimento flexible

#### 1.1.3.7.1. Subrasante

Una vez que se ha terminado el movimiento de tierras, compactación y dadas las pendientes especificadas a la superficie del terreno natural se lo denomina como subrasante y es la capa sobre la cual se cimienta la estructura del pavimento, su función principal es la de resistir las cargas ejercidas por el tránsito vehicular. Los espesores de cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento dependerá en gran medida de la calidad de la subrasante.[32]

### 1.1.3.7.2. Subbase

Se denomina como subbase a la capa granular que se encuentra entre la subrasante y la base, es una capa de espesor definido y de materiales compuestos por agregados obtenidos por procesos de trituración o de cribado que cumplen determinadas especificaciones. La capa de subbase se colocará sobre una subrasante previamente aprobada para soportar la capa de base.[33]

Su función principal es:

- Drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta asfáltica o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar de niveles freáticos infrayacentes cercanos.
- Controlar o eliminar los cambios volumétricos producidos por subrasantes de materiales expansivos, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitir a la subrasante de forma adecuada.[13]

De acuerdo a la norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP. Las subbases se clasifican en 3 tipos como se indican a continuación:

- **Subbase clase 1:** Son agregados obtenidos por procesos de trituración de roca o grava. Por lo menos el 30% del agregado deberán ser triturados.
- **Subbase clase 2:** Son agregados obtenidos mediante trituración o cribado de gravas o yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente. Por lo menos el 30% del agregado deberá ser triturado.
- **Subbase clase 3:** Son agregados obtenidos mediante cribado de gravas o rocas mezcladas con arena natural o material finamente triturado.[33]

El material granular empleado en la capa de subbase deberá tener un desgaste menor al 50% en el ensayo de abrasión, el índice de soporte CBR será mayor o igual al 30% y el material que pase a través del tamiz N° 40 deberá tener un límite líquido menor a 25 y un índice de plasticidad menor a 6.[33]

**Tabla 11. Granulometría para subbases**

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Subbase clase 1	Subbase clase 2	Subbase clase 3
3" (76.2 mm)	-	-	100
2" (50.4 mm)	-	100	-
1 $\frac{1}{2}$ " (38.1 mm)	100	70 - 100	-
N° 4 (4.75 mm)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N° 40 (0.425 mm)	10 - 35	15 - 40	-
N° 200 (0.075 mm)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

**Fuente:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes

NEVI-12-MTOP

### 1.1.3.7.3. Base

Es la capa inferior a la carpeta asfáltica compuesta por agregados triturados, mezclas bituminosas, mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante. La capa de base se coloca generalmente sobre una capa de subbase terminada y aprobada o en ocasiones especiales puede ser construida directamente sobre la subrasante previamente preparada y aprobada.[32]

Su función principal es:

- Resistir y transmitir uniformemente las cargas impuestas por los vehículos a las capas de subbase y subrasante.
- No deberá presentar cambios de volumen perjudiciales a la estructura del pavimento al variar los cambios de humedad y temperatura.
- Reducir el espesor de la capa de rodadura.[34]

De acuerdo a la norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP. Las bases se clasifican en 4 tipos como se indican a continuación:

- **Base clase 1:** Están constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100%.
- **Base clase 2:** Están constituidos por fragmentos de roca o grava triturada. La fracción del agregado grueso será triturada por lo menos el 50% en peso.
- **Base clase 3:** Están constituidos por fragmentos de roca o grava triturada. La fracción del agregado grueso será triturada por lo menos el 25% en peso.
- **Base clase 4:** Están constituidos por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas.[33]

La fracción del material granular empleado en la capa de base deberá tener un porcentaje de desgaste por abrasión menor del 40%, el valor de soporte CBR mayor o igual al 80% y el material que pase a través de el tamiz N° 40 deberá tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor a 6.[33]

**Tabla 12. Granulométrica para bases**

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada				
	Base clase 1		Base clase 2	Base clase 3	Base clase 4
	Tipo A	Tipo B			
2" (50 mm)	100	100	100	100	100
1 $\frac{1}{2}$ " (37.5 mm)	70 - 100	70 - 100	70 - 100	-	-
1" (25 mm)	55 - 85	60 - 90	55 - 85	70 - 100	60 - 90
$\frac{3}{4}$ " (19 mm)	50 - 80	45 - 75	47 - 75	60 - 90	-
$\frac{3}{8}$ " (9.5 mm)	35 - 60	30 - 60	35 - 65	40 - 75	-
N° 4 (4.75 mm)	25 - 50	20 - 50	25 - 55	30 - 60	20 - 50
N° 10 (2 mm)	20 - 40	10 - 25	15 - 45	15 - 45	-
N° 40 (0.425 mm)	10 - 25	2 - 12	5 - 25	10 - 30	-
N° 200 (0.075 mm)	2 - 12	-	0 - 10	0 - 15	0 - 15

**Fuente:** Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes

NEVI-12-MTOP



#### **1.1.3.7.4. Capa de rodadura**

Es la capa superior de la estructura del pavimento que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos, está conformada por materiales pétreos y productos asfálticos. Su función principal es:

- Soportar directamente las cargas originadas por el tránsito y transmitir las a las capas inferiores.
- Impermeabilizar su superficie para evitar las filtraciones del agua lluvia protegiendo las capas subyacentes.
- Proporcionar una superficie uniforme, antideslizante de textura y color conveniente que garantice comodidad y seguridad a los usuarios.[34]

#### **1.1.3.8. Factores a considerar en el diseño de pavimentos flexibles**

##### **1.1.3.8.1. Tránsito**

El estudio del tránsito es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos, su objetivo principal es determinar el número de vehículos de diferente peso y número de ejes que transitarán por la vía, básicamente el tránsito representa la carga que será impuesta al pavimento.[34]

Para determinar el volumen de tránsito la medición más importante es el conteo o aforo de vehículos, que permite conocer el nivel de tránsito existente. Según la duración del aforo el volumen puede ser: diario, semanal, mensual o anual, expresado en vehículos/día, independientemente del periodo en que se estime.[35]

- **Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)**

Representa el número de vehículos que circulan por la carretera en un periodo de un año calendario dividido en 365 días, es decir es el volumen de tránsito promedio por día. El valor del TPDA es fundamental para dimensionar los elementos estructurales y funcionales de la carretera.[36]

- **Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)**

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o tramo específico de la carretera durante 60 minutos consecutivos, representa la máxima demanda que se registra durante un día. [37]

- **Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD)**

Se define como el volumen horario de máxima demanda en un día particular dividido entre el volumen más alto de 15 minutos alcanzado en esa hora, multiplicado por cuatro; es una medida de uniformidad de la demanda de hora pico y se utiliza en diferentes análisis de tránsito para considerar la concentración vehicular en periodos cortos.[37]

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(Q_{m\acute{a}x})}$$

**Donde:**

- **FHMD** = Factor horario de máxima demanda.
- **VHMD** = Volumen horario de máxima demanda.
- **Q<sub>máx</sub>** = Flujo máximo para un periodo de 15 minutos.

- **Volumen horario de proyecto (VHP)**

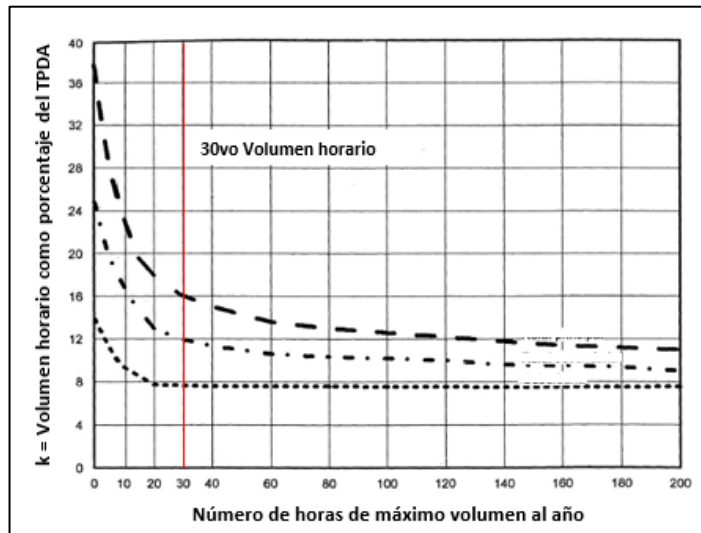
El volumen horario de proyecto o diseño permite determinar las características geométricas de la vía y fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado. No se trata de considerar el máximo número de vehículos por hora que se pueden presentar dentro de un año, ya que exigiría inversiones demasiado costosas, por lo que se opta por un volumen horario que no sea demasiado excesivo; pero que tampoco ocurra con escasa frecuencia. Por lo tanto, considerando como volumen horario de diseño a la 30va hora se tiene.[35]

$$VHP = k \cdot TPDA_{\text{existente}}$$

**Donde:**

- **VHP** = Número total de vehículos en la hora pico.
- **TPDA<sub>existente</sub>** = Tránsito existente.
- **k** = Valor de la relación entre el volumen de la 30va hora de máximo volumen y el tránsito promedio diario anual.

En la siguiente figura se puede observar los valores del factor k, que indica la relación entre el volumen horario de la 30va hora y el tránsito promedio diario anual. Se recomienda utilizar un valor de k igual al 10% para carreteras urbanas y un valor de k del 15% para carreteras rurales.[38]



**Figura 21. Relación entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual**

**Fuente:** Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal, y Mayor R.

- **Tránsito actual**

Es la cantidad de vehículos que están circulando actualmente en la carretera, o es aquel volumen que circularía en una carretera nueva si ésta estuviera al servicio de los usuarios.[39]

$$T_a = TPDA_{existente} + T_g + T_{at} + T_d$$

**Donde:**

- **Ta** = Tránsito actual.
- **TPDAexistente** = Tránsito existente.
- **Tg** = Tránsito generado.
- **Tat** = Tránsito atraído.
- **Td** = Tránsito desarrollado.

**Tránsito existente:** Es el número de vehículos que circulan por una vía antes de ser mejorada, se lo obtiene mediante un conteo de tránsito en puntos estratégicos de la carretera.[39]

**Tránsito generado (Tg) :** El tránsito generado se obtendrá solamente si las mejoras de la carretera suceden, es decir son aquellos viajes vehiculares que no se efectuarían si no se construye la nueva carretera. Se estima como el 20% del TPDA existente.[37]

**Tránsito atraído o desviado (Tat) :** Son aquellos vehículos que se ven atraídos hacia la nueva carretera, por razones de: comodidad, seguridad, distancia, tiempo y costos. Se puede estimar el tránsito atraído como un 10% del TPDA existente.[39]

**Tránsito desarrollado (Td) :** Es aquel tránsito que se produce debido a las mejoras en las zonas adyacentes a la carretera, que no se habría presentado si la vía no se hubiera construido o mejorado. El tránsito desarrollado puede incrementarse durante parte o todo el periodo de estudio y se considera como el 5% del TPDA existente.[39]

**Tránsito futuro**

Es el número total de vehículos que se espera que circulen por la carretera en el último año de vida útil. El tránsito futuro está compuesto por el tránsito actual y el incremento de tránsito para el año proyectado, pero también se puede pronosticar en base a la tasa de crecimiento poblacional o al consumo de combustibles de acuerdo a la siguiente fórmula.[39]

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

**Donde:**

- **Tf** = Tránsito futuro o proyectado.
- **Ta** = Tránsito actual.
- **i** = Índice de crecimiento vehicular.
- **n** = Número de años proyectados.

**1.1.3.8.2. Terreno de fundación**

Como parámetros fundamentales los factores que deben ser considerados son la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito y la susceptibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a su resistencia como a las variaciones de volumen (expansión, contracción). [31]

**1.1.3.8.3. El clima y condiciones ambientales**

Los factores que más afectan en el diseño y comportamiento del pavimento son las precipitaciones de lluvia y los cambios de temperatura.

- La presencia de agua en la superficie del pavimento o en el interior de los materiales que conforman las capas de la estructura tiene una gran influencia en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos especialmente de subrasante.
- Los cambios de temperatura afectan directamente la deformación de la carpeta asfáltica, las temperaturas bajas tienen influencia en la aparición del agrietamiento por fatiga mientras que las temperaturas altas tienen gran influencia en el ahuellamiento. [13]

**1.1.3.8.4. Los materiales utilizados**

Los materiales a ser utilizados dependerán del tipo de pavimento, para el caso de pavimentos flexibles los materiales empleados para la capa base y subbase son los granulares y para la capa de rodadura es el asfalto.

### 1.1.3.9. Diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93

El diseño de pavimentos flexibles según el método AASHTO-93, tiene como propósito determinar un número estructural denominado como “SN”, en base al cual se identifican los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento para que pueda soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido. La ecuación para determinar el número estructural es la siguiente.[40]

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.39 * \log_{10}(Mr) - 8.07$$

**Donde:**

- **SN** = Número estructural.
- **W<sub>18</sub>** = Número de ejes equivalentes simples de 8.2 Ton.
- **Z<sub>r</sub>** = Desviación estándar normal.
- **S<sub>o</sub>** = Desviación estándar global.
- **ΔPSI** = Pérdida de serviciabilidad.
- **Mr** = Módulo resiliente de la subrasante (PSI).

#### 1.1.3.9.1. Periodo de diseño

Es el lapso de tiempo para que la estructura del pavimento cumpla con su función satisfactoriamente para la que fue diseñada. La guía AASHTO-93 recomienda los siguientes periodos de diseño.

**Tabla 13. Periodos de diseño en función del tipo de carretera**

Tipo de carretera	Periodo de diseño (años)
Urbana de alto volumen de tránsito	30 - 50
Rural de alto volumen de tránsito	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tránsito	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tránsito	10 - 20

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

### 1.1.3.9.2. Tránsito en ejes equivalentes acumulados $W_{18}$

Para determinar el tránsito, el método AASHTO-93 requiere la transformación de los vehículos de diferente número de ejes y peso a ejes equivalentes sencillos de 8.2 Ton acumulados durante el periodo de diseño.[31]

### 1.1.3.9.3. Confiabilidad (R)

Es la probabilidad de que el sistema estructural que conforma el pavimento cumpla con su comportamiento previsto durante su vida útil resistiendo los efectos del medio ambiente y tránsito que tendrá lugar en ese periodo de tiempo. En el diseño de pavimentos la confiabilidad es un factor importante para determinar los costos dado que un nivel de confiabilidad alto implica pavimentos más costosos pero con menor costo de mantenimiento, en cambio un nivel de confiabilidad bajo permite obtener pavimentos más económicos pero con un mayor costo de mantenimiento.[41]

**Tabla 14. Niveles de confiabilidad en función de la clasificación de las carreteras**

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad "R", recomendado	
	Zona urbana	Zona Rural
Interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

### 1.1.3.9.4. Desviación estándar normal ( $Z_r$ )

La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación de diseño por tal motivo se debe utilizar el coeficiente estadístico conocido como desviación estándar normal que representa la confiabilidad para un conjunto de datos en una distribución normal. A continuación se especifican los valores de la desviación estándar normal " $Z_r$ " correspondientes a los niveles de confiabilidad "R".[40]

**Tabla 15. Valores de la desviación estándar normal en función de la confiabilidad**

<b>Confiabilidad “R%”</b>	<b>Desviación estándar normal “Zr”</b>
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.576
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

#### **1.1.3.9.5. Desviación estándar global (So)**

Es un valor que toma en cuenta las posibles variaciones de la predicción del tránsito y de otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. Los valores de desviación estándar global “So” para el diseño de pavimentos flexibles varían entre un rango de 0.40 - 0.50 y de acuerdo a la guía AASHTO recomienda usar un valor promedio de 0.45.[40]

#### **1.1.3.9.6. Índice de serviciabilidad (PSI)**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad para brindar un uso confortable y seguro de circulación a los usuarios.



La superficie del pavimento se evalúa de acuerdo al PSI (Índice de Servicio Presente) en base a una escala de valores que varía entre 0 y 5. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece como se indica a continuación en la siguiente tabla.[41]

**Tabla 16. Evaluación del índice de serviciabilidad**

Índice de serviciabilidad	Condición
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

**Índice de serviciabilidad inicial (Po):** Es la condición inicial u original del pavimento inmediatamente después de su construcción. La guía AASHTO establece un índice de serviciabilidad inicial para pavimentos flexibles de 4.2.[41]

**Índice de serviciabilidad final (Pt):** Es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción, ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad. El índice de serviciabilidad final depende de la importancia de la vialidad, para lo cual la norma AASHTO recomienda valores de 2.5 o 3 para caminos principales y un valor de 2 para caminos secundarios.[41]

La pérdida de serviciabilidad se puede determinar de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

**Donde:**

- **$\Delta\text{PSI}$**  = Variación de serviciabilidad.
- **$P_o$**  = Índice de serviciabilidad inicial.
- **$P_t$**  = Índice de serviciabilidad final.

### 1.1.3.9.7. Módulo de resiliencia de la subrasante (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la capacidad de soporte de los suelos según su comportamiento no lineal y se ha convertido en un parámetro ampliamente aceptado para definir la resistencia de los suelos de la subrasante. En definitiva, considera las deformaciones recuperables de los suelos ante la aplicación de esfuerzos. Este ensayo fue desarrollado con el fin de estudiar de mejor manera el comportamiento que tienen los suelos al ser sometidos a cargas dinámicas inducidas por las ruedas de los vehículos. [42]

El módulo resiliente de los materiales y suelos se determina con un equipo de laboratorio especial que no es de fácil adquisición, por tal motivo la guía de diseño AASHTO-93 ha propuesto el uso de correlaciones a partir de ensayos de CBR de laboratorio.[13]

- Ecuación propuesta por la AASHTO-93 para suelos de subrasante con valores de  $CBR < 10\%$ .

$$\mathbf{Mr (psi) = 1500xCBR}$$

- Ecuación propuesta en Sudáfrica para suelos de subrasante con  $CBR \geq 10\%$ , pero  $\leq$  a  $20\%$ .

$$\mathbf{Mr (psi) = 3000xCBR^{0.65}}$$

- Ecuación propuesta por la AASHTO-93 para suelos granulares con valores de  $CBR > 20\%$ .

$$\mathbf{Mr (psi) = 4326 * \ln(CBR) + 241}$$

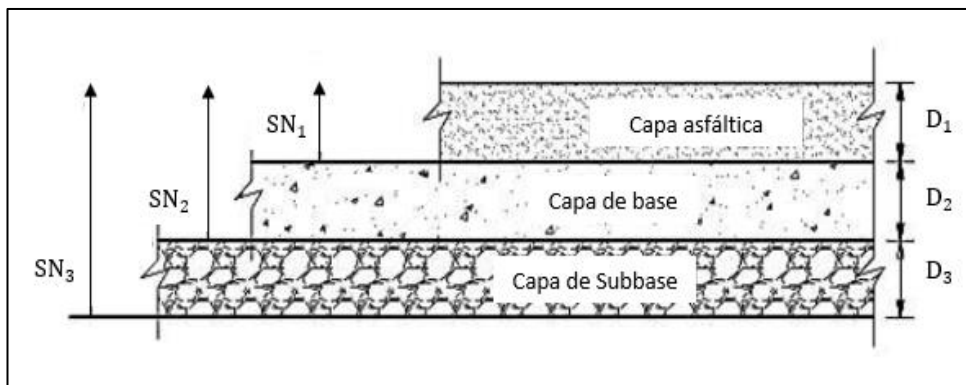
### 1.1.3.9.8. Determinación de espesores por capa

Con la ecuación general básica de diseño AASHTO se obtiene el número estructural “SN” el mismo que representa el espesor total de la sección estructural del pavimento. Ahora se requiere determinar los distintos espesores de cada una de las capas que conformarán el paquete estructural (capa de rodadura, base y subbase) para lo cual se utilizará la siguiente ecuación.[40]

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

**Donde:**

- $a_1, a_2, a_3$  = Coeficientes estructurales de las capas: asfáltica, base y subbase respectivamente.
- $D_1, D_2, D_3$  = Espesores de las capas: asfáltica, base y subbase respectivamente.
- $m_2, m_3$  = Coeficientes de drenaje para las capas base y subbase respectivamente.



**Figura 22. Espesores de las capas de un pavimento flexible**

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

En la siguiente tabla se muestran los espesores  $D_1$  y  $D_2$  mínimos sugeridos por la guía AASHTO en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados.

**Tabla 17. Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular**

Tránsito ( $W_{18}$ )	Carpeta asfáltica ( $D_1$ )	Capa base ( $D_2$ )
< 50 000	2.5 cm	10 cm
50 001 a 150 000	5 cm	10 cm
150 001 a 500 000	6.5 cm	10 cm
500 001 a 2 000 000	7.5 cm	15 cm
2 000 001 a 7 000 000	9 cm	15 cm
>7 000 000	10 cm	15 cm

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

### 1.1.3.9.9. Coeficientes estructurales o de capa ( $a_1$ , $a_2$ , $a_3$ )

Estos coeficientes son una medida de la capacidad de soporte de cada una de las capas que conforma la estructura del pavimento para resistir las cargas producidas por la circulación vehicular.[41]

#### Ábacos para determinar los coeficientes estructurales

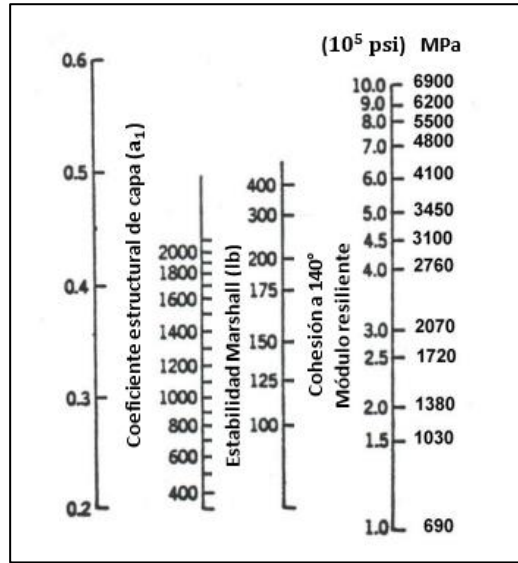


Figura 23. Nomograma para estimar el coeficiente de la carpeta asfáltica " $a_1$ "

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

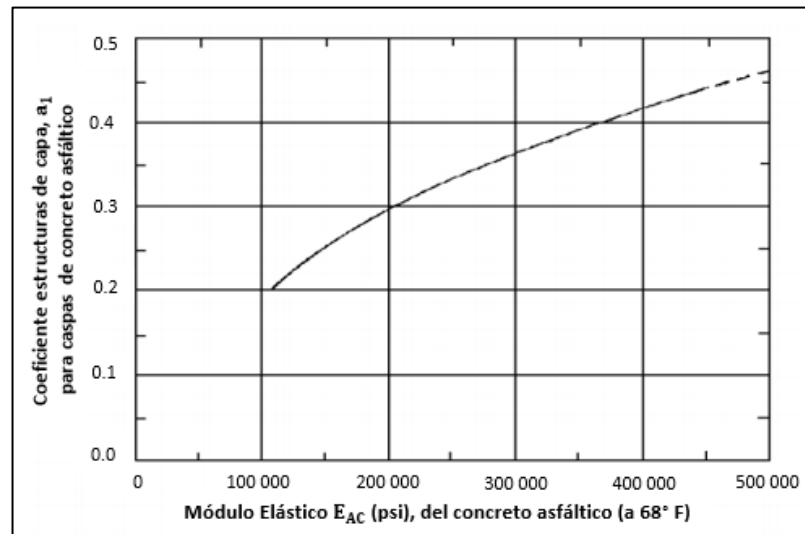
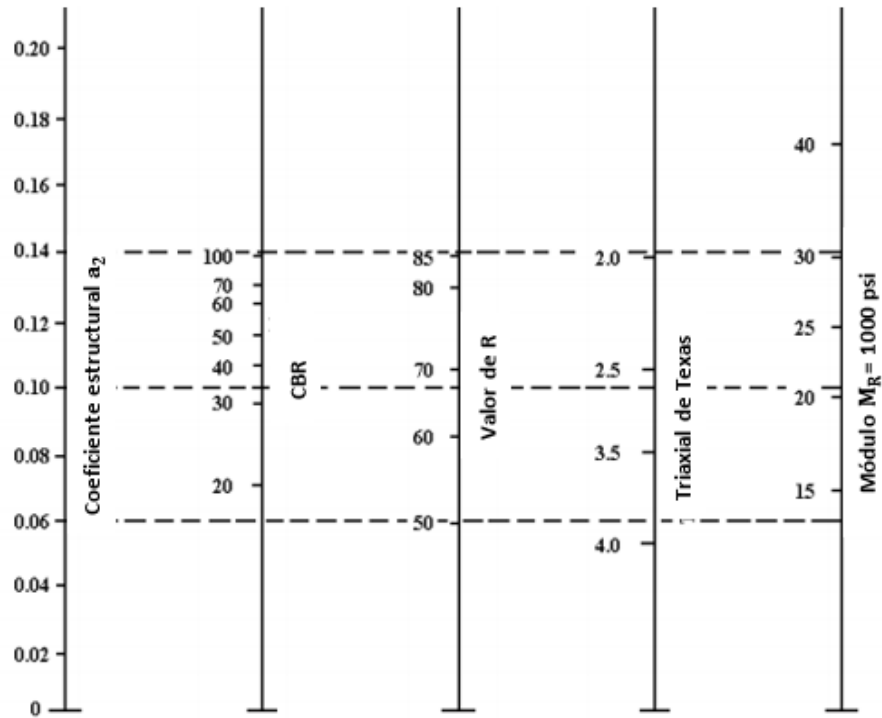


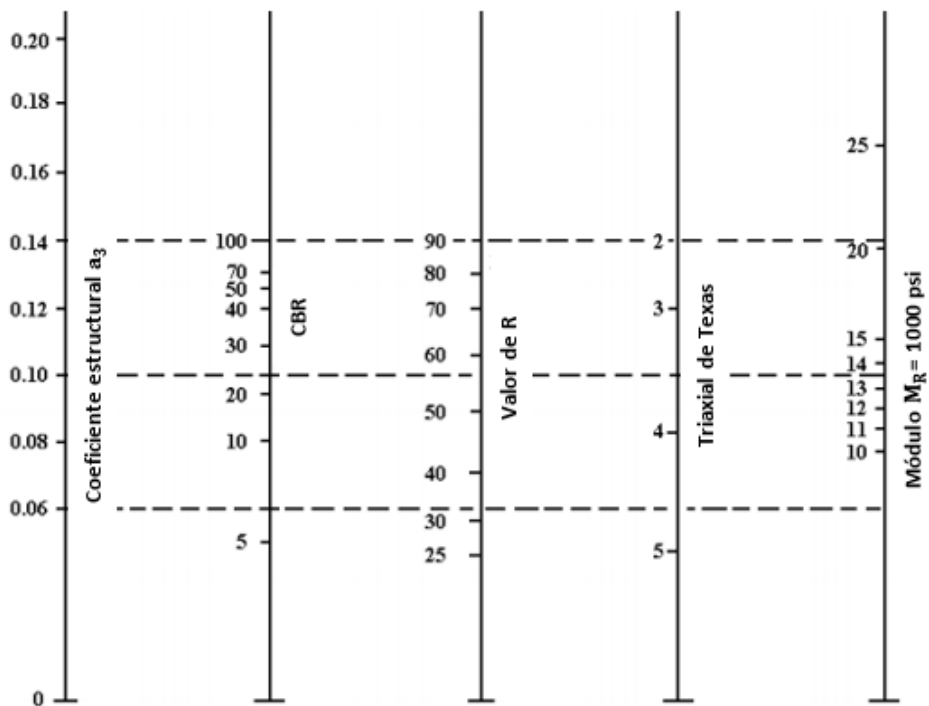
Figura 24. Ábaco para estimar el coeficiente de la carpeta asfáltica " $a_1$ "

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



**Figura 25. Ábaco para estimar el coeficiente de la base granular "a2"**

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993



**Figura 26. Ábaco para estimar el coeficiente de la subbase granular "a3"**

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

### 1.1.3.9.10. Coeficientes de drenaje ( $m_2$ , $m_3$ )

Los valores de estos coeficientes básicamente dependen de la calidad del drenaje, que se define en términos del tiempo en que tarda el agua en ser evacuada o eliminada de las capas granulares del pavimento, y del porcentaje de tiempo a lo largo de un año en la cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.[43]

**Tabla 18. Calidad del drenaje**

Calidad del drenaje	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mayor de 15 horas

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

En la siguiente tabla se presentan valores recomendados de coeficientes de drenaje  $m_2$  y  $m_3$ , para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

**Tabla 19. Valores de coeficientes de drenaje**

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
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
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

### 1.1.3.10. Conceptos estadísticos

Antes de iniciar el análisis de regresión y correlación es importante recordar algunos conceptos y fórmulas de algunas medidas de posición y de dispersión que serán indispensables para el desarrollo de dicho análisis.

#### 1.1.3.10.1. Media aritmética

La media aritmética se define como la suma de los valores observados dividido para el número total de observaciones, la media aritmética simplemente es un promedio numérico y se denota por  $\bar{X}$ . [44]

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum X_i}{n}$$

**Donde:**

- $\bar{X}$  = Media aritmética.
- $\sum X_i$  = Sumatoria de los datos observados.
- $n$  = Número total de datos.

#### 1.1.3.10.2. Varianza

La varianza es una medida que cuantifica el grado de dispersión o de variación de los valores de una variable cuantitativa con respecto a su media aritmética. Se define como la media aritmética de los cuadrados de las diferencias entre los valores que toma la variable y su media aritmética. [44]

$$S^2 = \frac{\sum (X_i^2)}{n} - \bar{X}^2$$

**Donde:**

- $S^2$  = Varianza.
- $\sum X_i^2$  = Sumatoria de los valores de la variable X al cuadrado.
- $\bar{X}^2$  = Media aritmética al cuadrado.
- $n$  = Número total de datos.

### 1.1.3.10.3. Desviación estándar o desviación típica

La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza y se denota por S.[44]

$$S = \sqrt{S^2}$$

**Donde:**

- S = Desviación estándar.
- S<sup>2</sup> = Varianza.

### 1.1.3.10.4. Covarianza

La covarianza mide el grado de variación conjunta entre dos variables y se define como la media aritmética de los productos de las desviaciones entre los valores que toman las variables y sus medias aritméticas. A la covarianza se lo denota como Cov (X,Y) o S<sub>xy</sub>. [45]

$$S_{xy} = \frac{\sum(X_i \cdot Y_i)}{n} - \bar{X} \cdot \bar{Y}$$

**Donde:**

- S<sub>xy</sub> = Covarianza.
- x<sub>i</sub> = Valor de la variable x.
- y<sub>i</sub> = Valor de la variable y.
- $\bar{X}\bar{Y}$  = Medias aritméticas.
- n = Número total de datos.

### 1.1.3.10.5. Regresión

El análisis de regresión es una técnica estadística que permite encontrar una ecuación matemática que describa algebraicamente la relación o dependencia entre dos o más variables, además indica si la función matemática es de tipo lineal, parabólica, exponencial o de cualquier otro tipo. [45]



### 1.1.3.10.6. Correlación

La correlación permite medir el grado de relación o dependencia que existe entre dos o más variables, básicamente se refiere a la dirección o sentido (positivo o negativo) y la cercanía o fuerza de asociación entre las variables. Estudiar la correlación significa analizar hasta qué punto es significativa la dependencia de una variable con la otra. [46]

### 1.1.3.10.7. Coeficiente de correlación (r)

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida que indica la fuerza de relación existente entre dos variables, esta medida o índice de correlación varía entre los límites -1 y +1. Y se lo puede determinar con las siguientes fórmulas.[47]

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y}$$
$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

**Donde:**

- **r** = Coeficiente de correlación de Pearson.
- **S<sub>xy</sub>** = Covarianza de X e Y.
- **S<sub>x</sub>** = Desviación estándar de X.
- **S<sub>y</sub>** = Desviación estándar de Y.
- **∑x** = Sumatoria de los valores de la variable X.
- **∑y** = Sumatoria de los valores de la variable Y.
- **n** = Número total de datos.

Un valor de  $r = 0$  indica que no existe una relación entre las variables; los valores  $\pm 1$  son indicadores de una correlación perfecta positiva y negativa respectivamente. Para interpretar de mejor manera el coeficiente de correlación se usa la escala que se indica en la siguiente tabla.[47]

**Tabla 20. Escalas de valores de correlación**

Valor de (r)	Significado
$\pm 1$	Correlación perfecta
$\pm 0.9 \leq r < \pm 0.99$	Correlación excelente
$\pm 0.7 \leq r < \pm 0.89$	Correlación buena
$\pm 0.4 \leq r < \pm 0.69$	Correlación regular
$\pm 0.2 \leq r < \pm 0.39$	Correlación mala
$\pm 0.01 \leq r < \pm 0.19$	Correlación muy mala
0	No hay correlación

**Fuente:** Interaprendizaje de estadística básica, Mario Suárez

#### 1.1.3.10.8. Coeficiente de determinación ( $r^2$ )

El coeficiente de determinación es una medida de la proximidad del ajuste de la función de regresión. Cuanto mayor sea el valor de  $r^2$  mejor será el ajuste y más útil la ecuación de regresión como instrumento de predicción o estimación, matemáticamente se define como el coeficiente de correlación al cuadrado o también se puede determinar con la siguiente fórmula.[44]

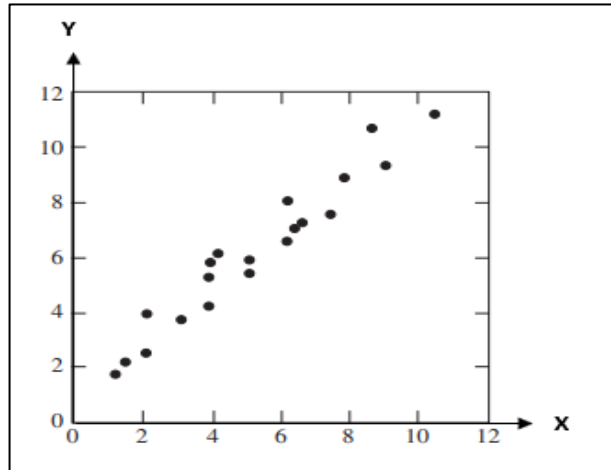
$$r^2 = \frac{(\sum xy - \frac{\sum x * \sum y}{n})^2}{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}$$

**Donde:**

- $r^2$  = Coeficiente de correlación de Pearson.
- $\sum x$  = Sumatoria de los valores de la variable X.
- $\sum y$  = Sumatoria de los valores de la variable Y.
- $\sum xy$  = Sumatoria de los valores de X por Y.
- $n$  = Número total de datos.

### 1.1.3.10.9. Diagramas de dispersión

Se denominan diagramas de dispersión, esparcimiento o nube de puntos a la gráfica donde se muestra la localización de los pares ordenados X e Y en un sistema de coordenadas rectangulares, permitiendo determinar mediante la regresión la ecuación que más se ajusta al conjunto de datos.[45]



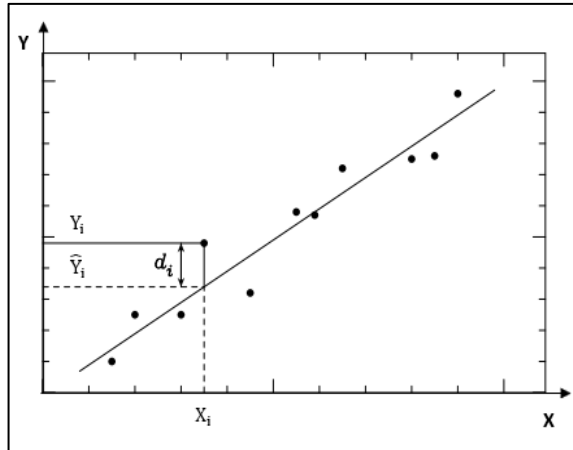
**Figura 27. Diagrama de dispersión**

**Fuente:** Estadística para ingenieros y científicos, William Navidi

### 1.1.3.10.10. Principio de mínimos cuadrados

El procedimiento estadístico para encontrar una función que mejor se ajuste o aproxime a un conjunto de datos o nube de puntos se le conoce como método de los mínimos cuadrados o curva de mejor ajuste.[48]

Para dar una mejor definición se considera una muestra de “n” elementos en la que la variable estadística bidimensional toma los valores  $(X_1, Y_1)$   $(X_2, Y_2)$   $(X_3, Y_3)$  ...  $(X_n, Y_n)$ . A cada valor de  $X_i$  de la variable X le corresponde un valor  $Y_i$  de la variable Y. A la diferencia entre los valores  $X_i$ ,  $Y_i$  y el valor correspondiente determinado de acuerdo con la recta  $\hat{Y}_i$  se denota como  $d_i$  y se le conoce como: error, desviación o residual, y puede ser positivo, negativo o cero. Para que la función a determinar sea la que mejor se ajuste a la nube de puntos de entre todas las funciones posibles, dichas distancias  $d_i$  deberán ser lo más pequeñas posibles.[48]



**Figura 28. Desviaciones de valores observados y ajustados**

**Fuente:** Estadística básica para estudiantes de ciencias, Javier Gorgas García

### 1.1.3.10.11. Correlación simple

Se habla de una correlación simple cuando intervienen únicamente dos variables, variable independiente “X” y variable dependiente “Y”. Es decir, la variable dependiente actúa sobre la variable independiente.

#### Modelo lineal

La recta de mínimos cuadrados se define como la línea que hace mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones respecto a todos los puntos.

La recta de mínimos cuadrados que aproxima el conjunto de “puntos  $(X_1, Y_1)$   $(X_2, Y_2)$   $(X_3, Y_3)$ ... $(X_n, Y_n)$ ” tiene por ecuación.[47]

$$Y = a + bX$$

Las constantes a y b se pueden determinar al resolver el sistema de ecuaciones que se denominan como ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados.[47]

$$\sum Y = aN + b\sum X$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2$$

Las constantes a y b también pueden determinarse aplicando las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{\sum Y \cdot \sum X^2 - \sum X \cdot \sum XY}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{N \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

**Donde:**

- $\sum X$  = Sumatoria de la variable independiente X.
- $\sum Y$  = Sumatoria de la variable dependiente Y.
- $\sum XY$  = Sumatoria de la variable X por la variable Y.
- N = Número total de datos.
- **a, b** = Constantes.

**Tabla 21. Formato para correlaciones simples de tipo lineal**

Nº	X	Y	X·Y	X <sup>2</sup>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
$\sum N^\circ$	$\sum X$	$\sum Y$	$\sum X \cdot Y$	$\sum X^2$

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### **Modelo exponencial**

Una línea de tendencia exponencial es muy útil cuando los valores de los datos aumentan o disminuyen a intervalos cada vez mayores. La expresión que define la ecuación predictora exponencial es:

$$Y = a \cdot e^{b \cdot X}$$

Donde las constantes a y b pueden determinarse aplicando las siguientes fórmulas:

$$b = \frac{N \cdot \sum XY' - \sum X \cdot \sum Y'}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \bar{Y}' - b \cdot \bar{X}$$

**Donde:**

- $\sum X$  = Sumatoria de la variable independiente X.
- $\sum Y$  = Sumatoria de la variable dependiente Y.
- $\sum Y'$  = Sumatoria del logaritmo natural de la variable Y.
- $\sum XY$  = Sumatoria de la variable X por la variable Y.
- N = Número total de datos.
- $\bar{Y}', \bar{X}$  = Medias aritméticas.
- a, b = Constantes.

**Tabla 22. Formato para correlaciones simples de tipo exponencial**

Nº	X	Y	Y'= ln(Y)	X·Y'	X <sup>2</sup>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
$\sum N^\circ$	$\sum X$	$\sum Y$	$\sum Y'$	$\sum X \cdot Y'$	$\sum X^2$

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**Modelo potencial**

La regresión potencial examina las variaciones de una variable cuando la otra permanece constante. Su ecuación predictora es:

$$Y = a \cdot X^b$$

Donde las constantes a y b pueden determinarse aplicando las siguientes fórmulas:

$$b = \frac{N \cdot \sum X'Y' - \sum X' \cdot \sum Y'}{N \cdot \sum X'^2 - (\sum X')^2}$$

$$a = \bar{Y}' - b \cdot \bar{X}'$$

**Donde:**

- $\sum X$  = Sumatoria de la variable independiente X.
- $\sum Y$  = Sumatoria de la variable dependiente Y.
- $\sum X'$  = Sumatoria del logaritmo de la variable X.
- $\sum Y'$  = Sumatoria del logaritmo de la variable Y.
- $\sum XY$  = Sumatoria de la variable X por la variable Y.
- $\bar{Y}', \bar{X}'$  = Medias aritméticas.
- N = Número total de datos.
- **a, b** = Constantes.

**Tabla 23. Formato para correlaciones simples de tipo potencial**

N°	X	Y	X'= ln(X)	Y'= ln(Y)	X'·Y'	X' <sup>2</sup>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
$\sum X$	$\sum X$	$\sum Y$	$\sum X'$	$\sum Y'$	$\sum X' \cdot Y'$	$\sum X'^2$

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**Modelo logarítmico**

La regresión logarítmica tiene por ecuación predictora:

$$Y = a + b * \ln(X)$$

Las constantes a y b pueden determinarse aplicando las siguientes fórmulas:

$$b = \frac{N \cdot \sum X'Y - \sum X' \cdot \sum Y}{N \cdot \sum X'^2 - (\sum X')^2}$$

$$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X}'$$

**Donde:**

- $\sum X$  = Sumatoria de la variable independiente X.
- $\sum Y$  = Sumatoria de la variable dependiente Y.
- $\sum X'$  = Sumatoria del logaritmo de la variable X.
- $\sum XY$  = Sumatoria de la variable X por la variable Y.
- $\bar{Y}, \bar{X}'$  = Medias aritméticas.
- N = Número total de datos.
- a, b = Constantes.

**Tabla 24. Formato para correlaciones simples de tipo logarítmico**

Nº	X	Y	X'= ln(X)	X'·Y	X' <sup>2</sup>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
$\sum N^\circ$	X	Y	$\sum X'$	$\sum X' \cdot Y$	$\sum X'^2$

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**1.1.3.10.12. Correlación múltiple**

Al grado de relación que existe entre tres o más variables se conoce como correlación múltiple, donde la variable dependiente actúa sobre varias variables independientes.



### Modelo lineal

Entre las variables X, Y, Z puede haber una relación que se puede expresar a través de la siguiente ecuación.[49]

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y$$

Esta ecuación representa un plano al que se le conoce como plano de aproximación, el cual considera un conjunto de datos muestrales  $(X_1, Y_1, Z_1)$   $(X_2, Y_2, Z_2)$   $(X_3, Y_3, Z_3)$   $(X_n, Y_n, Z_n)$  en un diagrama de dispersión. Si Z se aproxima a partir de los valores de X e Y a este plano se lo llamará plano de regresión de Z en X e Y, donde las constantes  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$  se determinan de manera simultánea al resolver el siguiente sistema de ecuaciones.[49]

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

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

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

Posteriormente se calcula el coeficiente de determinación mediante la siguiente fórmula:

$$r^2 = \frac{a_0 \sum Z + a_1 \sum (X \cdot Z) + a_2 \sum (Y \cdot Z) - N(Z_{med})^2}{\sum (Z^2) - N(Z_{med})^2}$$

**Tabla 25. Formato para correlaciones múltiples de tipo lineal**

N°	X	Y	Z	X·Z	Y·Z	X·Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	Z <sup>2</sup>
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
$\sum N^\circ$	$\sum X$	$\sum Y$	$\sum Z$	$\sum X \cdot Z$	$\sum Y \cdot Z$	$\sum X \cdot Y$	$\sum X^2$	$\sum Y^2$	$\sum Z^2$

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

## Modelo exponencial

La correlación múltiple de tipo exponencial tiene por ecuación:

$$Z = a_0 * e^{(a_1 \cdot X)} * e^{(a_2 \cdot Y)}$$

Se hace un cambio de variable calculando el logaritmo natural de Z.

$$Z' = \ln(Z)$$

Con este cambio de variable se obtiene las siguientes ecuaciones que se resolverán simultáneamente por mínimos cuadrados mediante el método de la matriz inversa.

$$\sum Z' = a_0 N + a_1 (\sum X) + a_2 (\sum Y)$$

$$\sum XZ' = a_0 (\sum X) + a_1 (\sum X^2) + a_2 (\sum XY)$$

$$\sum YZ' = a_0 (\sum Y) + a_1 (\sum XY) + a_2 (\sum Y^2)$$

De los coeficientes calculados se corrige el coeficiente  $a_0$ , de la siguiente manera:

$$a_0 = e^{a_0}$$

Los coeficientes  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$  se remplazan en la ecuación múltiple de tipo exponencial.

$$Z = a_0 * e^{(a_1 \cdot X)} * e^{(a_2 \cdot Y)}$$

Posteriormente se calcula el coeficiente de determinación mediante la siguiente fórmula:

$$r^2 = \frac{a_0 \sum Z' + a_1 \sum (X \cdot Z') + a_2 \sum (Y \cdot Z') - N(Z'_{med})^2}{\sum (Z'^2) - N(Z'_{med})^2}$$

**Tabla 26. Formato para correlaciones múltiples de tipo exponencial**

Nº	X	Y	Z	X' = ln(X)	X · Z'	Y · Z'	X · Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	Z <sup>2</sup>
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
Σ Nº	Σ X	Σ Y	Σ Z	Σ X'	Σ XZ'	Σ YZ'	Σ XY	Σ X <sup>2</sup>	Σ Y <sup>2</sup>	Σ Z <sup>2</sup>

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### Modelo potencial

La correlación múltiple de tipo potencial tiene por ecuación:

$$Z = a_0 * X^{a_1} * Y^{a_2}$$

Se realiza un cambio de variable calculando el logaritmo de X, Y, Z.

$$X' = \log(X)$$

$$Y' = \log(Y)$$

$$Z' = \log(Z)$$

Con estos cambios de variables se obtiene las siguientes ecuaciones que se resolverán simultáneamente por mínimos cuadrados mediante el método de la matriz inversa.

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

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

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

De los coeficientes calculados se corrige el coeficiente  $a_0$ , de la siguiente manera:

$$a_0 = 10^{a_0}$$

Los coeficientes  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  se remplazan en la ecuación múltiple de tipo potencial.

$$Z = a_0 * X^{a_1} * Y^{a_2}$$

Posteriormente se calcula el coeficiente de determinación mediante la siguiente fórmula:

$$r^2 = \frac{a_0 \sum Z' + a_1 \sum (X' \cdot Z') + a_2 \sum (Y' \cdot Z') - N(Z'_{med})^2}{\sum (Z'^2) - N(Z'_{med})^2}$$

**Tabla 27. Formato para correlaciones múltiples de tipo potencial**

N°	X	Y	Z	X' = log(X)	Y' = log(Y)	Z' = log(Z)	X' · Z'	Y' · Z'	X' · Y'	X'^2	Y'^2	Z'^2
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
Σ N°	Σ X	Σ Y	Σ Z	Σ X'	Σ Y'	Σ Z'	Σ X'·Z'	Σ Y'·Z'	Σ X'·Y'	Σ X'^2	Σ Y'^2	Σ Z'^2

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### Modelo logarítmico

La ecuación de la correlación múltiple de tipo logarítmica se expresa como:

$$Z = a_0 + a_1 \log X + a_2 Y$$

Se hace un cambio de variable calculando el logaritmo de X y se expresa de la siguiente manera:

$$X' = \log(X)$$

Con este cambio de variable se obtiene las siguientes ecuaciones que se resolverán simultáneamente por mínimos cuadrados mediante el método de la matriz inversa.

$$\sum Z = a_0 N + a_1 (\sum X') + a_2 (\sum Y)$$

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

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

Los coeficientes  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  se remplazan en la ecuación múltiple de tipo logarítmica.

$$Z = a_0 + a_1 \log X + a_2 Y$$

Posteriormente se calcula el coeficiente de determinación mediante la siguiente fórmula:

$$r^2 = \frac{a_0 \sum Z + a_1 \sum (X' \cdot Z) + a_2 \sum (Y \cdot Z) - N(Z_{med})^2}{\sum (Z^2) - N(Z_{med})^2}$$

**Tabla 28. Formato para correlaciones múltiples de tipo logarítmico**

N°	X	Y	Z	X' = log(X)	X'·Z	Y·Z	X'·Y	X'^2	Y^2	Z^2
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
$\sum N^\circ$	$\sum X$	$\sum Y$	$\sum Z$	$\sum X'$	$\sum X'Z$	$\sum YZ$	$\sum X'Y$	$\sum X'^2$	$\sum Y^2$	$\sum Z^2$

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

#### 1.1.4. Hipótesis

Las correlaciones entre el CBR de laboratorio, DCP medido en campo y las propiedades índice y mecánica de los suelos de las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez del cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, tendrán un grado de confiabilidad mayor al 50%.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Determinar la correlación entre el CBR de laboratorio, DCP medido en campo y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez del cantón Pelileo, provincia de Tungurahua.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos de las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez del cantón Pelileo, mediante la aplicación de ensayos de campo y ensayos de laboratorio.
- 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.
- Aplicar los resultados de la investigación en el diseño estructural de dos pavimento flexible de acuerdo a lo establecido en la guía AASHTO-1993.
- Zonificar los diferentes tipos de suelos de las parroquias en estudio de acuerdo con la clasificación de suelos SUCS, AASHTO y las propiedades índice obtenidas.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales y equipos

A continuación, se describen los materiales y equipos que se emplearon para realizar los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio en base a cada una de las normas correspondientes.

**Tabla 29. Materiales y equipos**

<b>ENSAYOS DE CAMPO</b>			
<b>Ensayos</b>	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Referencia Normativa</b>
Pozos a Cielo Abierto	Muestras in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pico</li> <li>- Barra</li> <li>- Pala</li> <li>- Flexómetro</li> </ul>	AASHTO T-87-70
Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuchareta</li> <li>- Cincel</li> <li>- Placa metálica</li> <li>- Brocha</li> <li>- Martillo</li> <li>- Clavos</li> <li>- Cono y arena de Ottawa</li> <li>- Fundas plásticas</li> <li>- Balanza electrónica</li> </ul>	AASHTO T-191-2014 ASTM D-1556-07
Penetrómetro dinámico de cono (DCP)	Muestra in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo DCP</li> </ul>	ASTM D-6951-03
<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>			
<b>Ensayos</b>	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Referencia Normativa</b>
Gravedad Específica de Sólidos	50 gr. de Suelo que pase el Tamiz N° 4  Agua destilada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamiz N° 4</li> <li>- Picnómetro</li> <li>- Embudo</li> <li>- Pipeta</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Recipiente metálico</li> <li>- Balanza electrónica</li> <li>- Horno o estufa</li> </ul>	AASHTO T-100-2015 ASTM D-854-10

Contenido de humedad	20 gr. de suelo mínimo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horno de secado</li> <li>- Balanza electrónica</li> <li>- Recipientes metálicos</li> </ul>	ASTM D-2216-71
Límite Líquido (Copa de Casagrande)	150 a 200 gr. de suelo que pase el Tamiz N° 40  Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Copa de Casagrande</li> <li>- Acanalador</li> <li>- Recipiente metálico</li> <li>- Mortero de porcelana</li> <li>- Balanza electrónica</li> <li>- Tamiz N° 40</li> </ul>	AASHTO T-89-2013 ASTM D-4318
Límite Plástico	15 a 20 gr. de suelo que pase el Tamiz N° 40  Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placa de vidrio</li> <li>- Mortero de porcelana</li> <li>- Recipientes metálicos</li> <li>- Balanza electrónica</li> <li>- Tamiz N° 40</li> </ul>	AASHTO T-90 2016 ASTM D-4318
Granulometría	250 gr. de suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamizadora eléctrica</li> <li>- Juego de tamices redondos</li> <li>- Fuente redonda</li> <li>- Brocha</li> <li>- Recipientes</li> <li>- Balanza electrónica</li> </ul>	AASHTO T-88-2013 ASTM D-422-63
Proctor Modificado Tipo B	16 a 29 kg. de suelo que pase el Tamiz N° 4  Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Martillo de compactación de 10 lb</li> <li>- Molde de 6" con collarín</li> <li>- Fuente metálica cuadrada</li> <li>- Probeta graduada</li> <li>- Palustre</li> <li>- Enrasador</li> <li>- Tamiz N° 4</li> <li>- Balanza electrónica</li> </ul>	AASHTO T-180-2018 ASTM D-1557
Relación de Soporte de California (CBR)	18 kg, de suelo que pase el Tamiz N° 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máquina de compresión</li> <li>- Tamiz N° 4</li> </ul>	AASHTO T-193-2013 ASTM D-1883-07

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez**



## **2.2. Métodos**

### **2.2.1. Nivel o tipo de investigación**

El trabajo de investigación emplea los siguientes tipos de investigación: exploratoria, experimental, correlacional, de campo, de laboratorio y bibliográfica.

- **Investigación exploratoria**

Se establece que la investigación es exploratoria, porque en las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez del cantón Pelileo, no existe un análisis de regresión entre los ensayos CBR de laboratorio, DCP medido en campo y las propiedades índice y mecánica de dichos suelos.

- **Investigación experimental**

La investigación en este proyecto es de tipo experimental debido a que se realizó ensayos de campo y ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y mediante correlaciones experimentales obtener el índice de soporte CBR de una manera mucho más rápida, las mismas que podrán servir de referencia para un diseño preliminar de la estructura del pavimento.

- **Investigación correlacional**

La investigación es de carácter correlacional porque permitió determinar el grado de asociación o relación que existe entre el CBR, DCP y las propiedades índice y mecánicas de los suelos en estudio.

- **Investigación de campo**

Se utilizó la investigación de campo con el fin de realizar un reconocimiento de las 5 parroquias en estudio y proceder a los ensayos in situ como es la penetración dinámica de cono y la densidad de campo, además se realizó una extracción representativa de muestras de suelo natural para su posterior análisis en el laboratorio.

- **Investigación de laboratorio**

Para determinar las propiedades índice y mecánicas de las muestras extraídas de suelo, se realizó ensayos de laboratorio como: Granulometría, Límites de Atterberg, Gravedad específica, Proctor Modificado tipo B y CBR.

- **Investigación bibliográfica**

En cuanto a la información bibliográfica las respectivas consultas se realizaron en libros referentes al área de investigación del proyecto y en medios tecnológicos como son: consultas en el internet, investigaciones en artículos científicos, tesis, normas y reglamentos.

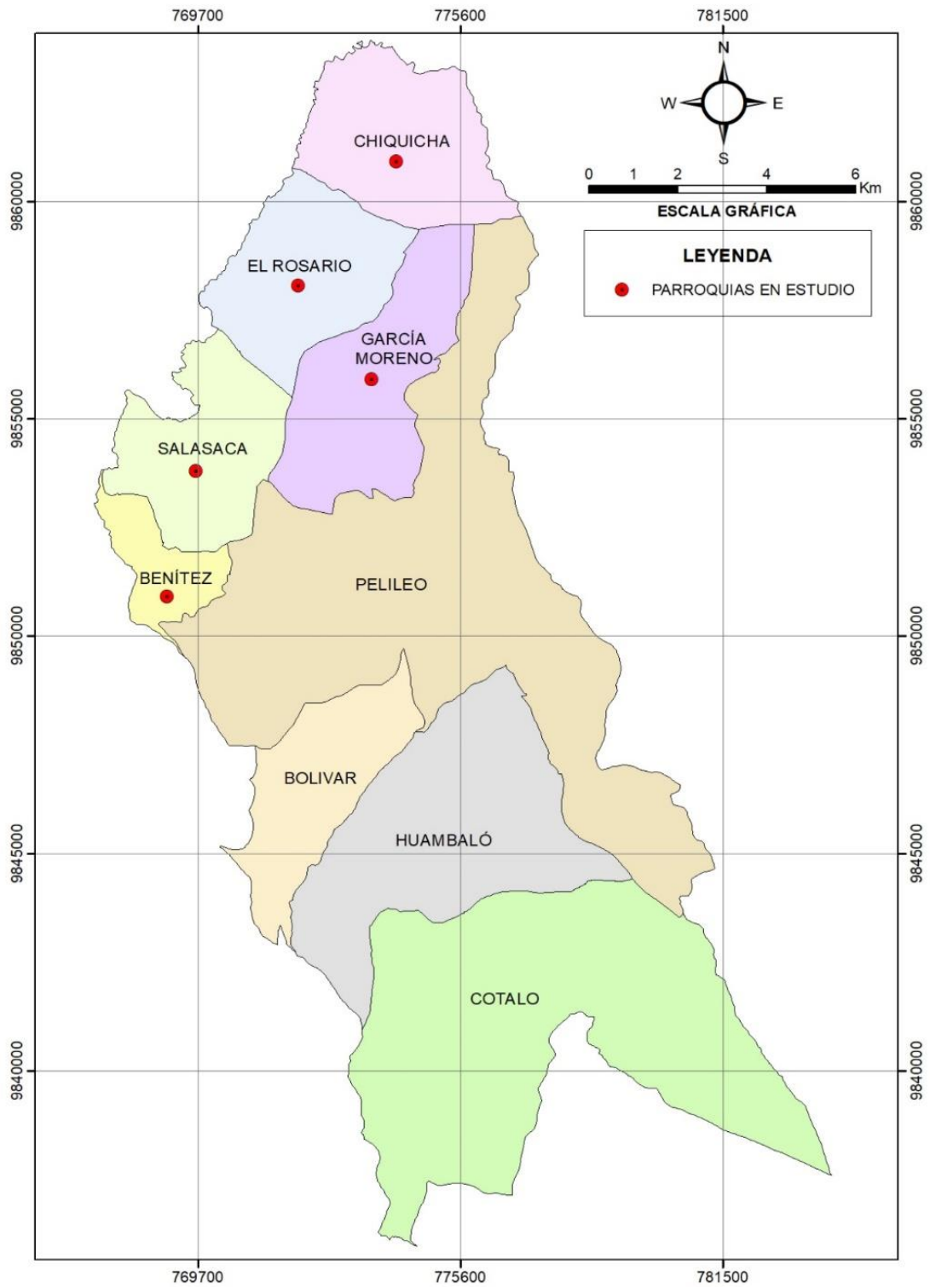
### **2.3. Población y muestra**

- **Población**

La población motivo de estudio es el suelo de las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez pertenecientes al cantón San Pedro de Pelileo provincia de Tungurahua.

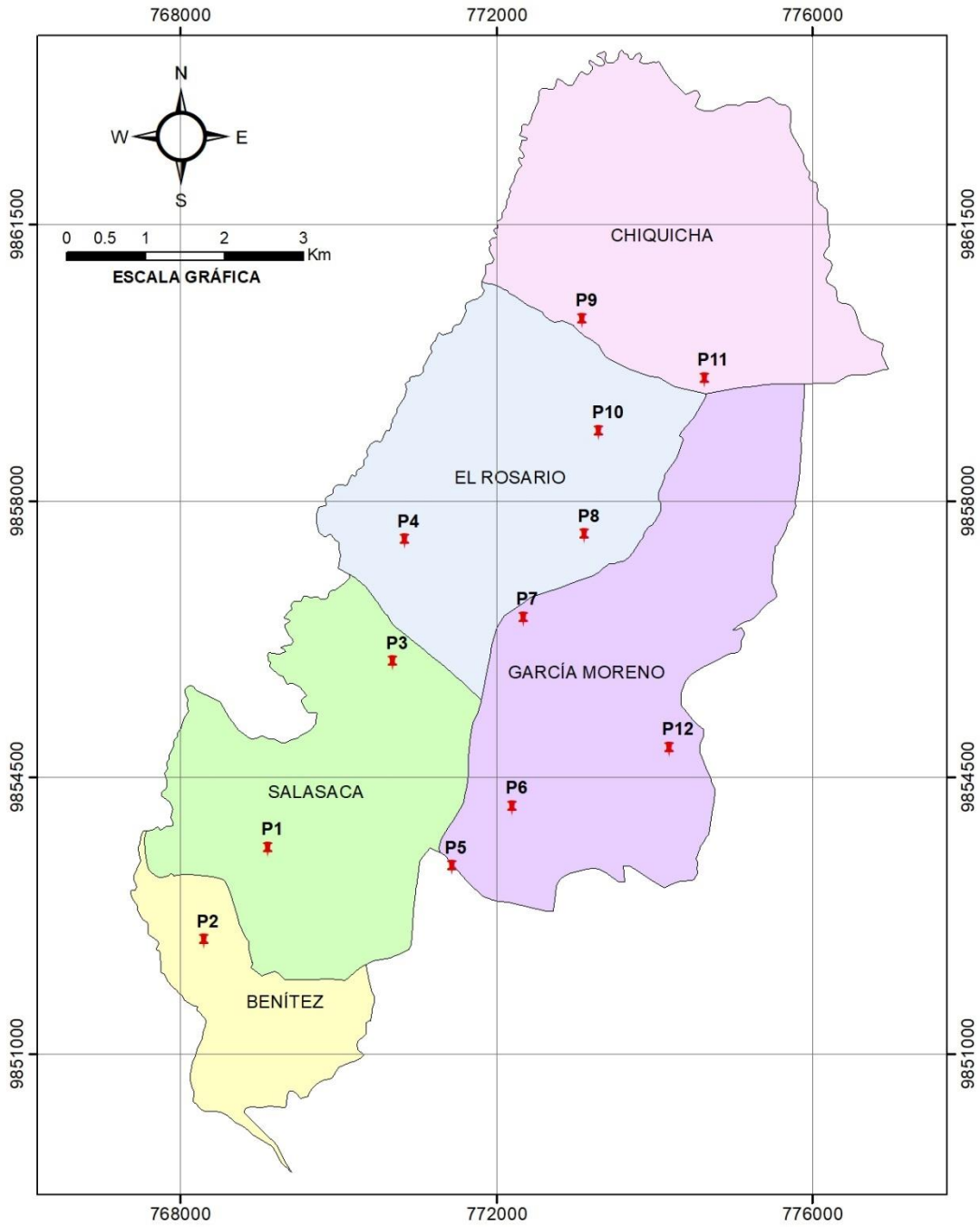
- **Muestra**

La muestra en la presente investigación está conformada por el suelo extraído de 12 calicatas ubicadas a los costados del trazado de las siguientes vías: Salasaca - Benítez 2 muestras, El Rosario - Salasaca 2 muestras, Salasaca - García Moreno 2 muestras, García Moreno - El Rosario 2 muestras, Chiquicha - El Rosario 2 muestras y Chiquicha García Moreno 2 muestras. Obteniendo un total de 12 muestras que servirán para determinar y analizar sus propiedades índice y mecánicas.



**Figura 29. Mapa de ubicación de las parroquias objeto de estudio**

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez**



**Figura 30. Mapa de ubicación de los puntos objeto de estudio**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**Tabla 30. Ubicación de los puntos de estudio**

<b>Puntos</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Ubicación de las vías</b>
P1	9853582.38	769109.48	Salasaca - Benítez
P2	9852415.75	768296.42	Benítez - Salasaca
P3	9855937.38	770690.96	Salasaca - El Rosario
P4	9857481.42	770840.16	El Rosario - Salasaca
P5	9853349.69	771437.83	Salasaca - García Moreno
P6	9854104.06	772207.39	García Moreno – El Rosario
P7	9856496.03	772342.46	El Rosario - García Moreno
P8	9857547.18	773118.22	García Moreno – Chiquicha
P9	9860275.53	773091.58	Chiquicha - El Rosario
P10	9858855.09	773298.76	El Rosario - Chiquicha
P11	9859519.81	774637.45	Chiquicha - García Moreno
P12	9854846.91	774190.26	García Moreno - Salasaca

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

#### 2.4. Plan de Recolección de Datos

**Tabla 31. Plan de recolección de datos**

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
<b>¿Para qué?</b>	Para correlacionar el CBR obtenido en laboratorio, DCP medido en campo y las propiedades índice y mecánicas de diferentes suelos.
<b>¿A quiénes?</b>	A las muestras de suelo de las parroquias: Chiquicha, El Rosario, García Moreno, Salasaca y Benítez del cantón Pelileo provincia de Tungurahua.
<b>¿Quien?</b>	El investigador: Luis Adrián Cevallos
<b>¿Cuándo?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayos de campo del 09 al 12 de noviembre de 2020.</li> <li>- Ensayos de laboratorio del 13 de noviembre al 11 de diciembre de 2020.</li> <li>- Procesamiento y análisis de la información desde el 21 de diciembre de 2020 al 28 de enero de 2021.</li> <li>- Análisis de correlación del 14 al 30 de enero de 2021.</li> </ul>

<b>¿Sobre qué aspectos?</b>	Sobre las propiedades índice y mecánicas de los suelos que se obtuvieron mediante ensayos de campo y laboratorio.
<b>¿Dónde?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca García Moreno y Benítez para extracción de muestras y ensayos in situ.</li> <li>- Laboratorio de Mecánica de Suelos.</li> </ul>
<b>¿Cómo?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayos de campo y laboratorio de acuerdo a las normas correspondientes AASHTO y ASTM especificadas para los diferentes ensayos.</li> <li>- Análisis de Regresión y Correlación de variables en el programa Excel.</li> </ul>

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### **Selección de los puntos de estudio**

La selección de la ubicación de los puntos objeto de estudio se realizó mediante un muestreo simple aleatorio, método óptimo para lograr una mejor representatividad de las muestras de suelo.

### **Muestreo**

El número total de muestras extraídas para el trabajo de investigación fueron 12. Las muestras se obtuvieron de suelos naturales de subrasantes al lado de la vía en secciones de corte, retirando la capa vegetal.

### **Ensayos de campo**

#### **- Pozos a cielo abierto**

Para extraer las muestras de suelo se realizó calicatas cuadradas de 1.00 m de lado por 0.50 m de profundidad, donde se tomaron muestras de aproximadamente 50 kg en cada punto de estudio, de acuerdo a la norma AASHTO T-87-70 para posteriormente realizar los ensayos de laboratorio programados.



**Figura 31. Pozo a cielo abierto**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Densidad de campo**

La Densidad de Campo se determinó mediante el método del Cono y Arena de Ottawa de acuerdo a las normas AASHTO T-191 y ASTM D-1556-07.

**Procedimiento**

1. Pesar el conjunto frasco + cono + arena de “Ottawa” en la balanza.
2. Pesar una funda plástica en la balanza electrónica.
3. Seleccionar el sitio donde se realizará el ensayo, verificando que las partículas de suelo sean menores a 2 cm.
4. Nivelar la placa metálica en el suelo para que quede horizontal y fijar sus extremos con cuatro clavos.
5. Excavar un hueco con el cincel y el martillo cuyo perímetro será la circunferencia central de la placa metálica y cuya profundidad será aproximadamente de 10 a 15 cm.
6. Sacar todo el suelo excavado con la cuchareta y colocar minuciosamente en la funda plástica evitando la pérdida del material.
7. Limpiar la placa metálica con la brocha y colocar el aparato de cono de arena de forma invertida sobre la placa, para que la parte abierta del cono (embudo) quede hacia abajo.

8. Abrir la válvula para permitir la caída de la arena de Ottawa.
9. Cerrar la válvula una vez que la arena haya terminado de descender.
10. Pesar el conjunto frasco + cono + arena de Ottawa restante.
11. Pesar la funda plástica más el suelo húmedo extraído del hueco.
12. Del material extraído sacar 2 muestras para determinar el contenido de humedad promedio.



**Figura 32. Densidad de campo**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

#### - **Penetración Dinámica de Cono (DCP)**

La penetración dinámica de cono se determinó bajo la norma ASTM D-6951-03.

#### **Procedimiento**

1. El equipo DCP se sostiene en el punto del ensayo en una posición totalmente vertical, la punta se colocará de tal forma que la parte superior más ancha esté a nivel de la superficie a probar.
2. El operador levantará el mazo hasta que haga un ligero contacto con el mango luego deberá soltar el mango en caída libre y dejar caer sobre el ensamble de yunque.
3. El número de caídas y la penetración deberán ser registradas.
4. La profundidad de la penetración variará de acuerdo a su aplicabilidad.



5. La presencia de agregados de gran tamaño va a ocasionar que la penetración se imposibilite. Si después de 5 impactos el DCP no ha avanzado más de 2 mm o el mango se ha desviado más de 75 mm de la posición vertical se debe detener el ensayo y mover hacia otro punto.
6. La nueva ubicación para realizar el ensayo deberá estar ubicado como mínimo a 300 m de la localización anterior.
7. Luego de finalizar el ensayo y si se usó una punta reemplazable el DCP deberá ser extraído usando la gata de extracción o por el contrario si se utilizó una punta desechable el DCP se deberá extraer golpeando el mazo hacia arriba contra la empañadura.



**Figura 33. Ensayo DCP**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### **Ensayos de Laboratorio**

Luego de finalizar con los ensayos de campo se realizó los siguientes ensayos de laboratorio:

- **Gravedad específica de sólidos**

La gravedad específica de sólidos se realizó como establecen las normas AASHTO T-100-2015 y ASTM D-854-10.

## Procedimiento

1. Pesar  $50 \pm 10$  gr de suelo que pase a través del tamiz N° 4.
2. Secar la muestra de suelo en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante un tiempo de secado que puede variar de 12 a 16 horas.
3. Sacar la muestra del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente.
4. Llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca de aforo y pesar el picnómetro con el agua.
5. Sacar 1/3 o 2/3 de agua aproximadamente del picnómetro.
6. Con la ayuda del embudo colocar la muestra de suelo en el picnómetro.
7. Completar el agua hasta la marca de aforo con la ayuda de la pipeta.
8. Tomar la temperatura del agua dentro del picnómetro.
9. Inclinar el picnómetro y hacerlo girar suavemente en forma circular para eliminar el aire contenido en el suelo.
10. Pesar el picnómetro más el agua y más el suelo.
11. Identificar y pesar un recipiente metálico vacío y limpio.
12. Sacar del picnómetro el contenido de agua más suelo al recipiente pesado.
13. Colocar el recipiente en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C para su posterior secado.
14. Finalmente retirar del horno y pesar el recipiente más el suelo seco.



**Figura 34. Gravedad específica de sólidos**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

## - Contenido de humedad

El contenido de humedad se realizó de acuerdo a la norma ASTM D-2216-71 para lo cual fue necesario colocar las muestras de suelo extraídas en fundas plásticas herméticas para evitar que se pierda la humedad del suelo hasta llegar al laboratorio.

### Procedimiento

1. Identificar los recipientes metálicos que se usarán cuidando de que estén vacíos, secos y limpios.
2. Pesar y registrar los recipientes que irán a ser utilizados.
3. Colocar el suelo húmedo en los respectivos recipientes con la espátula.
4. Pesar y registrar los recipientes + el suelo húmedo en la balanza electrónica.
5. Colocar los recipientes en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. El tiempo de secado puede variar de 12 a 16 horas, aunque en los ensayos prácticos se puede dejar secar hasta 24 horas.
6. Retirar del horno las muestras y pesar inmediatamente los recipientes con el suelo seco para determinar su contenido de humedad.



**Figura 35. Contenido de humedad**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Límite líquido**

El límite líquido se lo realizó mediante el método de la copa de Casagrande para determinar el contenido de agua en forma de porcentaje del suelo cuando se encuentre entre un estado semilíquido y un estado plástico de acuerdo a lo establecido en las normas AASHTO T-89-2013 y ASTM D-4318.

**Procedimiento**

1. Preparar de 100 a 200 gr de suelo que pase por el tamiz N° 40.
2. Colocar la muestra de suelo en el mortero y mezclar completamente con 15 a 20 ml. de agua con la espátula, hasta obtener una pasta de suelo homogénea.
3. Colocar una porción del suelo preparado en la copa de Casagrande presionándolo y esparciéndolo en la copa hasta una profundidad aproximadamente de 1 cm.
4. Emparejar la superficie de la pasta de suelo con la espátula formando una superficie aproximadamente horizontal cuidando de no dejar burbujas de aire en la masa de suelo.
5. Dividir en dos partes la muestra contenida en la copa con la ayuda del acanalador con el menor número de pasadas posibles según el eje de simetría de la cazuela.
6. Girar la manivela de la copa de Casagrande y registrar el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto.
7. Tomar una muestra de suelo con la espátula donde se cerró el surco para determinar su contenido de humedad.
8. Repetir los pasos 3-4-5-7 para 3 o 4 porciones más de suelo.



**Figura 36. Límite líquido**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

#### - **Límite plástico**

El límite plástico permite determinar el contenido de agua en porcentaje del suelo cuando se encuentra entre un estado semisólido y un estado plástico. El ensayo se lo realizó en base a las normas AASHTO T-90-2016 y ASTM D-4318.

#### **Procedimiento**

1. Utilizar una porción de 20 a 30 gr de suelo restante del ensayo del límite líquido.
2. Si el ensayo del límite plástico se ejecuta después de haber realizado el ensayo del límite líquido y en dicho intervalo el suelo se ha secado se añade más agua y se mezcla hasta que el suelo esté suficientemente homogéneo.
3. Se toma una porción de 10 gr aproximadamente de dicho suelo y se moldea sobre una placa de vidrio con la ayuda de la palma de la mano hasta formar pequeños cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro.
4. En el caso de que el cilindro no se haya desmoronado o quebrado antes de llegar a los 3 mm de diámetro se repite el proceso cuantas veces sea necesario hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

5. El límite plástico corresponde al contenido de humedad necesario para agrietar, desprender o romper pequeños rollitos de suelo de aproximadamente 3 mm de diámetro.
6. Recoger las porciones desmenuzadas del cilindro de suelo en un recipiente para determinar su contenido de humedad.



**Figura 37. Límite plástico**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

#### - **Granulometría**

El presente ensayo de análisis granulométrico se realizó en base a lo establecido en las normas AASHTO T-88-2013 y ASTM D-422-63.

#### **Procedimiento**

1. Secar la muestra en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. El tiempo de secado puede variar de 12 a 16 horas.
2. Sacar la muestra del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente.
3. Pesar 250 gr. aproximadamente de la muestra seca.
4. Ordenar los tamices redondos que sean necesarios en forma descendente con su respectiva fuente según el tamaño de su abertura.
5. Poner la muestra previamente pesada sobre los tamices.

6. Colocar la serie de tamices en el agitador eléctrico, tapar y tamizar de 5 a 10 minutos aproximadamente.
7. Sacar el juego de tamices del agitador eléctrico y registrar los pesos acumulados retenidos en cada uno de los tamices hasta el N° 200.
8. Registrar el peso individual del material de suelo retenido en la fuente.
9. Sumar los pesos acumulados retenidos de cada tamiz hasta el N° 200 más el peso individual retenido en la fuente.



**Figura 38. Análisis granulométrico**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### - Compactación

El ensayo de compactación se lo realizó para determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo. El método utilizado fue el Proctor Modificado tipo B en base a lo establecido en las normas AASHTO T-180-2018 y ASTM D-1557.

### Procedimiento

1. Tamizar aproximadamente de 16 a 29 kg de suelo seco que pase a través del tamiz N° 4.
2. Seleccionar el molde de compactación adecuado de acuerdo con el método a ser utilizado (en nuestro caso se utilizó el Proctor Modificado tipo B).
3. Pesar y registrar el molde que se utilizará para el ensayo sin collarín.

4. Medir y registrar el diámetro interior y la altura del molde sin collarín.
5. Pesar 6000 gr. de la muestra de suelo previamente tamizada por cada cilindro que va hacer ensayado.
6. Poner el suelo en una bandeja y mezclarlo con el 3% de agua tratando de que se distribuya uniformemente.
7. La muestra preparada se colocará dentro del molde cilíndrico en 5 capas de aproximadamente igual espesor.
8. Apisonar cada capa con 56 golpes con el martillo de compactación.
9. Retirar el collarín del molde y enrasar la muestra con la regla metálica hasta el nivel superior del cilindro.
10. Limpiar exteriormente el molde cilíndrico con la brocha.
11. Pesar el molde cilíndrico más el suelo húmedo compactado.
12. Retirar el material del molde y tomar del centro del espécimen dos muestras para determinar el contenido de humedad.
13. Repetir los pasos del 5 al 12 incrementando el contenido de agua para tres porciones más de suelo, con el fin de generar los puntos para determinar la curva de compactación cuya cumbre corresponderá a la máxima densidad seca para una humedad óptima.



**Figura 39. Ensayo de compactación Proctor Modificado**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez



## - **Relación de Soporte de California (CBR)**

Este método de ensayo se ejecutó conforme a lo establecido en las normas AASHTO T-193-2013 y ASTM D-1883-07 con la finalidad de evaluar la capacidad de soporte de la subrasante de los diferentes suelos en estudio.

### **Procedimiento**

1. Determinar la humedad óptima y la densidad seca por medio del ensayo de compactación Proctor Modificado.
2. Realizar 3 especímenes de 5 capas cada uno con 11, 27 y 56 golpes por capa, utilizando la proporción de agua necesaria para que el suelo quede con la humedad óptima y densidad seca máxima deseada.
3. Retirar el collarín de los moldes y enrasar con la regla metálica la muestra hasta el nivel superior del cilindro.
4. Limpiar exteriormente los moldes cilíndricos con la brocha y pesar cada uno de los moldes más el suelo húmedo compactado.
5. Desmontar los moldes y volver a armar de forma invertida colocando un disco de papel filtro entre el molde y la base.
6. Colocar sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con el vástago y sobre ésta las pesas ranuradas necesarias (no menos de 4.5 kg) para completar una sobrecarga tal que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de los materiales que conforman la estructura del pavimento.
7. Sumergir los moldes en agua con la sobrecarga durante 4 días para determinar el esponjamiento de la muestra de suelo.
8. Colocar deformímetros en los cilindros para medir el hinchamiento del suelo y poder registrar las lecturas del primer día y del último día de inmersión dentro del agua.
9. Una vez terminado el periodo de inmersión sacar los cilindros y verter el agua retenida en la parte superior. Dejando que se escurra cada uno de los moldes por aproximadamente 15 minutos.
10. Retirar la sobrecarga y la placa perforada para poder pesar los cilindros.

11. Ensayar los cilindros en la prensa de compresión con una velocidad de penetración de 1.27 mm/min.



**Figura 40. Proceso del ensayo CBR, antes de la inmersión**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**Figura 41. Proceso del ensayo CBR, después de la inmersión**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

## 2.2.2. Plan de Procesamiento y Análisis de la Información

### Plan de procesamiento de datos

- Los datos obtenidos mediante la realización de ensayos en campo y laboratorio se tabularán en tablas y gráficos con la ayuda de la aplicación Microsoft Excel

con el fin de agilizar el proceso de correlaciones entre el DCP, CBR y las propiedades índice y mecánicas de los suelos en estudio.

- Se elaborará una tabla resumen en la que contenga todas las muestras de suelo ensayadas para que la información de los datos se muestre de una manera clara, ordenada y comprensible.

### **Plan de análisis de la información.**

- Se realizará una revisión crítica de los datos obtenidos; limpiando la información defectuosa, errada, contradictoria o incompleta que muestre un excesivo grado de dispersión con el resto de muestras.
- Se determinarán correlaciones simples y múltiples con dos y tres variables y dependiendo del tipo de correlación a determinar se utilizará el formato de tablas con sus respectivas ecuaciones establecidas en el Capítulo I de esta investigación.
- Las correlaciones que se utilizarán para el análisis y discusión de la información serán aquellas cuyo coeficiente de correlación sea mayor al 50%.
- Se diseñará dos estructuras de pavimentos flexibles con el valor del CBR correlacionado y el CBR de laboratorio de acuerdo a la “Guía de Diseño de Pavimento AASHTO-1993”
- Finalmente se establecerán conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos planteados y resultados obtenidos de la investigación.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en campo y ensayos de laboratorio para las 12 muestras de suelo en estudio pertenecientes a las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez del cantón Pelileo.

##### 3.1.1. Ensayos de campo

###### - Penetración Dinámica de Cono (DCP)

Los valores del índice DCP para una profundidad de 900 mm, varían entre 2.75 y 27.80 mm/golpe.

**Tabla 32. Resultados del ensayo de penetración DCP**

Descripción		DCP (mm/golpe)
N°	Ubicación de las vías	
1	Salasaca - Benítez	16.678
2	Benítez - Salasaca	27.803
3	Salasaca - El Rosario	2.753
4	El Rosario - Salasaca	15.076
5	Salasaca - García Moreno	6.498
6	García Moreno – El Rosario	8.471
7	El Rosario - García Moreno	6.998
8	García Moreno – Chiquicha	5.074
9	Chiquicha - El Rosario	15.011
10	El Rosario - Chiquicha	17.448
11	Chiquicha - García Moreno	10.787
12	García Moreno - Salasaca	14.418

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Densidad de campo**

Los valores de la densidad húmeda in situ varían en un rango de 0.991 a 1.925 g/cm<sup>3</sup> y los valores de la densidad seca in situ oscilan entre 0.849 a 1.652 g/cm<sup>3</sup>, por lo que la mayoría de valores de densidad húmeda y densidad seca se aproximan a valores típicos de suelos fricciantes.

Los valores de la relación de vacíos varían entre 0.73 y 1.28, lo que representa que el suelo posee buenas características de resistencia, mientras que el porcentaje de porosidad se encuentra entre 42.13% y 56.12%, lo cual indica que el suelo es estable o poco compresible. El grado de saturación del agua presenta valores entre el 21.14% y 67.13% lo que significa que el suelo se encuentra en un estado parcialmente saturado, el grado de saturación del aire se encuentra en un intervalo entre el 32.87% y 78.86%.

**Tabla 33. Resultados del ensayo de densidad de campo**

Descripción		Densidad de campo					
Nº	Ubicación de las vías	$\gamma_m$ in-situ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ in-situ (g/cm <sup>3</sup> )	e	n (%)	Gw (%)	Ga (%)
1	Salasaca - Benítez	1.585	1.402	0.89	47.15	39.01	60.99
2	Benítez - Salasaca	1.503	1.397	0.90	47.27	22.25	77.75
3	Salasaca - El Rosario	0.991	0.849	2.12	67.94	20.84	79.16
4	El Rosario - Salasaca	1.623	1.534	0.73	42.13	21.14	78.86
5	Salasaca - García Moreno	1.925	1.652	0.60	37.64	72.34	27.66
6	García Moreno – El Rosario	1.326	1.173	1.26	55.75	27.48	72.52
7	El Rosario - García Moreno	1.705	1.451	0.84	45.53	57.53	42.47
8	García Moreno – Chiquicha	1.568	1.262	1.10	52.39	58.45	41.55
9	Chiquicha - El Rosario	1.213	0.951	1.78	63.98	40.37	59.63
10	El Rosario - Chiquicha	1.607	1.254	1.12	52.73	67.13	32.87
11	Chiquicha - García Moreno	1.037	0.859	2.09	67.62	26.42	73.58
12	García Moreno - Salasaca	1.640	1.508	0.75	42.95	29.81	70.19

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.1.2. Ensayos de laboratorio

#### - Contenido de humedad

El porcentaje de contenido de humedad natural de las muestras de suelo varían entre el 5.76% y 28.08%, lo cual indica que el suelo tiene baja a media cantidad de agua, por lo que se tratan de suelos estables con buenas características de capacidad de carga.

**Tabla 34. Resultados del ensayo de contenido de humedad**

Descripción		Wnat (%)
Nº	Ubicación de las vías	
1	Salasaca - Benítez	13.00
2	Benítez - Salasaca	7.57
3	Salasaca - El Rosario	16.69
4	El Rosario - Salasaca	5.76
5	Salasaca - García Moreno	16.52
6	García Moreno – El Rosario	12.99
7	El Rosario - García Moreno	17.53
8	García Moreno – Chiquicha	24.25
9	Chiquicha - El Rosario	27.49
10	El Rosario - Chiquicha	28.08
11	Chiquicha - García Moreno	20.74
12	García Moreno - Salasaca	8.76

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

#### - Granulometría

El análisis granulométrico permitió determinar la distribución de los tamaños de las partículas presentes en el suelo, mostrando un mínimo porcentaje de gravas 0% a 0.28%, un alto porcentaje de arenas 95.80% y 99.89% y un porcentaje de material fino que oscila entre 0.11% y 4.20%. Los valores del coeficiente de uniformidad varían entre 2.57 y 5.95 siendo valores inferiores a 6 por lo que tienden a ser suelos uniformes, mientras que los valores del coeficiente de curvatura varían entre 0.63 y 1.41 siendo casi en su totalidad valores inferiores a 1, lo que indica que el suelo es de mala distribución.

- **Clasificación de suelos**

De acuerdo a la clasificación propuesta por el sistema SUCS los suelos se clasifican como GP-SP (Gravas y arenas de mala granulometría) mientras que de acuerdo a la clasificación propuesta por la AASHTO los suelos se clasifican como: A-1-b (Fragmentos de piedra grava y arena) y A-2-4, A-2-5 (Arenas limosas).

**Tabla 35. Resultados del ensayo de granulometría y clasificación de suelos**

Descripción		Granulometría					Clasificación	
N°	Ubicación de las vías	G (%)	S (%)	F (%)	Cu	Cc	SUCS	AASHTO
1	Salasaca - Benítez	0.00	97.00	3.00	3.87	0.64	SP	A-2-4
2	Benítez - Salasaca	0.00	99.89	0.11	2.64	1.41	GP-SP	A-1-b
3	Salasaca - El Rosario	0.00	99.70	0.30	5.40	0.63	GP-SP	A-1-b
4	El Rosario - Salasaca	0.28	97.05	2.67	3.50	0.75	SP	A-2-4
5	Salasaca - García Moreno	0.04	98.36	1.60	5.78	0.64	SP	A-2-4
6	García Moreno – El Rosario	0.00	98.07	1.93	4.15	0.78	SP	A-2-4
7	El Rosario - García Moreno	0.00	98.22	1.78	2.57	0.96	SP	A-2-4
8	García Moreno – Chiquicha	0.16	98.85	0.99	5.95	0.91	GP-SP	A-1-b
9	Chiquicha - El Rosario	0.08	96.63	3.29	4.20	0.73	SP	A-2-5
10	El Rosario - Chiquicha	0.00	96.85	3.15	3.55	0.87	SP	A-2-4
11	Chiquicha - García Moreno	0.00	98.26	1.74	3.53	0.81	SP	A-2-4
12	García Moreno - Salasaca	0.00	95.80	4.20	4.04	0.74	SP	A-2-4

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Límites de Atterberg**

El porcentaje del LL se encuentra entre 21.33% y 51.97% por lo que se tratan de suelos de baja plasticidad por tener un  $LL < 50\%$ . Los valores del LP varían entre 23.20% y 71.35% y el índice de plasticidad oscila entre 0.08% y 6.56%, lo cual indica que los finos que poseen en su estructura son limos por tratarse de un  $I_p < 6\%$ .

**Tabla 36. Resultado del ensayo de límites de Atterberg**

Descripción		Límites Atterberg		
N°	Ubicación de las vías	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	Salasaca - Benítez	21.33	23.53	NP
2	Benítez - Salasaca	28.74	36.62	NP
3	Salasaca - El Rosario	26.56	28.81	NP
4	El Rosario - Salasaca	22.64	40.30	NP
5	Salasaca - García Moreno	26.62	29.68	NP
6	García Moreno – El Rosario	26.69	23.20	3.49
7	El Rosario - García Moreno	34.98	34.91	0.08
8	García Moreno – Chiquicha	36.76	36.42	0.34
9	Chiquicha - El Rosario	51.97	71.35	NP
10	El Rosario - Chiquicha	37.32	30.76	6.56
11	Chiquicha - García Moreno	38.85	35.00	3.85
12	García Moreno - Salasaca	26.30	26.32	NP

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Gravedad específica de sólidos**

La gravedad específica de los sólidos varía en un rango de 2.11 a 2.66, lo cual corresponden a valores característicos de suelos granulares.

**Tabla 37. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos**

Descripción		Gravedad específica
N°	Ubicación de las vías	
1	Salasaca - Benítez	2.373
2	Benítez - Salasaca	2.394
3	Salasaca - El Rosario	2.467
4	El Rosario - Salasaca	2.657
5	Salasaca - García Moreno	2.417
6	García Moreno – El Rosario	2.501
7	El Rosario - García Moreno	2.453
8	García Moreno – Chiquicha	2.191
9	Chiquicha - El Rosario	2.156
10	El Rosario - Chiquicha	2.225
11	Chiquicha - García Moreno	2.113
12	García Moreno - Salasaca	2.425

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



- **Compactación**

Los valores de densidad seca máxima varían entre 1.395 y 1.666 g/cm<sup>3</sup> con contenidos óptimos de humedad que oscila entre 12.5% y 32.3%. El grado de compactación del suelo fluctúa entre el 76% al 95%, lo cual indica que los valores que son inferiores al 90% requieren de compactación.

**Tabla 38. Resultados del ensayo de compactación**

Descripción		Compactación		
N°	Ubicación de las vías	$\gamma_d$ máx (g/cm <sup>3</sup> )	W <sub>ópt</sub> (%)	G <sub>c</sub> (%)
1	Salasaca - Benítez	1.641	14.0	85.44
2	Benítez - Salasaca	1.634	12.5	85.50
3	Salasaca - El Rosario	1.505	21.7	56.41
4	El Rosario - Salasaca	1.612	15.0	95.16
5	Salasaca - García Moreno	1.543	18.2	98.92
6	García Moreno – El Rosario	1.669	17.0	70.28
7	El Rosario - García Moreno	1.611	16.0	90.07
8	García Moreno – Chiquicha	1.491	28.1	84.64
9	Chiquicha - El Rosario	1.392	31.6	68.32
10	El Rosario - Chiquicha	1.548	27.6	81.01
11	Chiquicha - García Moreno	1.528	24.9	56.22
12	García Moreno - Salasaca	1.649	14.4	91.45

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Relación de Soporte de California (CBR)**

Los valores de soporte CBR determinados en el laboratorio para el 95% de la densidad seca máxima varía entre el 11% y 34%, clasificándose como suelos de buena calidad para ser usados como material de subrasante.

**Tabla 39. Resultados del ensayo CBR**

<b>Descripción</b>		<b>CBR (95% <math>\gamma</math>d máx.)</b>		
<b>N°</b>	<b>Ubicación de las vías</b>	<b>0.1'' (%)</b>	<b>0.2'' (%)</b>	<b>Mayor (%)</b>
1	Salasaca - Benítez	13	14	14
2	Benítez - Salasaca	9	15	15
3	Salasaca - El Rosario	33	34	34
4	El Rosario - Salasaca	17	19	19
5	Salasaca - García Moreno	21	28	28
6	García Moreno – El Rosario	17	19	19
7	El Rosario - García Moreno	26	28	28
8	García Moreno – Chiquicha	20	25	25
9	Chiquicha - El Rosario	9	11	11
10	El Rosario - Chiquicha	11	14	14
11	Chiquicha - García Moreno	15	23	23
12	García Moreno - Salasaca	15	21	21

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.1.3. Nomenclatura

**Tabla 40. Nomenclatura de las variables que se utilizaron en los ensayos**

<b>SIGLAS</b>	<b>SIGNIFICADO</b>	<b>UNIDAD</b>
Wnat.	Contenido de humedad natural del suelo	%
G	Gravas	%
S	Arenas	%
F	Finos	%
Cu	Coefficiente de uniformidad	-
Cc	Coefficiente de curvatura	-
LL	Límite líquido	%
LP	Límite plástico	%
IP	Índice de plasticidad	%
Gs	Gravedad específica	-
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos	-
AASHTO	Asociación americana de vías estatales y transporte oficial	-
$\gamma_m$ in-situ	Densidad húmeda en el sitio	(g/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_d$ in-situ	Densidad seca en el sitio	(g/cm <sup>3</sup> )
e	Relación de vacíos	-
n	Porosidad	%
Gw	Grado de saturación del agua	%
Ga	Grado de saturación del aire	%
$\gamma_d$ máx.	Densidad seca máxima	(g/cm <sup>3</sup> )
Wópt.	Contenido de humedad óptimo	%
Gc	Grado de compactación	%
CBR 0.1"	CBR para 0.1" plg. de penetración	%
CBR 0.2"	CBR para 0.2" plg. de penetración	%
CBR	CBR mayor entre 0.1" y 0.2" plg.	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**Tabla 41. Resumen de las propiedades de los suelos en estudio**

Descripción		Wnat (%)	Granulometría					Límites Atterberg			Gs	Clasificación	
Nº	Ubicación de las vías		G (%)	S (%)	F (%)	Cu	Cc	LL (%)	LP (%)	IP (%)		SUCS	AASHTO
1	Salasaca - Benítez	13.00	0.00	97.00	3.00	3.87	0.64	21.33	23.53	NP	2.373	SP	A-2-4
2	Benítez - Salasaca	7.57	0.00	99.89	0.11	2.64	1.41	28.74	36.62	NP	2.394	GP-SP	A-1-b
3	Salasaca - El Rosario	16.69	0.00	99.70	0.30	5.40	0.63	26.56	28.81	NP	2.467	GP-SP	A-1-b
4	El Rosario - Salasaca	5.76	0.28	97.05	2.67	3.50	0.75	22.64	40.30	NP	2.657	SP	A-2-4
5	Salasaca - García Moreno	16.52	0.04	98.36	1.60	5.78	0.64	26.62	29.68	NP	2.417	SP	A-2-4
6	García Moreno – El Rosario	12.99	0.00	98.07	1.93	4.15	0.78	26.69	23.20	3.49	2.501	SP	A-2-4
7	El Rosario - García Moreno	17.53	0.00	98.22	1.78	2.57	0.96	34.98	34.91	0.08	2.453	SP	A-2-4
8	García Moreno – Chiquicha	24.25	0.16	98.85	0.99	5.95	0.91	36.76	36.42	0.34	2.191	GP-SP	A-1-b
9	Chiquicha - El Rosario	27.49	0.08	96.63	3.29	4.20	0.73	51.97	71.35	NP	2.156	SP	A-2-5
10	El Rosario - Chiquicha	28.08	0.00	96.85	3.15	3.55	0.87	37.32	30.76	6.56	2.225	SP	A-2-4
11	Chiquicha - García Moreno	20.74	0.00	98.26	1.74	3.53	0.81	38.85	35.00	3.85	2.113	SP	A-2-4
12	García Moreno - Salasaca	8.76	0.00	95.80	4.20	4.04	0.74	26.30	26.32	NP	2.425	SP	A-2-4

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**Tabla 42. Resumen de las propiedades de los suelos en estudio**

Descripción		Densidad de campo						Compactación			CBR (95% $\gamma_d$ máx.)			DCP
N°	Ubicación de las vías	$\gamma_m$ in-situ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ in-situ (g/cm <sup>3</sup> )	e	n (%)	Gw (%)	Ga (%)	$\gamma_d$ máx (g/cm <sup>3</sup> )	Wópt (%)	Gc (%)	0.1" (%)	0.2" (%)	Mayor (%)	(mm/golpe)
1	Salasaca - Benítez	1.585	1.402	0.89	47.15	39.01	60.99	1.648	12.5	85.07	13	14	14	16.678
2	Benítez - Salasaca	1.503	1.397	0.90	47.27	22.25	77.75	1.628	13.0	85.81	9	15	15	27.803
3	Salasaca - El Rosario	1.582	1.356	0.95	48.83	46.26	53.74	1.491	21.4	90.95	33	34	34	2.753
4	El Rosario - Salasaca	1.623	1.534	0.73	42.13	21.14	78.86	1.613	14.6	95.10	17	19	19	15.076
5	Salasaca - García Moreno	1.518	1.303	1.03	50.83	42.24	57.76	1.541	18.8	84.56	21	28	28	6.498
6	García Moreno – El Rosario	1.443	1.277	1.08	51.84	32.17	67.83	1.666	16.5	76.65	17	19	19	8.471
7	El Rosario - García Moreno	1.705	1.451	0.84	45.53	57.53	42.47	1.597	17.0	90.86	26	28	28	6.998
8	García Moreno – Chiquicha	1.568	1.262	1.10	52.39	58.45	41.55	1.451	29.5	86.97	20	25	25	5.074
9	Chiquicha - El Rosario	1.477	1.159	1.28	56.12	56.05	43.95	1.395	32.3	83.08	9	11	11	15.011
10	El Rosario - Chiquicha	1.607	1.254	1.12	52.73	67.13	32.87	1.532	28.0	81.85	11	14	14	17.448
11	Chiquicha - García Moreno	1.537	1.273	1.08	51.99	50.94	49.06	1.524	26.3	83.53	15	23	23	10.787
12	García Moreno - Salasaca	1.640	1.508	0.75	42.95	29.81	70.19	1.655	14.0	91.12	15	21	21	14.418

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

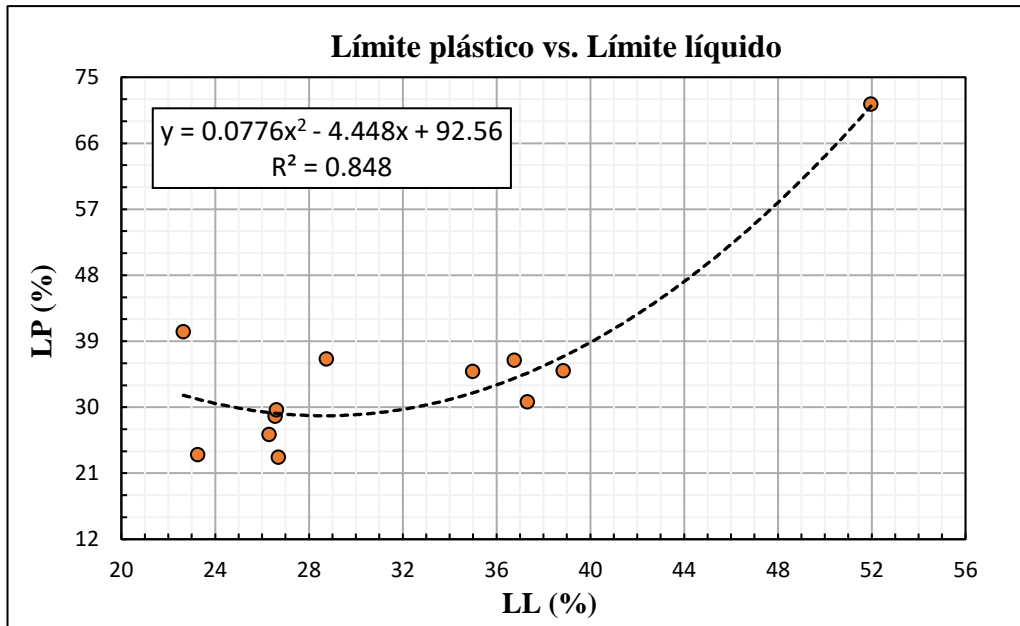
### 3.2. Correlaciones

**Tabla 43. Resumen de las ecuaciones de correlación**

N°	Ecuación de correlación	Tipo de función	N° muestras	Coef. r
<b>CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE</b>				
1	$LP = 0.0776 LL^2 - 4.448 LL + 92.56$	Polinómica 2° grado	12	0.9208
2	$\gamma d \text{ máx} = 1.8763 e^{-0.006 LL}$	Exponencial	11	0.8515
3	$\gamma d \text{ máx} = -0.0002 Wnat^2 - 0.0038 Wnat + 1.6773$	Polinómica 2° grado	12	0.8043
4	$\gamma d \text{ máx} = 1.7804 - 0.0073 Wnat - 0.0028 LP$	Lineal	12	0.8819
5	$Wópt = -0.0075 LL^2 + 1.2274 LL - 10.372$	Polinómica 2° grado	12	0.8613
6	$Wópt = 0.0228 Wnat^2 + 0.0795 Wnat + 11.535$	Polinómica 2° grado	12	0.9365
7	$Wópt = -0.5486 + 0.8325 LL - 0.1268 LP$	Lineal	12	0.8683
8	$Wópt = 3.0575 + 0.774 Wnat + 0.1268 LP$	Lineal	12	0.9457
9	$Gc = -33.48 \ln(e) + 83.063$	Logarítmica	12	0.9800
10	$Gc = 53.1806 - 29.9744 \gamma m \text{ in situ} + 14.1083 e$	Lineal	12	0.8170
11	$LL = 0.0385 Wnat^2 - 0.391 Wnat + 25.623$	Polinómica 2° grado	12	0.8484
12	$Gs = 2.9138 * e^{-0.0099 LL} * e^{0.003 LP}$	Exponencial	12	0.8741
13	$\gamma d \text{ in situ} = 1.619 * e^{-0.0069 \%F} * e^{0.0099 Wopt}$	Exponencial	12	0.8293
<b>CORRELACIONES ENTRE PROPIEDADES ÍNDICE vs. ÍNDICE DCP</b>				
14	$\gamma d \text{ máx} = 1.7034 + 0.1058 \text{Log} (DCP) - 0.0076 LL$	Logarítmica	12	0.8510
15	$\gamma d \text{ máx} = 1.647 + 0.06 \text{Log} (DCP) - 0.009 Wnat$	Logarítmica	12	0.8204
16	$Wópt = 10.8669 * e^{-0.0046 DCP} * e^{0.0376 Wnat}$	Exponencial	12	0.9275
17	$Wópt = 3.2049 + 0.6312 LL - 0.2565 DCP$	Lineal	12	0.8748
18	$LL = 16.8452 * e^{-0.0084 DCP} * e^{0.0301 Wnat}$	Exponencial	12	0.8654
19	$Gs = 3.3053 - 0.6965 \text{Log} (Wnat) - 0.0101 DCP$	Logarítmica	12	0.8716
20	$DCP = 1.9762 Cu^2 - 23.48 Cu + 74.776$	Polinómica 2° grado	11	0.9070
21	$DCP = 0.1337 Wnat^2 - 5.1303 Wnat + 54.994$	Polinómica 2° grado	11	0.8478
<b>CORRELACIONES ENTRE CBR vs. PROPIEDADES ÍNDICE</b>				
22	$CBR = -236.1695 + 2.3542 Cu + 2.5286 \%S$	Lineal	12	0.6381
23	$CBR = 56.189 \gamma m \text{ in situ}^2 - 163.62 \gamma m \text{ in situ} + 136.91$	Polinómica 2° grado	11	0.7452
24	$CBR = -0.168 Wópt^2 + 7.3252 Wópt - 50.933$	Polinómica 2° grado	12	0.8071
25	$CBR = 55.476 DCP^{-0.437}$	Exponencial	12	0.7598

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez**

### Correlación N° 1



**Figura 42. Correlación entre límite plástico y límite líquido**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

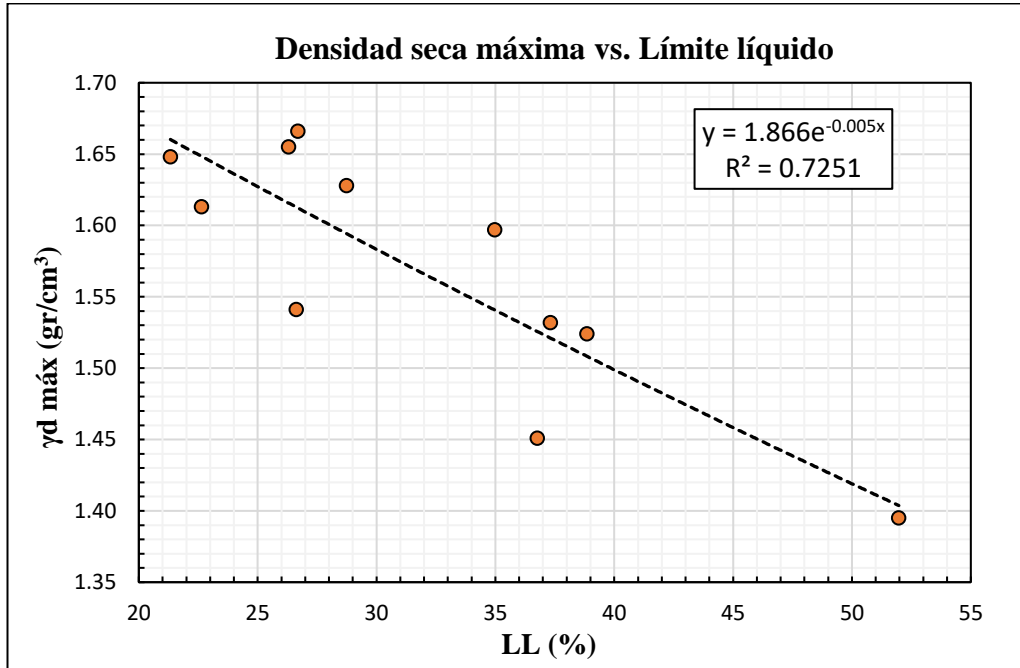
Ecuación de correlación	$LP = 0.0776 LL^2 - 4.448 LL + 92.56$
Coefficiente de correlación	0.9208
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

El modelo de regresión que mejor se ajustó a los 12 datos correlacionados es una función polinómica de segundo grado la cual presentó un coeficiente de correlación de 0.9208. Esto indica que la ecuación que se determinó tiene una excelente relación o asociación, por lo tanto, es confiable para estimar los valores del límite plástico en función del límite líquido.

Se puede apreciar que existe una relación directa entre el LP y LL debido a que al aumentar el límite plástico el límite líquido también aumenta por lo que la deformación y el contenido de humedad incrementa, pero la resistencia disminuye. Para el uso de la ecuación de correlación se debe tener presente sus límites de validez que varían entre 22.64% y 51.97% para LL y 23.20% y 71.35% para LP.

## Correlación N° 2



**Figura 43. Correlación entre densidad seca máxima y límite líquido**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

Ecuación de correlación	$\gamma_d \text{ máx} = 1.8763 e^{-0.006 LL}$
Coefficiente de correlación	0.8515
Datos correlacionados	11 muestras

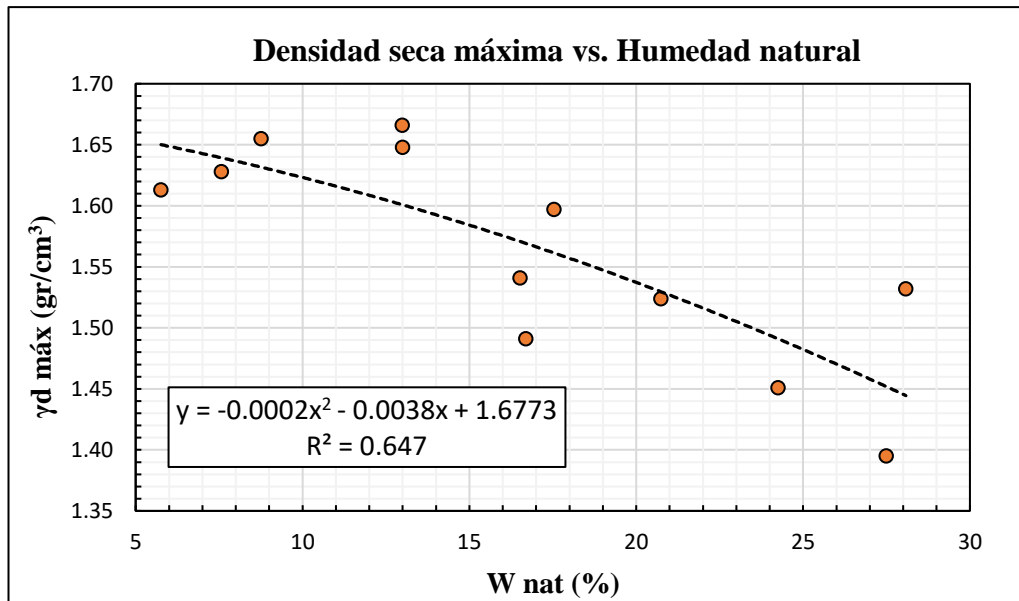
### **Análisis e interpretación :**

La ecuación de correlación que mejor se relacionó entre la  $\gamma_d \text{ máx.}$  y LL es una función de tipo exponencial, con la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.8515 lo que indica que la correlación es muy buena entre estas dos propiedades, para el análisis de correlación se utilizó 11 muestras con rangos para el LL que oscilan entre 22.64% a 51.97% y  $\gamma_d \text{ máx.}$  entre 1.395 a 1.666 g/cm<sup>3</sup>.

Se puede ver que la relación que existe entre la  $\gamma_d \text{ máx.}$  y LL es inversamente proporcional ya que a medida que el límite líquido aumenta la densidad seca máxima disminuye consecuentemente entre mayor contenido de agua en el suelo mayor límite líquido y por lo tanto menor densidad.



### Correlación N° 3



**Figura 44. Correlación entre densidad seca máxima y humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

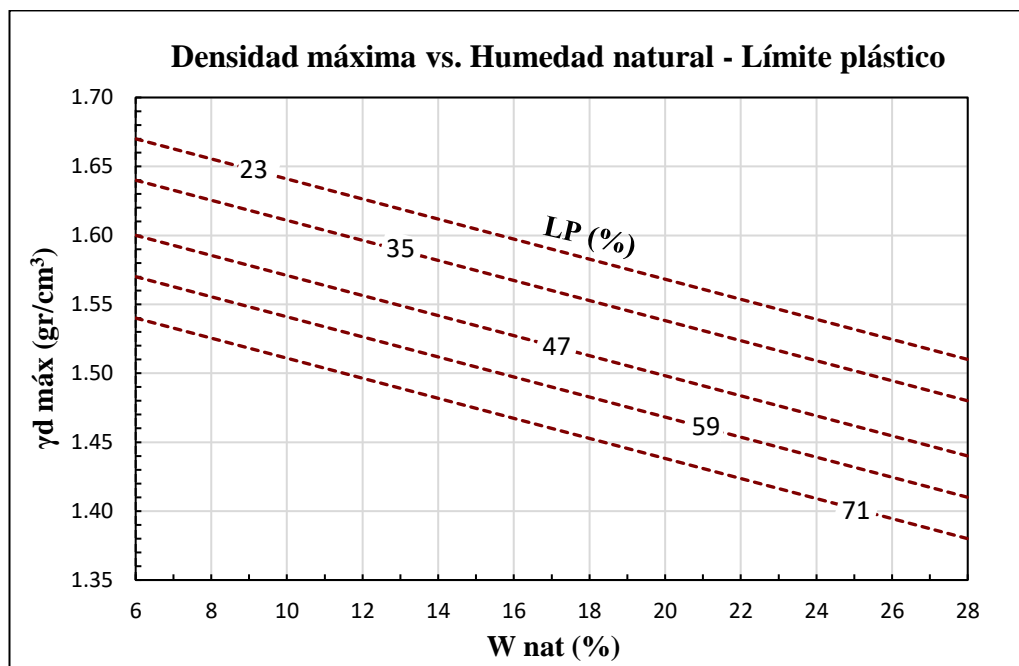
Ecuación de correlación	$\gamma d \text{ máx} = - 0.0002 Wnat^2 - 0.0038 Wnat + 1.6773$
Coefficiente de correlación	0.8043
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Para el análisis de correlación se trabajó con 12 muestras en la cual se determinó que la ecuación que mejor se relacionó entre la  $\gamma d \text{ máx.}$  y  $Wnat$  es una función polinómica de segundo grado, la cual arrojó un coeficiente de correlación de 0.8043 lo que significa que el grado de asociación para contenidos de humedad que oscilen entre 5.76% a 28.08% y densidades secas máximas que varíen entre 1.395 y 1.666  $g/cm^3$  es buena.

Se puede observar que a medida que el  $Wnat$  aumenta la  $\gamma d \text{ máx.}$  disminuye, por lo tanto, existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima, por esta razón cuando el suelo tiene mayor contenido de humedad su resistencia tiende a disminuir debido que el agua toma los espacios que podría haber sido ocupados por las partículas sólidas.

### Correlación N° 4



**Figura 45. Correlación entre densidad seca máxima vs. límite líquido – límite plástico**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

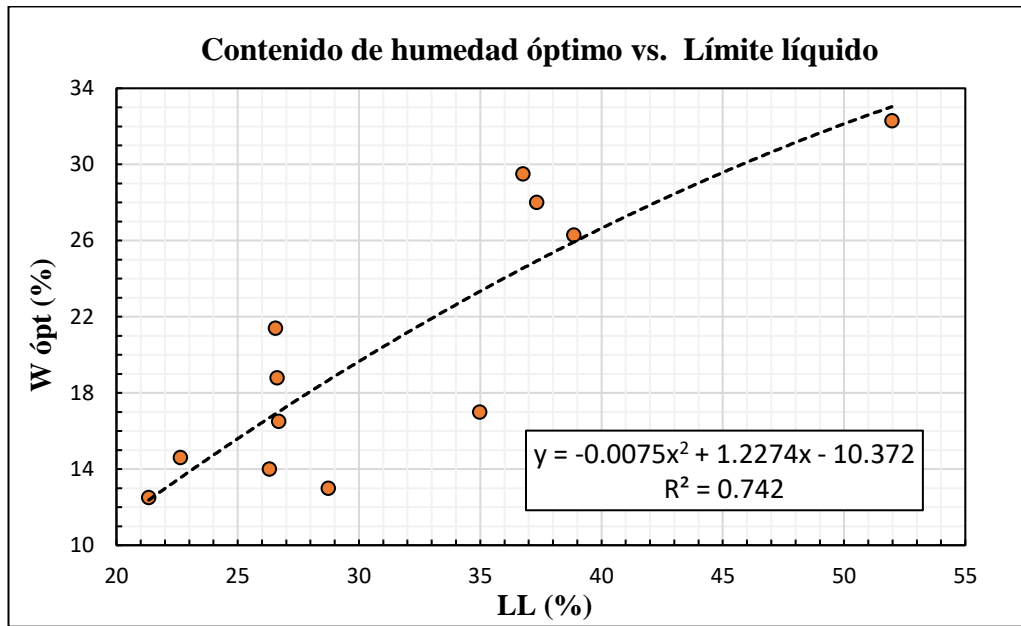
Ecuación de correlación	$\gamma_d \text{ máx} = 1.7804 - 0.0073 W_{nat} - 0.0028 LP$
Coefficiente de correlación	0.8819
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

La ecuación de correlación que mejor se relacionó entre la  $\gamma_d \text{ máx}$ ,  $W_{nat}$  y LP es una función de tipo lineal, con la que se determinó un coeficiente de correlación de 0.8819 para un total de análisis de 12 muestras, lo que indica que la relación o asociación que existe entre estas tres propiedades índice es buena y aceptable.

Se puede apreciar que existe una relación inversamente proporcional entre la densidad seca máxima, humedad natural y límite plástico, debido a que al aumentar la humedad natural y el límite plástico la densidad seca máxima tiende a disminuir, por ende, al incrementar el contenido de humedad se convierte en una mezcla fluida de suelo y agua por lo que la densidad disminuye.

**Correlación N° 5**



**Figura 46. Correlación entre humedad óptima y límite líquido**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

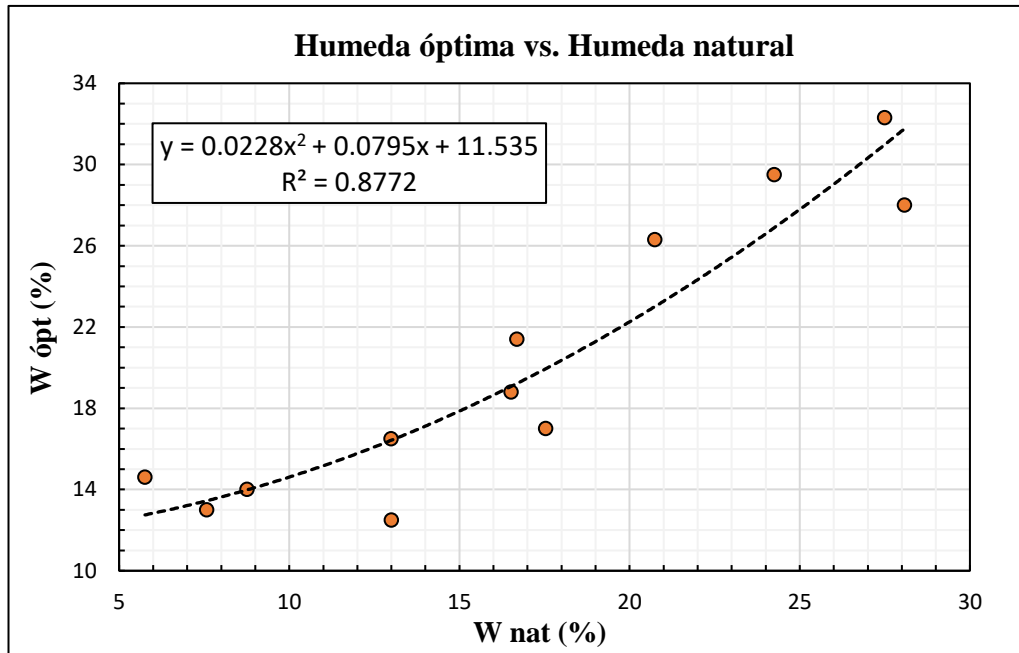
Ecuación de correlación	$W_{\text{ópt}} = -0.0075 LL^2 + 1.2274 LL - 10.372$
Coefficiente de correlación	0.8613
Datos correlacionados	12 muestras

**Análisis e interpretación :**

El coeficiente de correlación que se determinó entre  $W_{\text{ópt}}$  y LL para una observación de 12 datos evaluados es igual a 0.8613, el modelo de regresión que mejor se ajustó a la nube de puntos es una función polinómica de segundo orden, la cual indica que el grado de relación que existe entre estas dos propiedades es aceptable, por lo tanto, se puede estimar la humedad óptima a partir de los valores del límite líquido.

Se puede ver que LL es directamente proporcional a  $W_{\text{ópt}}$  debido a que al aumentar el contenido de humedad del límite líquido también tiende a aumentar el contenido de humedad óptimo. Para la aplicación de la ecuación de correlación hay que tener presente los límites de validez del límite líquido que varían entre 22.64% y 51.97%.

**Correlación N° 6**



**Figura 47. Correlación entre humedad óptima y humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

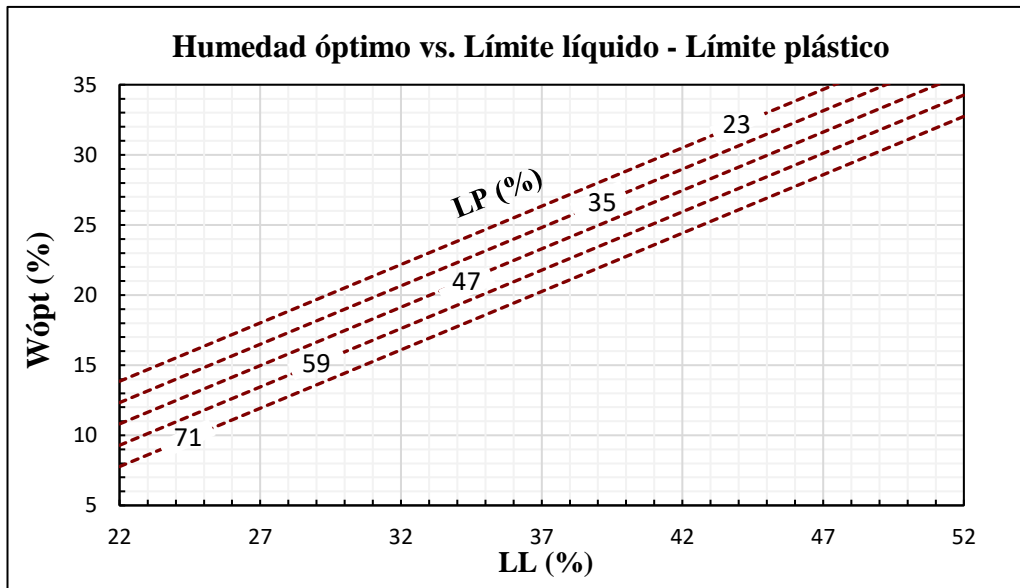
Ecuación de correlación	$W_{\text{ópt}} = 0.0228 W_{\text{nat}}^2 + 0.0795 W_{\text{nat}} + 11.535$
Coefficiente de correlación	0.9365
Datos correlacionados	12 muestras

**Análisis e interpretación :**

Se determinó una correlación muy significativa entre  $W_{\text{ópt}}$  y  $W_{\text{nat}}$  mediante una función polinómica de segundo grado, en la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.9365, lo que representa una ecuación de correlación confiable entre estas dos propiedades. Para el análisis de correlación se utilizó 12 muestras con rangos para la  $W_{\text{nat}}$  que varía entre 5.76% y 28.08% y valores de  $W_{\text{ópt}}$  que oscilan entre 12.5% a 32.3%.

Se puede observar que a medida que la humedad natural aumenta se obtiene contenidos de humedad óptimos mayores, por consiguiente, existe una relación directa entre la humedad natural y la humedad óptima.

**Correlación N° 7**



**Figura 48. Correlación entre humedad óptima vs. límite líquido - límite plástico**

**Fuente:** Luis Adrián Cevallos Núñez

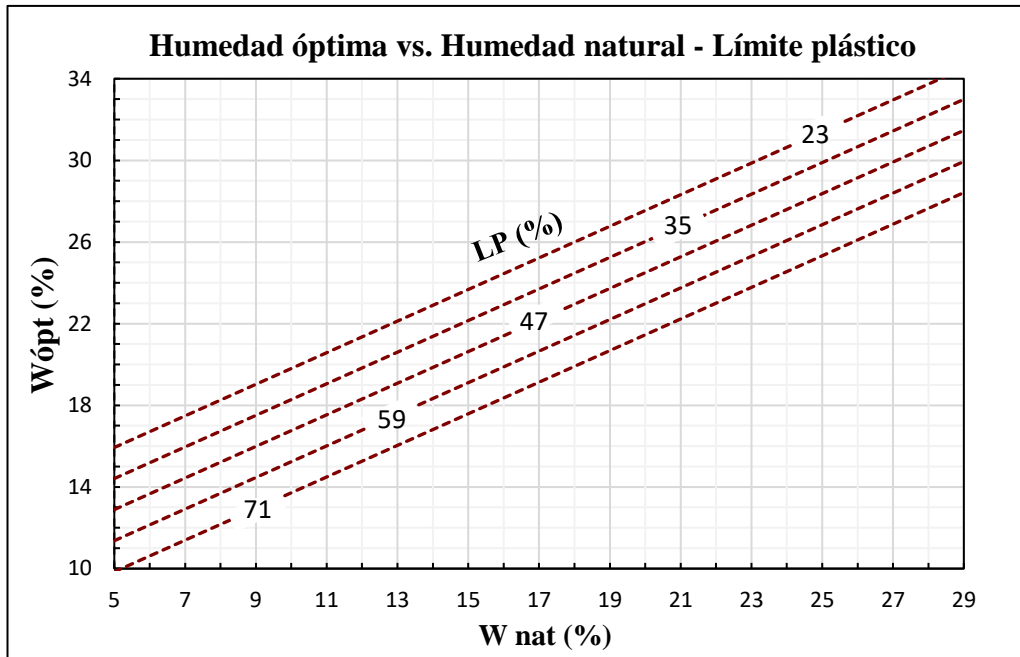
Ecuación de correlación	$W_{\text{ópt}} = -0.5486 + 0.8325 \text{ LL} - 0.1268 \text{ LP}$
Coefficiente de correlación	0.8683
Datos correlacionados	12 muestras

**Análisis e interpretación :**

El modelo de regresión que mejor se relacionó entre  $W_{\text{ópt}}$ , LL y LP es una función de tipo lineal, la cual presentó un coeficiente de correlación igual a 0.8683. Esto indica que la ecuación de correlación que se determinó entre estas tres propiedades es buena.

Para el análisis de correlación se trabajó con 12 datos, en la cual se determinó que existe una relación directa entre  $W_{\text{ópt}}$ , LL y LP por lo que, a medida que aumenta el contenido de humedad de los límites líquido y plástico la humedad óptima también aumenta, consecuentemente el agua comienza a ocupar el lugar de las partículas sólidas y genera deformación a volumen constante, por esta razón si se compacta con una humedad superior a la óptima se obtiene un suelo con un comportamiento dúctil que influye en la estructura, compresibilidad y resistencia del suelo.

### Correlación N° 8



**Figura 49. Correlación entre humedad óptima vs. humedad natural - límite plástico**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

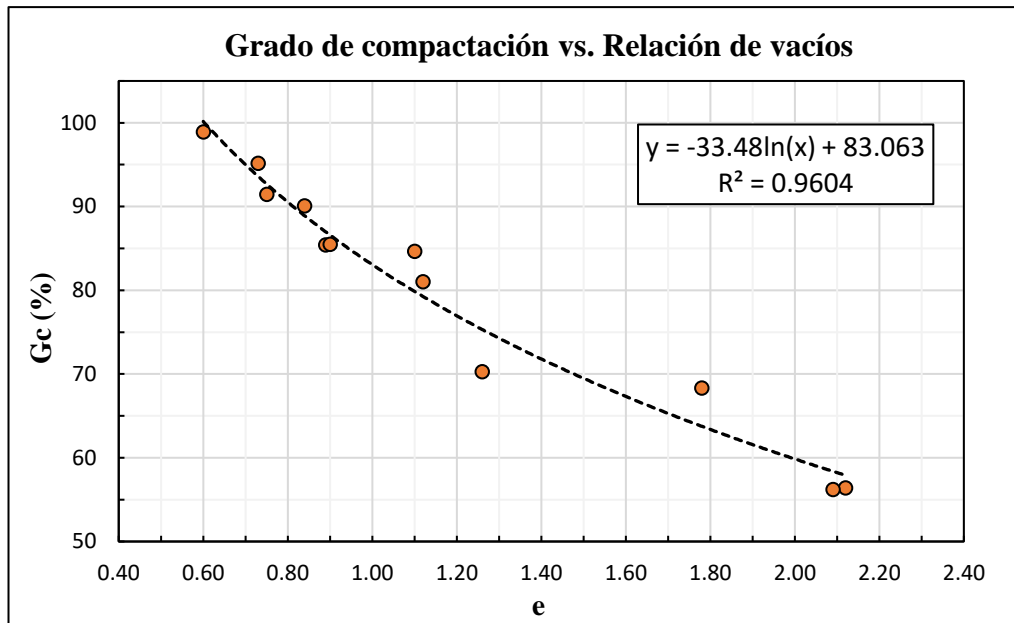
Ecuación de correlación	$W_{\text{ópt}} = 3.0575 + 0.774 W_{\text{nat}} + 0.1268 LP$
Coefficiente de correlación	0.9457
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

El coeficiente de correlación que se determinó entre  $W_{\text{ópt}}$ ,  $W_{\text{nat}}$  y LP para una observación total de 12 datos evaluados es igual a 0.9457, la ecuación de correlación que mejor se ajustó a la nube de puntos es una función de tipo lineal, la cual indica que el grado de relación que existe entre estas tres variables es muy buena y confiable.

Se puede apreciar que existe una relación directa entre  $W_{\text{ópt}}$ ,  $W_{\text{nat}}$  y LP, ya que entre mayor contenido de agua en el suelo mayor límite plástico y por ende mayor humedad óptima. Los rangos de validez de la ecuación de correlación varían de 5.76% a 28.08% para  $W_{\text{nat}}$  y de 23.20% al 71.35% para LP.

### Correlación N° 9



**Figura 50. Correlación entre el grado de compactación y la relación de vacíos**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

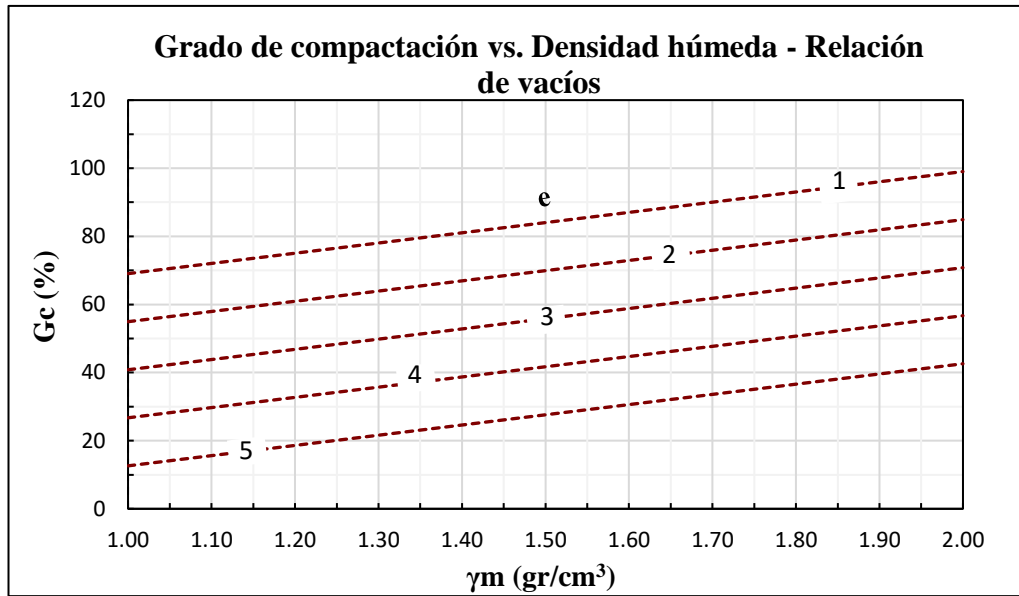
Ecuación de correlación	$Gc = - 33.48 \ln (e) + 83.063$
Coefficiente de correlación	0.9800
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Se determinó una excelente correlación entre el Gc y e, en la cual se obtuvo un coeficiente de correlación negativo de 0.9800 para un total de 12 datos correlacionados, la ecuación que mejor se relacionó entre estas dos propiedades es una función logarítmica la cual indica que tiene una buena representación y, por lo tanto, se puede utilizar para estimar el grado de compactación del suelo en función de la relación de vacíos.

Se puede ver que mientras e disminuye Gc aumenta, por lo que, existe una relación inversamente proporcional entre estas dos propiedades, por consiguiente, la compactación reduce los espacios que se encuentran con aire en la masa del suelo para aumentar su peso específico seco con la finalidad de mejorar sus propiedades.

### Correlación N° 10



**Figura 51. Correlación entre grado de compactación vs. relación de vacíos densidad húmeda in situ**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

Ecuación de correlación	$G_c = 53.1806 - 29.9744 \gamma_m \text{ in situ} + 14.1083 e$
Coefficiente de correlación	0.8170
Datos correlacionados	12 muestras

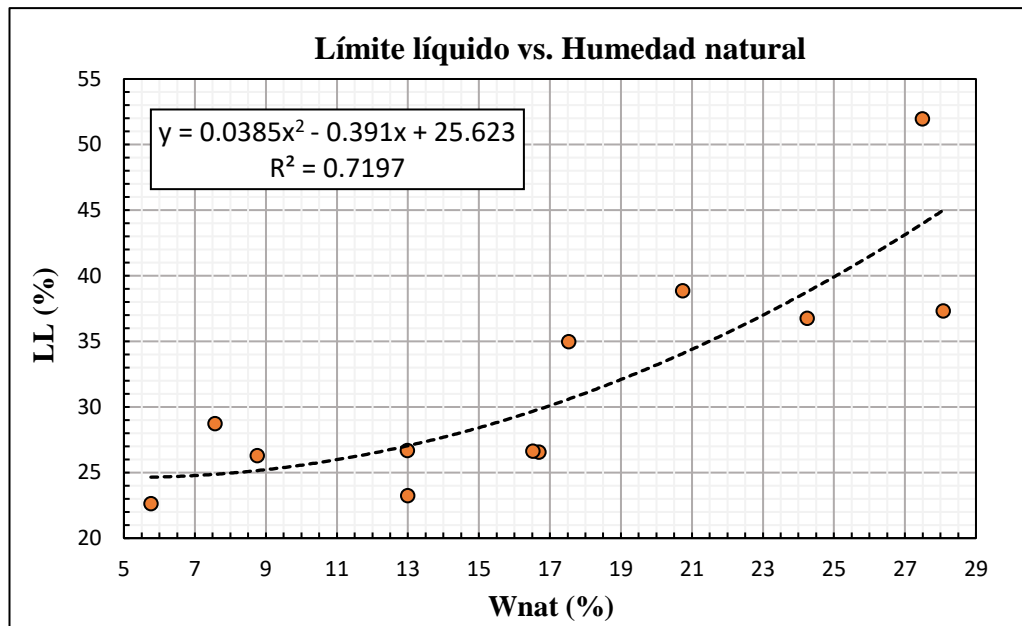
#### **Análisis e interpretación :**

La ecuación de correlación que mejor se relacionó entre el  $G_c$ ,  $e$  y  $\gamma_m$  in situ es una función de tipo lineal en la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.8170 para un total de 12 datos evaluados, lo que indica que existe una correlación muy confiable entre estas propiedades del suelo.

Se puede observar que existe una relación inversamente proporcional entre el grado de compactación del suelo y la relación de vacíos, entonces se puede establecer que, si el grado de compactación aumenta la relación de vacíos disminuye, por el contrario, existe una relación directamente proporcional entre la densidad húmeda y el grado de compactación debido a que al aumentar la densidad húmeda el grado de compactación también incrementará.



### Correlación N° 11



**Figura 52. Correlación entre el límite líquido y la humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

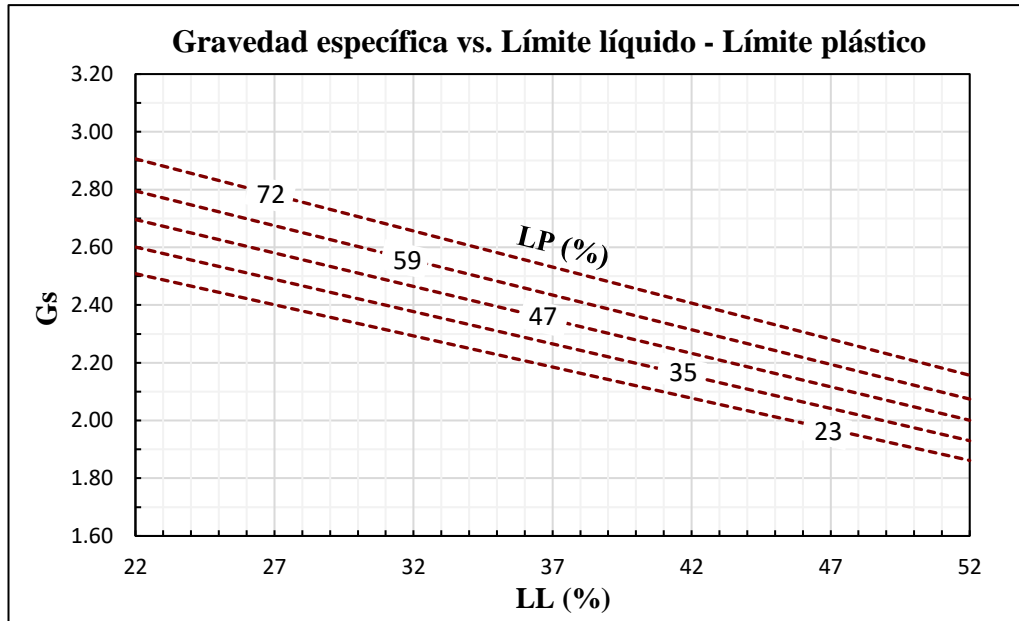
Ecuación de correlación	$LL = 0.0385 Wnat^2 - 0.391 Wnat + 25.623$
Coefficiente de correlación	0.8484
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

El análisis de correlación se realizó con un total de 12 muestras, en la cual se determinó que la ecuación que mejor se relaciona entre el LL y Wnat es una función polinómica de segundo grado, la cual arrojó un coeficiente de correlación de 0.8484 lo que significa que el grado de asociación para contenidos de humedad que oscilen entre 5.76% a 28.08% y valores de límite líquido que varíen entre 22.64% y 51.97% es aceptable.

Se puede ver que mientras el contenido de agua aumenta el límite líquido también tiende a aumentar debido a que existe una relación directa entre estas dos propiedades, por lo tanto, se puede establecer que el comportamiento del suelo depende de su grado de humedad.

### Correlación N° 12



**Figura 53. Correlación entre gravedad específica vs. límite líquido - límite plástico**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

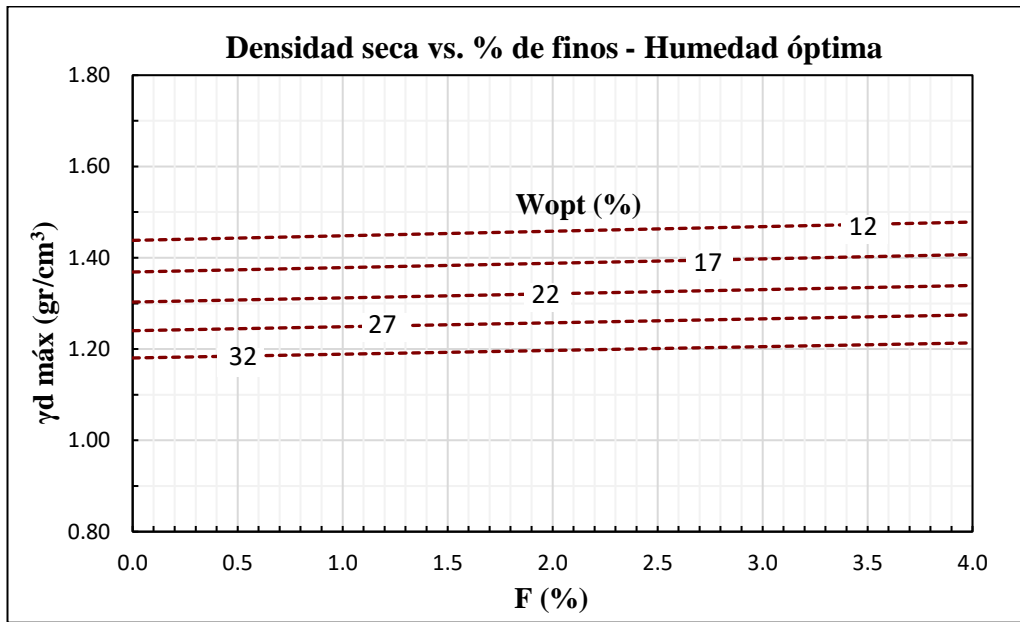
Ecuación de correlación	$G_s = 2.9138 * e^{-0.0099 LL} * e^{0.003 LP}$
Coefficiente de correlación	0.8741
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Se determinó una correlación aceptable entre  $G_s$ , LL y LP mediante una función de tipo exponencial en la cual se obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0.8741 lo cual representa una buena ecuación de correlación entre estas tres variables. Para el análisis de correlación se utilizó 12 muestras con rangos de valores de LL que varía entre 22.64% a 51.97% y valores de LP que oscilan entre 23.20% a 71.35%.

Se puede apreciar que a medida que los límites líquido y plástico aumenta la gravedad específica del suelo disminuye, por lo tanto, existe una relación inversamente proporcional entre estas propiedades. La gravedad específica de los sólidos se utiliza para determinar diferentes propiedades físicas del suelo y se lo puede estimar mediante la ecuación de correlación encontrada en función del límite líquido y límite plástico.

### Correlación N° 13



**Figura 54. Correlación entre densidad seca in situ vs. contenido de finos y humedad óptima**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

Ecuación de correlación	$\gamma_d \text{ in situ} = 1.619 * e^{-0.0069 \%F} * e^{0.0099 W_{opt}}$
Coefficiente de correlación	0.8293
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

El coeficiente de correlación que se determinó entre  $\gamma_d$  in situ, %F y  $W_{opt}$  para una observación total de 12 datos evaluados es igual a 0.8293 la ecuación de correlación que mejor se ajustó a la nube de puntos es una función de tipo exponencial, lo cual indica que el grado de relación que existe entre estas tres variables es buena. Los rangos de validez de la ecuación de correlación varían de 12.5% al 32.3% para  $W_{opt}$  y del 0.11% al 4.20% para %F.

La relación que existe entre  $\gamma_d$  in situ y  $W_{opt}$  es inversamente proporcional, ya que, si el suelo tiene mayor contenido de agua su humedad óptima aumenta, pero la densidad seca disminuye, por el contrario, no se encontró ninguna relación entre la densidad seca en el sitio y el contenido de finos.

### Correlación N° 14

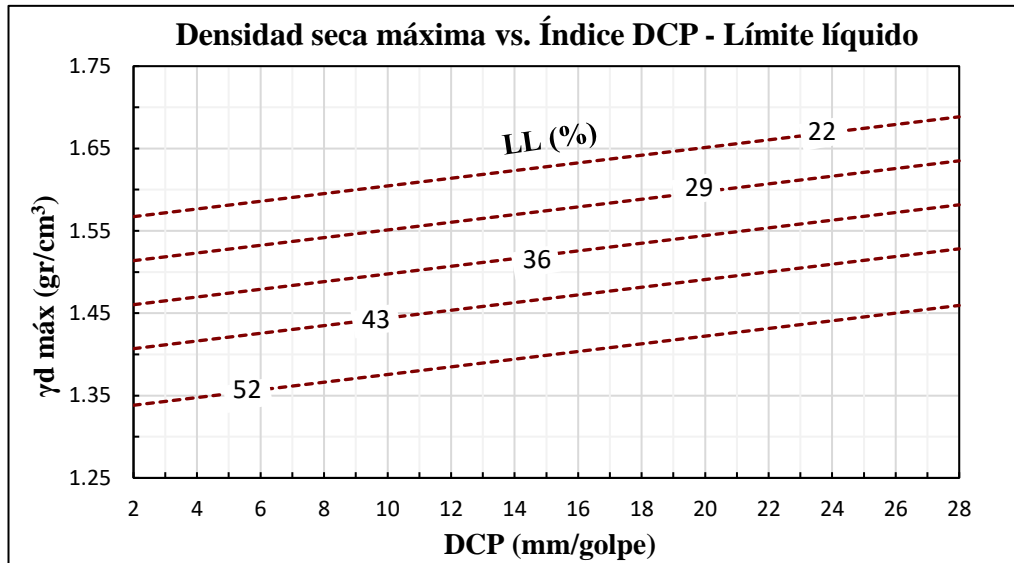


Figura 55. Correlación entre densidad seca máxima vs. índice DCP - límite plástico

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

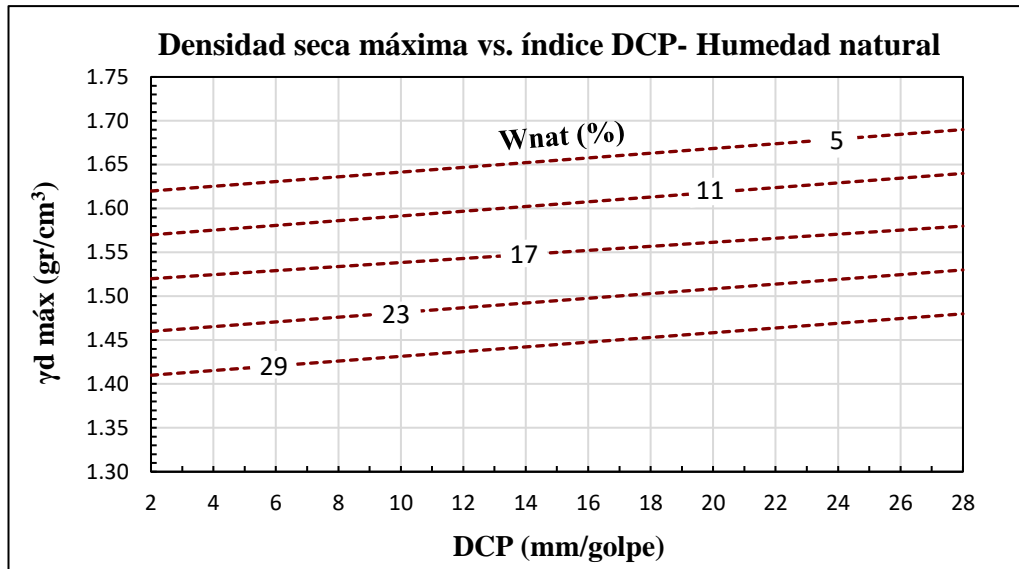
Ecuación de correlación	$\gamma_d \text{ máx} = 1.7034 + 0.1058 \text{ Log} ( \text{DCP} ) - 0.0076 \text{ LL}$
Coefficiente de correlación	0.8510
Datos correlacionados	12 muestras

#### Análisis e interpretación :

El modelo de regresión que mejor se relacionó entre  $\gamma_d \text{ máx}$ , DCP y LL es una función de tipo logarítmica, la cual presentó un coeficiente de correlación igual a 0.8510. Esto indica que la ecuación de correlación que se determinó entre estas tres propiedades es buena y, por lo tanto, es aceptable para estimar los valores de la densidad seca máxima en función del índice DCP y límite líquido. Para el análisis de correlación se utilizó 12 datos con rangos que varían entre 2.75 y 27.80 mm/golpe para el índice DCP y entre 22.64% y 51.97% para LL.

Existe una correspondencia inversamente proporcional entre  $\gamma_d \text{ máx}$  vs. el índice DCP y LL, ya que al aumentar la densidad seca máxima los valores del índice DCP y límite líquido disminuyen, por consiguiente, a medida que el suelo es más denso mayor será su capacidad resistente.

### Correlación N° 15



**Figura 56. Correlación entre densidad seca máxima vs. índice DCP – humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

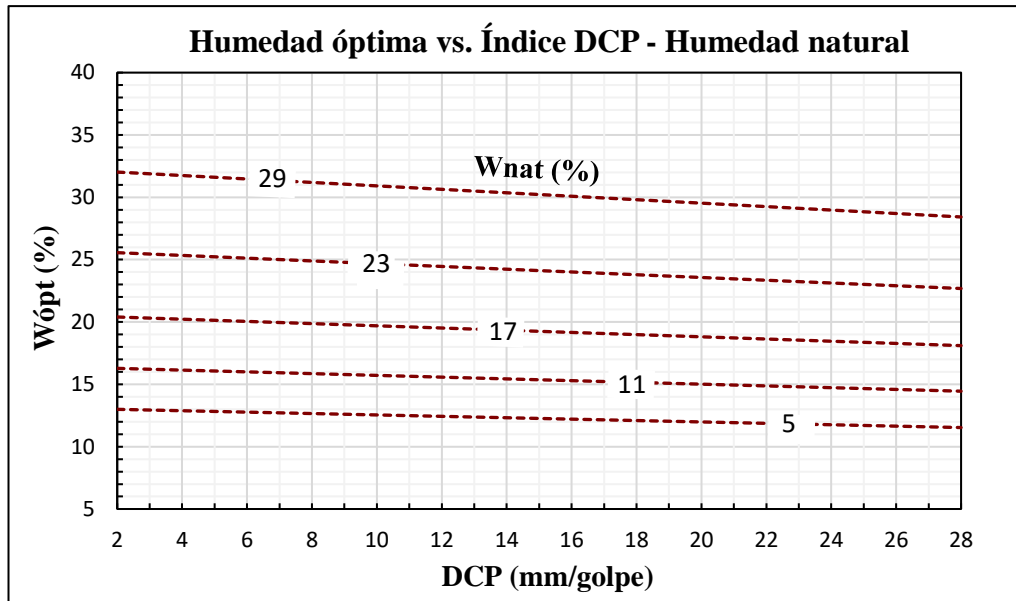
Ecuación de correlación	$\gamma_d \text{ máx} = 1.647 + 0.06 \text{ Log (DCP)} - 0.009 \text{ Wnat}$
Coefficiente de correlación	0.8204
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

La ecuación de correlación que mejor se relacionó entre  $\gamma_d \text{ máx}$ , DCP y Wnat es una función de tipo logarítmica, en la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.8204 para un total de 12 datos evaluados lo que indica que existe una correspondencia buena entre estas propiedades del suelo. Los límites de validez de la ecuación de correlación varían de 2.75 y 27.80 mm/golpe para el índice DCP y entre 5.76% y 28.08% para Wnat.

Puede notarse que la densidad seca máxima aumenta a medida que el índice DCP y el contenido de humedad disminuyen, por lo que, existe una relación inversamente proporcional entre estas variables. Este comportamiento se debe a que a medida que el suelo es más denso mayor es la resistencia a ser penetrado lo que se manifiesta en valores menores del índice DCP.

### Correlación N° 16



**Figura 57. Correlación entre humedad óptima vs. índice DCP – humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

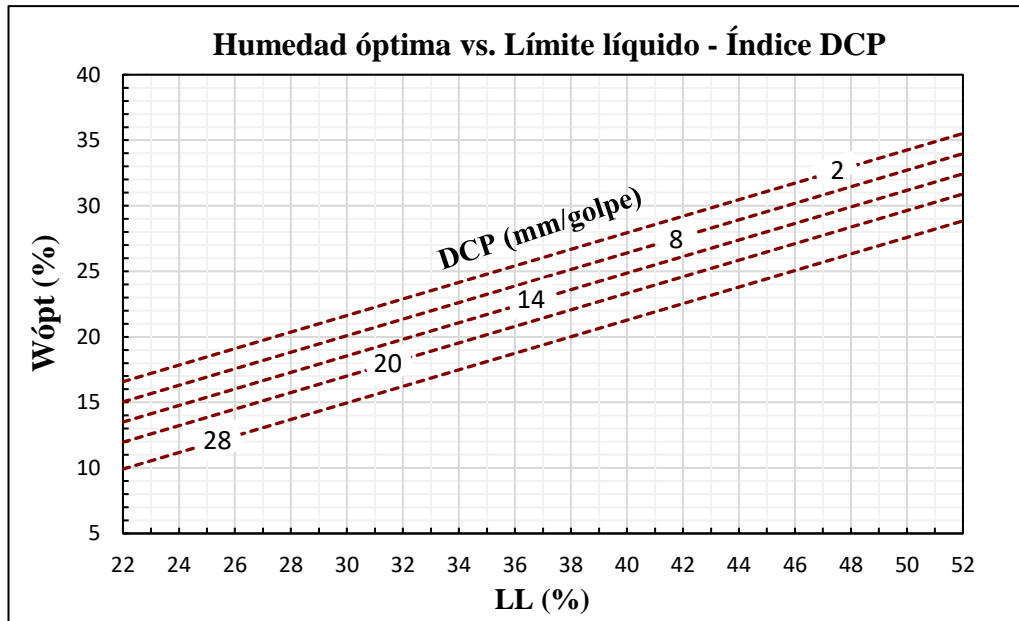
Ecuación de correlación	$W_{\text{ópt}} = 10.8669 * e^{-0.0046 \text{ DCP}} * e^{0.0376 \text{ Wnat}}$
Coefficiente de correlación	0.9275
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Se determinó una correlación muy significativa entre  $W_{\text{ópt}}$ , DCP y  $W_{\text{nat}}$  mediante una función de tipo exponencial en la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.9275 lo que representa una ecuación de correlación alta y confiable entre estas propiedades. Para el análisis de correlación se utilizó 12 muestras con rangos para el índice DCP que varía entre 2.75 y 27.80 mm/golpe y valores de  $W_{\text{nat}}$  que oscilan entre 5.76% y 28.08%.

Se puede observar que existe una relación directamente proporcional entre el contenido de humedad óptimo, índice DCP y humedad natural, debido a que, si el contenido de humedad del suelo incrementa la humedad óptima también tiende a incrementar, por lo tanto, los valores del índice de penetración DCP aumentan, pero su capacidad de resistencia disminuye.

**Correlación N° 17**



**Figura 58. Correlación entre humedad óptima vs. límite líquido y DCP**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

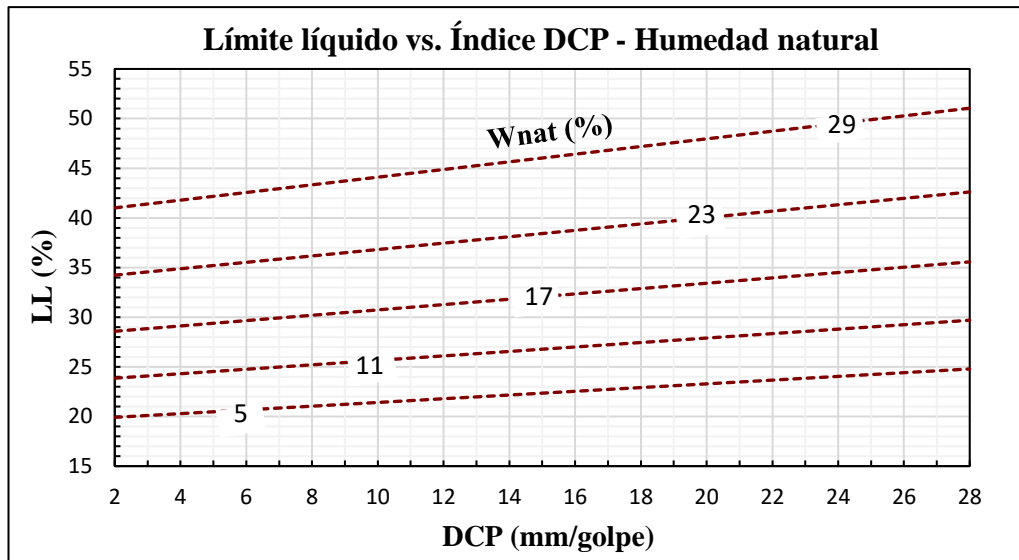
Ecuación de correlación	$W_{\text{ópt}} = 3.2049 + 0.6312 LL - 0.2565 DCP$
Coefficiente de correlación	0.8748
Datos correlacionados	12 muestras

**Análisis e interpretación :**

Se determinó una correlación aceptable entre  $W_{\text{ópt}}$ , LL y DCP mediante una función de tipo lineal en la cual se obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0.8748 lo que representa una buena ecuación de correspondencia entre estas tres variables. Para el análisis de correlación se trabajó con 12 muestras con rangos de valores de LL que varía entre 22.64% y 51.97% y valores de DCP que oscilan entre 2.75 y 27.80 mm/golpe.

Existe una relación directa entre la humedad óptima, límite líquido y el índice DCP, debido a que al aumentar los valores del límite líquido los valores de la humedad óptima y DCP también aumentan, por lo que, presenta una menor resistencia a la penetración, logrando alcanzar una reducción de la capacidad resistente en el suelo.

### Correlación N° 18



**Figura 59. Correlación entre límite líquido vs. índice DCP – humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

Ecuación de correlación	$LL = 16,8452 * e^{-0,0084 DCP} * e^{0,0301 Wnat}$
Coefficiente de correlación	0.8654
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Para el análisis de correlación se empleó un total 12 muestras en la que se determinó que la ecuación que mejor se relaciona entre LL, DCP y Wnat es una función de tipo exponencial la cual arrojó un coeficiente de correlación de 0.8654. Esto indica que la ecuación de correlación que se determinó entre estas tres propiedades es buena, por lo que es aceptable estimar los valores del límite líquido en función del índice DCP y humedad natural. Los límites de validez de la ecuación de correlación varían entre 2.75 y 27.80 mm/golpe para el índice DCP y entre 5.76% a 28.08% para Wnat.

Se puede observar que existe una relación directa entre el límite líquido, índice DCP y el contenido de humedad natural, debido a que al aumentar la humedad natural del suelo el índice DCP también aumenta, por lo que existe una menor resistencia a la penetración.



Correlación N° 19

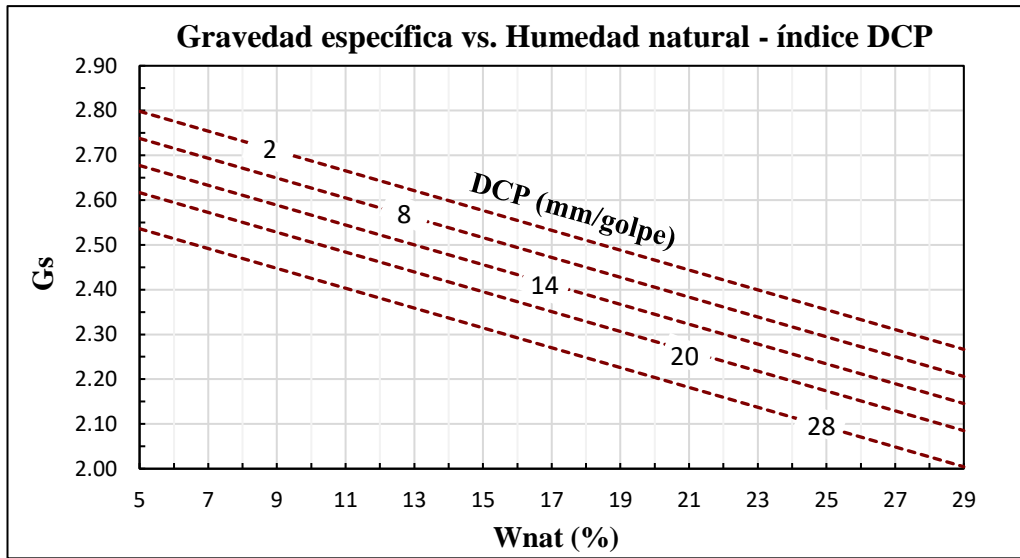


Figura 60. Correlación entre humedad óptima vs. índice DCP – humedad natural

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

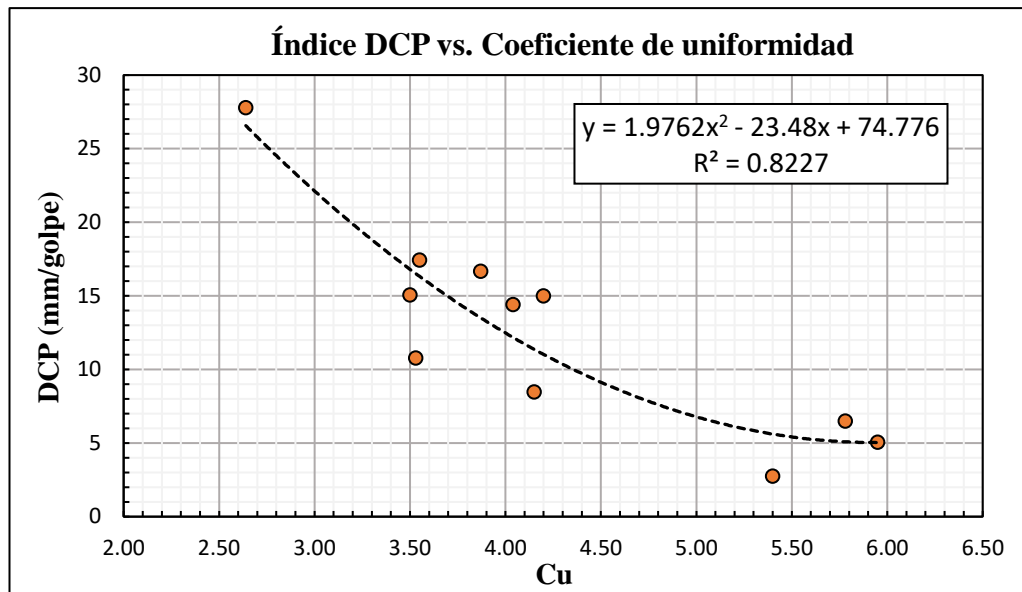
Ecuación de correlación	$G_s = 3.3053 - 0,6965 \text{ Log } (W_{nat}) - 0.0101 \text{ DCP}$
Coefficiente de correlación	0.8716
Datos correlacionados	12 muestras

**Análisis e interpretación :**

El modelo de regresión que mejor se relacionó entre  $G_s$ ,  $W_{nat}$  y DCP es una función de tipo logarítmica la cual presentó un coeficiente de correlación igual a 0.8716, por consiguiente, la ecuación de correlación que se determinó entre estas tres propiedades índice es buena y aceptable. Para el análisis de correlación se utilizó 12 datos con rangos que varían entre 5.76% y 28.08% para la  $W_{nat}$  y entre 2.75 y 27.80 mm/golpe para el índice DCP.

Se puede notar que existe una relación inversamente proporcional entre  $G_s$  y  $W_{nat}$ , entonces se puede establecer que, para mayores contenidos de humedad se obtienen menores valores de gravedad específica, por el contrario, existe una relación directa entre la  $G_s$  y el DCP debido a que al aumentar la gravedad específica también tiende a aumentar los valores del índice DCP, pero la capacidad resistente del suelo disminuye.

## Correlación N° 20



**Figura 61. Correlación entre el índice DCP y el coeficiente de uniformidad**

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez**

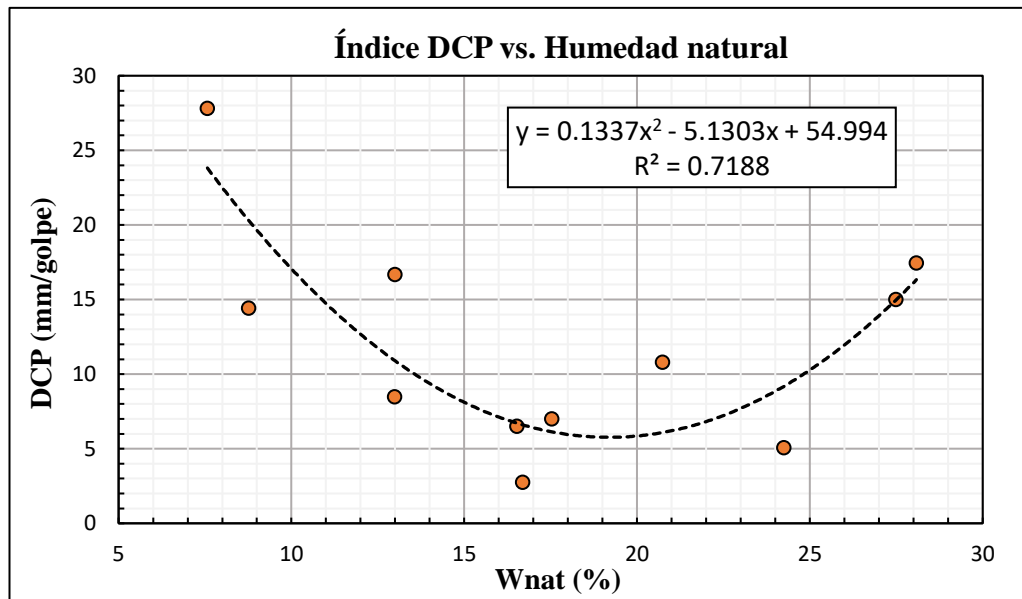
Ecuación de correlación	$DCP = 1.9762 Cu^2 - 23.48 Cu + 74.776$
Coeficiente de correlación	0.9070
Datos correlacionados	11 muestras

### **Análisis e interpretación :**

El coeficiente de correlación que se determinó entre el índice DCP y Cu para una observación total de 11 datos evaluados es igual a 0.9070 la ecuación de correlación que mejor se ajustó a la nube de puntos es una función logarítmica de segundo grado la cual indica que el grado de correspondencia que existe entre estas dos variables es muy buena y por lo tanto es confiable para estimar los valores del índice DCP en función del coeficiente de uniformidad teniendo presente que su límite de validez para aplicar la ecuación de correlación varía entre 2.57 y 5.95 para el Cu.

Existe una relación inversa entre Cu y DCP es decir a medida que el coeficiente de uniformidad decrece el índice DCP aumenta lo cual indica que debido a los valores bajos que presenta el coeficiente de uniformidad sus partículas tienden a ser muy uniformes, por lo tanto, el suelo es de mala graduación.

### Correlación N° 21



**Figura 62. Correlación entre el índice DCP y la humedad natural**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

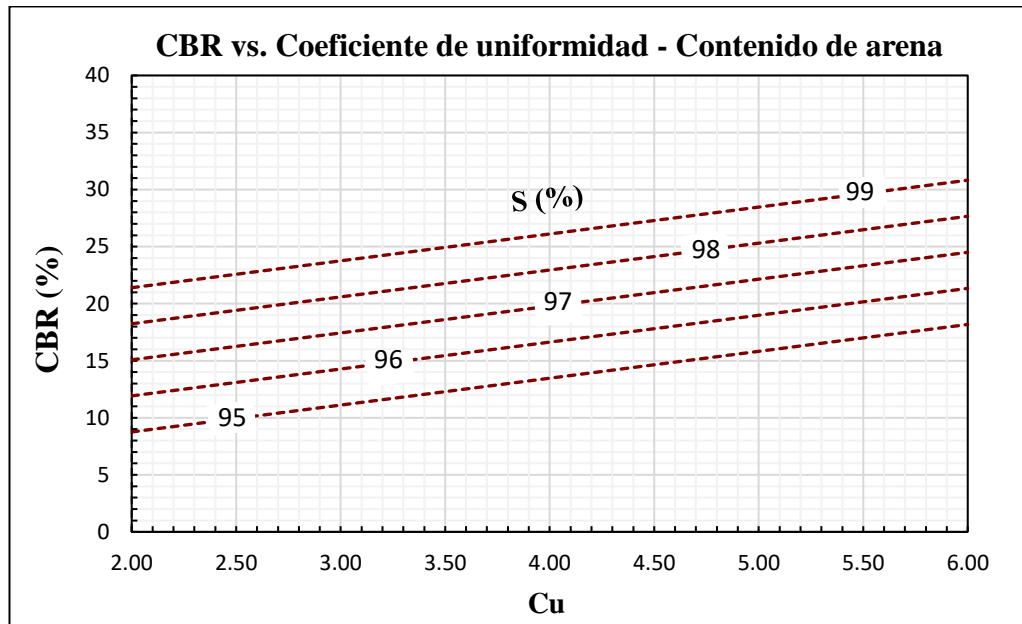
Ecuación de correlación	$DCP = 0.1337 Wnat^2 - 5.1303 Wnat + 54.994$
Coefficiente de correlación	0.8478
Datos correlacionados	11 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

La ecuación de correlación que mejor se relacionó entre el índice DCP y Wnat es una función polinómica de segundo orden en la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.8478 para un total de 11 datos evaluados lo que indica que existe una correspondencia aceptable entre estas propiedades del suelo. Los límites de validez de la ecuación de correlación varían entre 2.75 y 27.80 mm/golpe para el índice DCP y entre 5.76% y 28.08% para Wnat.

Se puede ver que existe una relación directa entre el índice DCP y Wnat, por lo que, a mayor contenido de agua en el suelo mayor es el valor del índice DCP debido a que existe una mayor facilidad de penetración. La presencia excesiva de agua anula las fuerzas de atracción interparticular que mantenían unido al suelo y lo convierte en un líquido viscoso sin capacidad resistente.

### Correlación N° 22



**Figura 63. Correlación entre CBR vs. coeficiente de uniformidad – contenido de arena**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

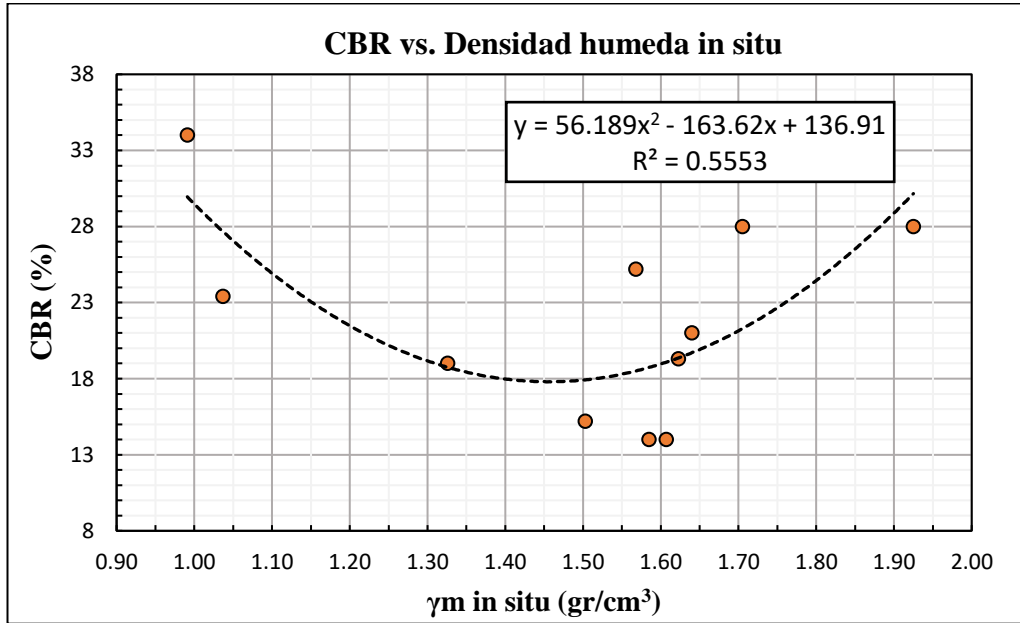
Ecuación de correlación	$CBR = - 236.1695 + 2.3542 Cu + 2.5286 \%S$
Coefficiente de correlación	0.6381
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Se determinó una correlación moderada entre el CBR, Cu y %S mediante una función de tipo lineal en la cual se determinó un coeficiente de correlación de 0.6381 lo que indica que la ecuación de correlación no es muy buena entre estas propiedades. Para el análisis de correlación se utilizó 12 muestras con rangos para el Cu que varía entre 2.57 a 5.95 y porcentajes de arena que oscilan entre 95.80% y 99.89%.

Se puede notar que el coeficiente de uniformidad y el contenido de arena no son parámetros determinantes para estimar el valor del CBR, debido a que a mayor cantidad de arena implica menor contenido de grava y de finos, por lo tanto, da como resultado menores valores del índice CBR.

### Correlación N° 23



**Figura 64. Correlación entre el CBR y la densidad húmeda in situ**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

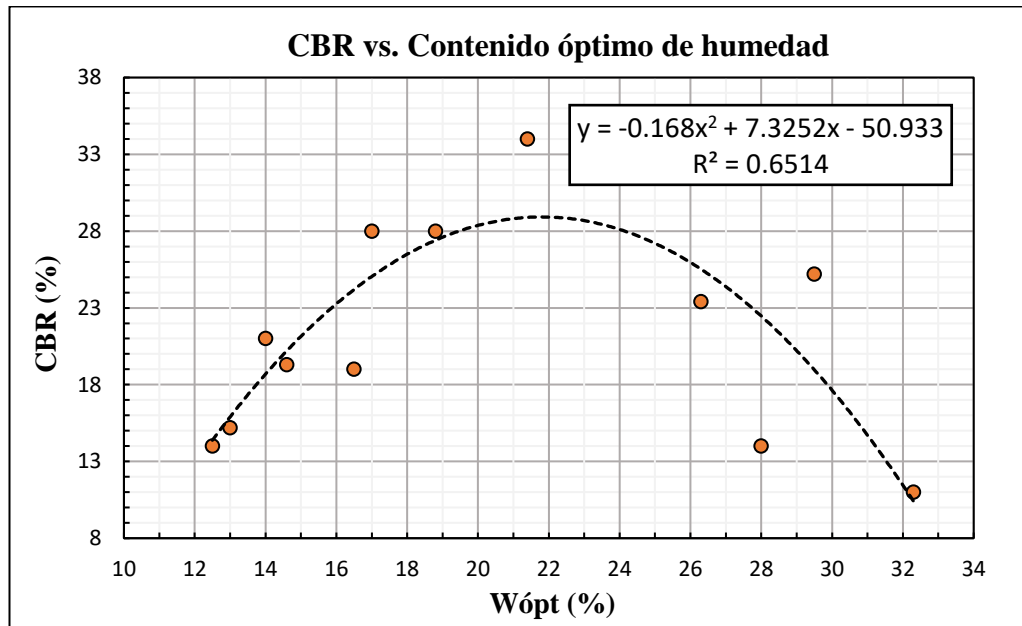
Ecuación de correlación	$CBR = 56.189 \gamma_m \text{ in situ}^2 - 163.62 \gamma_m \text{ in situ} + 136.91$
Coefficiente de correlación	0.7452
Datos correlacionados	11 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

Para el análisis de correlación se empleó un total de 11 muestras en la que se determinó que la ecuación que mejor se relaciona entre el CBR y  $\gamma_m$  in situ es una función polinómica de segundo grado la cual arrojó un coeficiente de correlación de 0.7452, lo cual indica que la ecuación de correlación que se determinó entre estas dos propiedades es regular. El límite de validez para los valores de la densidad húmeda varía entre 0.991 y 1.925 g/cm<sup>3</sup>.

Existe una relación directa entre el peso volumétrico y el índice CBR por lo que al aumentar el peso específico del suelo el índice CBR también tiende a aumentar, por lo tanto, cuanto más compacto este el suelo su capacidad de soporte será mayor debido a que existe un reacomodo de las partículas del suelo a través de la expulsión de aire.

### Correlación N° 24



**Figura 65. Correlación entre el CBR y la humedad óptima**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

Ecuación de correlación	$CBR = -0.168 W_{ópt}^2 + 7.3252 W_{ópt} - 50.933$
Coefficiente de correlación	0.8071
Datos correlacionados	12 muestras

#### **Análisis e interpretación :**

El coeficiente de correlación que se determinó entre el CBR y  $W_{ópt}$  para una observación de 12 datos correlacionados es igual a 0.8071 de manera que la ecuación que mejor se ajustó a la nube de puntos es una función polinómica de segundo grado lo que indica que el grado de correspondencia que existe entre estas propiedades es buena. El rango del contenido óptimo de humedad varía entre 12.5% y 32.3%.

Se puede observar que al aumentar el contenido óptimo de humedad el índice CBR disminuye, por lo tanto, existe una relación indirecta entre estas dos propiedades, por consiguiente, el aumento excesivo de agua en el suelo provocará que disminuya su resistencia, rigidez y estabilidad volumétrica.

Correlación N° 25

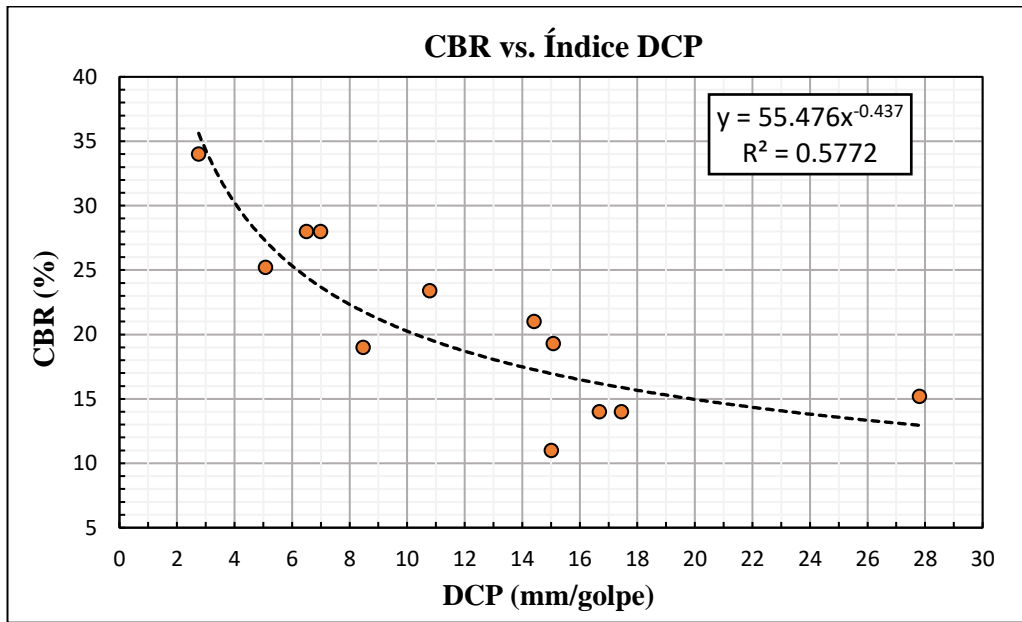


Figura 66. Correlación entre el CBR y el índice DCP

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

Ecuación de correlación	$CBR = 55.476 * DCP^{-0.437}$
Coefficiente de correlación	0.7598
Datos correlacionados	12 muestras

**Análisis e interpretación :**

El modelo de regresión que mejor se relacionó entre el CBR y el índice DCP es una función de tipo exponencial la cual presentó un coeficiente de correlación igual a 0.7598 lo que significa que la ecuación de correlación que se determinó entre estas dos variables es aceptable. Para el análisis de correlación se utilizó 12 datos y su límite de validez para el índice DCP varía entre 2.75 y 27.80 mm/golpe.

Existe una relación inversamente proporcional entre el índice DCP y el índice CBR debido a que al disminuir los valores del DCP los valores del CBR aumentan, por lo tanto, las partículas sólidas al estar más en contacto entre ellas presentan mayores valores de densidad y cohesión, pero una menor resistencia a la penetración.

### 3.3. Estudio de tráfico

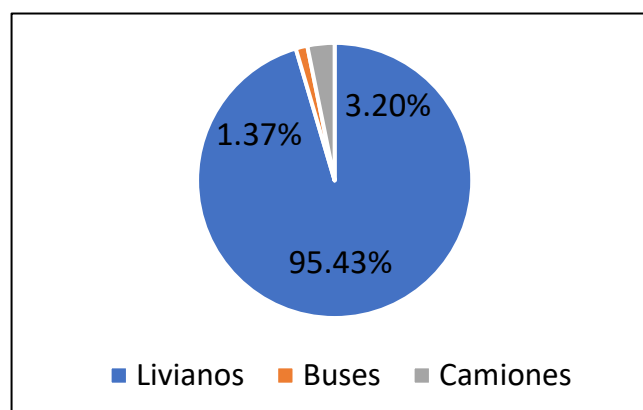
El estudio de tráfico se lo realizó en la vía interparroquial Salasaca-El Rosario mediante un conteo manual de 12 horas diarias a partir de las 7 a.m. hasta las 7 p.m. con un intervalo de 15 minutos durante 7 días consecutivos desde el 14 al 20 de diciembre de 2020, con el propósito de obtener datos consistentes del tránsito actual que circulan por la vía. En la siguiente tabla se presenta la hora de mayor tránsito vehicular de la semana la misma que fue registrada el día domingo 20 de diciembre de 2020 de 5 a 6 p.m.

**Tabla 44. Volumen horario de máxima demanda**

Hora	Livianos	Buses	Camiones			Total, veh. 15 min.
			2DA	2DB	Total	
17:00 - 17:15	56	0	0	1	1	57
17:15 - 17:30	51	1	1	1	2	54
17:30 - 17:45	49	1	2	1	3	53
17:45 - 18:00	53	1	1	0	1	55
Total	209	3	4	3	7	219
%	95.43	1.37	1.83	1.37	3.20	100

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

El volumen horario de máxima demanda tiene un total de 219 vehículos conformados de la siguiente manera: 95.43% para vehículos livianos, 1.37% para buses y 3.20% para camiones de 2 ejes medianos y grandes, siendo los vehículos de tipo liviano los que circulan con mayor afluencia.



**Figura 67. Interpretación gráfica de la composición vehicular**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



### 3.3.1.1. Cálculo del tránsito existente (TPDA existente)

Para determinar el TPDA existente se utilizó el método de la trigésima hora el cual recomienda utilizar un valor de factor  $k = 15\%$  para carreteras de tipo rural. [38]

#### ✓ TPDA existente para vehículos livianos

$$\text{TPDA (Livianos)} = \frac{\text{VHP}}{k}$$

$$\text{TPDA (Livianos)} = \frac{209}{15\%}$$

$$\text{TPDA (Livianos)} = 1393 \text{ vehículos/día}$$

#### ✓ TPDA existente para buses

$$\text{TPDA (Buses)} = \frac{\text{VHP}}{k}$$

$$\text{TPDA (Buses)} = \frac{3}{15\%}$$

$$\text{TPDA (Buses)} = 20 \text{ vehículos/día}$$

#### ✓ TPDA existente para camiones

$$\text{TPDA (Camiones)} = \frac{\text{VHP}}{k}$$

$$\text{TPDA (Camiones)} = \frac{7}{15\%}$$

$$\text{TPDA (Camiones)} = 47 \text{ vehículos/día}$$

El TPDA existente total es igual a:

$$\text{TPDA existente total} = \text{TPDA (Livianos)} + \text{TPDA (Buses)} + \text{TPDA (Camiones)}$$

$$\text{TPDA existente total} = 1393 + 20 + 47$$

$$\text{TPDA existente total} = 1460 \text{ vehículos/día}$$

### 3.3.1.2. Cálculo del tránsito generado (Tg)

Para determinar el tránsito generado se estima como el 20% del TPDA existente.[37]

✓ **Tránsito generado para vehículos livianos**

$$\text{Tg (Livianos)} = 20\% * 1393$$

$$\text{Tg (Livianos)} = 279 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito generado para buses**

$$\text{Tg (Buses)} = 20\% * 20$$

$$\text{Tg (Buses)} = 4 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito generado para camiones**

$$\text{Tg (Camiones)} = 20\% * 47$$

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

El Tránsito generado total es igual a:

$$\text{Tg total} = \text{Tg (Livianos)} + \text{Tg (Buses)} + \text{Tg (Camiones)}$$

$$\text{Tg total} = 279 + 4 + 9$$

$$\text{Tg total} = 292 \text{ vehículos/día}$$

**Tabla 45. Tránsito generado**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>TPDA<sub>existente</sub> (vehículos/día)</b>	<b>Tg (vehículos/día)</b>
Livianos	1393	279
Buses	20	4
Camiones	47	9
Total	1460	292

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.3.1.3. Cálculo del tránsito atraído (Tat)

Para determinar el tránsito atraído se estima como el 10% del TPDA existente.[39]

✓ **Tránsito atraído para vehículos livianos**

$$\text{Tat (Livianos)} = 10\% * 1393$$

$$\text{Tat (Livianos)} = 139 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito atraído para buses**

$$\text{Tat (Buses)} = 10\% * 20$$

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

✓ **Tránsito atraído para camiones**

$$\text{Tat (Camiones)} = 10\% * 47$$

$$\text{Tat (Camiones)} = 5 \text{ vehículos/día}$$

El Tránsito atraído total es igual a:

$$\text{Tat total} = \text{Tat (Livianos)} + \text{Tat (Buses)} + \text{Tat (Camiones)}$$

$$\text{Tat total} = 139 + 2 + 5$$

$$\text{Tat total} = 146 \text{ vehículos/día}$$

**Tabla 46. Tránsito atraído**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>TPDA<sub>existente</sub> (vehículos/día)</b>	<b>Tat (vehículos/día)</b>
Livianos	1393	139
Buses	20	2
Camiones	47	5
Total	1460	146

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.3.1.4. Cálculo del tránsito desarrollado (Td)

Para determinar el tránsito desarrollado se estima como el 5% del TPDA existente.[39]

✓ **Tránsito desarrollado para vehículos livianos**

$$Td (\text{Livianos}) = 5\% * 1393$$

$$Td (\text{Livianos}) = 70 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito desarrollado para buses**

$$Td (\text{Buses}) = 5\% * 20$$

$$Td (\text{Buses}) = 1 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito desarrollado para camiones**

$$Td (\text{Camiones}) = 5\% * 47$$

$$Td (\text{Camiones}) = 2 \text{ vehículos/día}$$

El Tránsito desarrollado total es igual a:

$$Td \text{ total} = Td (\text{Livianos}) + Td (\text{Buses}) + Td (\text{Camiones})$$

$$Td \text{ total} = 70 + 1 + 2$$

$$Td \text{ total} = 73 \text{ vehículos/día}$$

**Tabla 47. Tránsito desarrollado**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>TPDA<sub>existente</sub></b> (vehículos/día)	<b>Td</b> (vehículos/día)
Livianos	1393	70
Buses	20	1
Camiones	47	2
Total	1460	73

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.3.1.5. Cálculo del tránsito actual (Ta)

✓ **Tránsito actual para vehículos livianos**

$$Ta(\text{Livianos}) = \text{TPDA}_{\text{existente}} + Tg + Tat + Td$$

$$Ta(\text{Livianos}) = 1393 + 279 + 139 + 70$$

$$Ta(\text{Livianos}) = 1881 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito actual para buses**

$$Ta(\text{Buses}) = \text{TPDA}_{\text{existente}} + Tg + Tat + Td$$

$$Ta(\text{Buses}) = 20 + 4 + 2 + 1$$

$$Ta(\text{Buses}) = 27 \text{ vehículos/día}$$

✓ **Tránsito actual para camiones**

$$Ta(\text{Camiones}) = \text{TPDA}_{\text{existente}} + Tg + Tat + Td$$

$$Ta(\text{Camiones}) = 47 + 9 + 5 + 2$$

$$Ta(\text{Camiones}) = 63 \text{ vehículos/día}$$

El Tránsito actual total es igual a:

$$Ta \text{ total} = Ta(\text{Livianos}) + Ta(\text{Buses}) + Ta(\text{Camiones})$$

$$Ta \text{ total} = 1881 + 27 + 63$$

$$Ta \text{ total} = 1971 \text{ vehículos/día}$$

**Tabla 48. Tránsito actual**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>TPDA<sub>existente</sub></b> (vehículos/día)	<b>Ta</b> (vehículos/día)
Livianos	1393	1881
Buses	20	27
Camiones	47	63
Total	1460	1971

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.3.1.6. Cálculo del tránsito futuro (Tf)

Para determinar el tránsito futuro se realizó una proyección para un periodo de 20 años y se lo calculó en base al tránsito actual y a la tasa de crecimiento vehicular.

**Tabla 49. Índice de crecimiento vehicular**

Periodo	Tipo de vehículos		
	Livianos	Buses	Camiones
2015 - 2020	3.97	1.97	1.94
2020 - 2025	3.57	1.78	1.74
2025 - 2030	3.25	1.62	1.58
2030 - 2035	3.25	1.62	1.58
2035 - 2040	3.25	1.62	1.58

**Fuente:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013

#### ✓ Tránsito futuro para vehículos livianos

$$Tf(\text{Livianos}) = Ta(1 + i)^n$$

$$Tf(\text{Livianos}) = 1881(1 + 0.0325)^{20}$$

$$Tf(\text{Livianos}) = 3566 \text{ vehículos/día}$$

#### ✓ Tránsito futuro para buses

$$Tf(\text{Buses}) = Ta(1 + i)^n$$

$$Tf(\text{Buses}) = 27(1 + 0.0162)^{20}$$

$$Tf(\text{Buses}) = 37 \text{ vehículos/día}$$

#### ✓ Tránsito futuro para camiones

$$Tf(\text{Camiones}) = Ta(1 + i)^n$$

$$Tf(\text{Camiones}) = 63(1 + 0.0158)^{20}$$

$$Tf(\text{Camiones}) = 86 \text{ vehículos/día}$$

El Tránsito futuro total es igual a:

$$Tf \text{ total} = Tf (\text{Livianos}) + Tf (\text{Buses}) + Tf (\text{Camiones})$$

$$Tf \text{ total} = 3566 + 37 + 86$$

$$Tf \text{ total} = 3689 \text{ vehículos/día}$$

### 3.3.1.7. Clasificación de la carretera en función del tráfico proyectado

El tráfico para el año proyectado es de 3689 vehículos/día, por lo que de acuerdo a lo establecido en la Norma de Diseño Geométrico de carreteras MOP 2003 se clasifica como una vía colectora clase I.

**Tabla 50. Clasificación de la carretera en función de tráfico proyectado**

<b>Clase de carretera carretera</b>	<b>TPDA (Año final de diseño)</b>
RI o RII	> 8000
I	3000 - 8000
II	1000 - 3000
III	300 - 1000
IV	100 - 300
V	< 100

**Fuente:** Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

**Tabla 51. Tráfico futuro**

Periodo	Índice de crecimiento (%)			Tf = Ta* (1+i) <sup>n</sup>					Tránsito futuro (vehículos/día)
	Livianos	Buses	Camiones	Livianos	Buses	Camiones			
						2DA	2DB	Total	
2020	3.97	1.97	1.94	1881	27	36	27	63	1971
2021	3.97	1.97	1.94	1956	28	37	28	65	2049
2022	3.57	1.78	1.74	2018	28	37	28	65	2111
2023	3.57	1.78	1.74	2090	28	38	28	66	2184
2024	3.57	1.78	1.74	2164	29	39	29	68	2261
2025	3.57	1.78	1.74	2242	29	39	29	68	2339
2026	3.57	1.78	1.74	2322	30	40	30	70	2422
2027	3.25	1.62	1.58	2353	30	40	30	70	2453
2028	3.25	1.62	1.58	2429	31	41	31	72	2532
2029	3.25	1.62	1.58	2508	31	41	31	72	2611
2030	3.25	1.62	1.58	2590	32	42	32	74	2696
2031	3.25	1.62	1.58	2674	32	43	32	75	2781
2032	3.25	1.62	1.58	2761	33	43	33	76	2869
2033	3.25	1.62	1.58	2851	33	44	33	77	2961
2034	3.25	1.62	1.58	2943	34	45	34	79	3056
2035	3.25	1.62	1.58	3039	34	46	34	80	3153
2036	3.25	1.62	1.58	3138	35	46	35	81	3254
2037	3.25	1.62	1.58	3240	35	47	35	82	3357
2038	3.25	1.62	1.58	3345	36	48	36	84	3465
2039	3.25	1.62	1.58	3454	37	48	36	84	3575
2040	3.25	1.62	1.58	3566	37	49	37	86	3689

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.3.1.8. Cálculo del número de ejes equivalentes

#### - Factor de daño

Para determinar el número de ejes equivalentes acumulados  $W_{18}$  para el periodo de diseño se debe considerar el factor de daño que se presenta en la siguiente tabla de acuerdo al tipo de vehículo.



**Tabla 52. Factores de daño de acuerdo al tipo de vehículo**

Tipo	Simple		Simple doble		Tandem		Tridem		Factor de daño
	Ton	(P/6.6) <sup>4</sup>	Ton	(P/8.2) <sup>4</sup>	Ton	(P/15) <sup>4</sup>	Ton	(P/23) <sup>4</sup>	
Bus	4	0.13	8	0.91	-	-	-	-	1.04
2D	3	0.04	-	-	-	-	-	-	0.17
	4	0.13	-	-	-	-	-	-	
2DA	3	0.04	7	0.53					0.57
2DB	7	1.27	11	3.24	-	-	-	-	4.51
3A	7	1.27	-	-	20	3.16	-	-	4.43
4C	7	1.27	-	-		-	24	1.19	2.46
3S2	7	1.27	-	-	20	6.32	-	-	7.59
3S3	7	1.27	-	-	20	3.16	24	1.19	5.62

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**- Factor de distribución por carril**

La vía objeto de estudio presenta dos carriles uno en cada dirección lo que corresponde a un factor de distribución de tráfico en el carril de diseño del 100% del total del flujo vehicular.

**Tabla 53. Factores de distribución por carril**

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

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

**- Factor de distribución por dirección**

Se considera un factor de reparto por sentido del 50%, es decir que del total del flujo vehicular la mitad va por cada dirección.

**Tabla 54. Factores de distribución por dirección**

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de vehículos en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o más	40

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

- **Número acumulado de ejes equivalentes**

Para determinar el número de ejes equivalentes se aplica la siguiente fórmula:

$$W_{18} = 365 * Tf * FD * fd$$

**Donde:**

- **W<sub>18</sub>** = Número de ejes equivalentes.
- **Tf** = Tráfico promedio diario anual final.
- **FD** = Factor de daño.
- **fd** = Factor de distribución de tráfico por carril.

✓ **Cálculo del número de ejes equivalentes W<sub>18</sub> en el primer año**

$$W_{18} = (365 * Tf_{Buses} * FD * fd) + (365 * Tf_{2DA} * FD * fd) + (365 * Tf_{2DB} * FD * fd)$$

$$W_{18} = (365 * 27 * 1.04 * 1) + (365 * 36 * 0.57 * 1) + (365 * 27 * 4.51 * 1)$$

$$W_{18} = 10249 + 7490 + 44446$$

$$W_{18} = 62185$$

✓ **Cálculo del número de ejes equivalentes W<sub>18</sub> por carril de diseño**

$$W_{18 \text{ Diseño}} = W_{18 \text{ Acumulado}} * 50\%$$

$$W_{18 \text{ Diseño}} = 85147 * 0.50$$

$$W_{18 \text{ Diseño}} = 42574$$

**Tabla 55. Cálculo del número de ejes equivalentes**

Período	$Tf = Ta * (1+i)^n$					Tránsito futuro (vehículos/día)	W18 Acumulado	W18 Diseño
	Livianos	Buses	Camiones					
			2DA	2DB	Total			
2020	1881	27	36	27	63	1971	62185	31093
2021	1956	28	37	28	65	2049	64419	32210
2022	2018	28	37	28	65	2111	64419	32210
2023	2090	28	38	28	66	2184	64627	32314
2024	2164	29	39	29	68	2261	66861	33431
2025	2242	29	39	29	68	2339	66861	33431
2026	2322	30	40	30	70	2422	69095	34548
2027	2353	30	40	30	70	2453	69095	34548
2028	2429	31	41	31	72	2532	71328	35664
2029	2508	31	41	31	72	2611	71328	35664
2030	2590	32	42	32	74	2696	73562	36781
2031	2674	32	43	32	75	2781	73770	36885
2032	2761	33	43	33	76	2869	75796	37898
2033	2851	33	44	33	77	2961	76004	38002
2034	2943	34	45	34	79	3056	78238	39119
2035	3039	34	46	34	80	3153	78446	39223
2036	3138	35	46	35	81	3254	80472	40236
2037	3240	35	47	35	82	3357	80680	40340
2038	3345	36	48	36	84	3465	82913	41457
2039	3454	37	48	36	84	3575	83293	41647
2040	3566	37	49	37	86	3689	85147	42574

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.4. Diseño estructural del pavimento flexible con el CBR de laboratorio

- Número de ejes simples equivalentes acumulados W<sub>18</sub>

El número total de ejes simples equivalentes acumulados para el periodo de diseño es de 42574. En la siguiente tabla se presentan los espesores mínimos sugeridos para las capas de carpeta asfáltica y base granular en función del número de ejes equivalentes.

**Tabla 56. Espesores mínimos en función del número de jes equivalentes**

<b>Tránsito (<math>W_{18}</math>)</b>	<b>Carpeta asfáltica (<math>D_1</math>)</b>	<b>Capa base (<math>D_2</math>)</b>
< 50 000	2.5 cm o T.S.	10 cm
50 001 a 150 000	5 cm	10 cm
150 001 a 500 000	6.5 cm	10 cm
500 001 a 2 000 000	7.5 cm	15 cm
2 000 001 a 7 000 000	9 cm	15 cm
>7 000 000	10 cm	15 cm

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

- **Confiabilidad (R)**

Por tratarse de una carretera colectora clase I y estar ubicada en una zona rural la confiabilidad corresponde al 85%.

**Tabla 57. Nivel de confiabilidad del proyecto**

<b>Tipo de carretera</b>	<b>Nivel de confiabilidad "R", recomendado</b>	
	<b>Zona urbana</b>	<b>Zona Rural</b>
Interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

- **Desviación estándar normal ( $Z_r$ )**

La desviación estándar normal para una confiabilidad del 85% corresponde a -1.037.

**Tabla 58. Desviación estándar normal del proyecto**

<b>Confiabilidad “R%”</b>	<b>Desviación estándar normal “Zr”</b>
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.576
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

- **Desviación estándar global ( $S_0$ )**

La guía AASHTO-93 recomienda valores de desviación estándar global “ $S_0$ ” para el diseño de pavimentos flexibles que varían entre un rango de 0.40 - 0.50 para la cual se optó por un valor promedio de 0.45.

- **Índice de serviciabilidad**

Los índices de serviciabilidad inicial y final recomendados por la guía AASHTO-93 para pavimentos flexibles para una vía secundaria son los siguientes:

- ✓ Serviciabilidad inicial ( $P_o$ ) = 4.2
- ✓ Serviciabilidad final ( $P_t$ ) = 2

La pérdida de serviciabilidad se determina con la siguiente fórmula.

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2$$

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

- **CBR de diseño**

El Instituto del Asfalto recomienda utilizar los siguientes percentiles para determinar el CBR de diseño en función del tránsito acumulado que se espera que circule por el pavimento en estudio tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 59. Percentiles para determinar el CBR de la subrasante**

Número de ejes de 8.2 Ton. en el carril de diseño	Percentil para determinar el CBR de diseño
< 10 000	60%
10 000 - 1 000 000	75%
> 1 000 000	87.50%

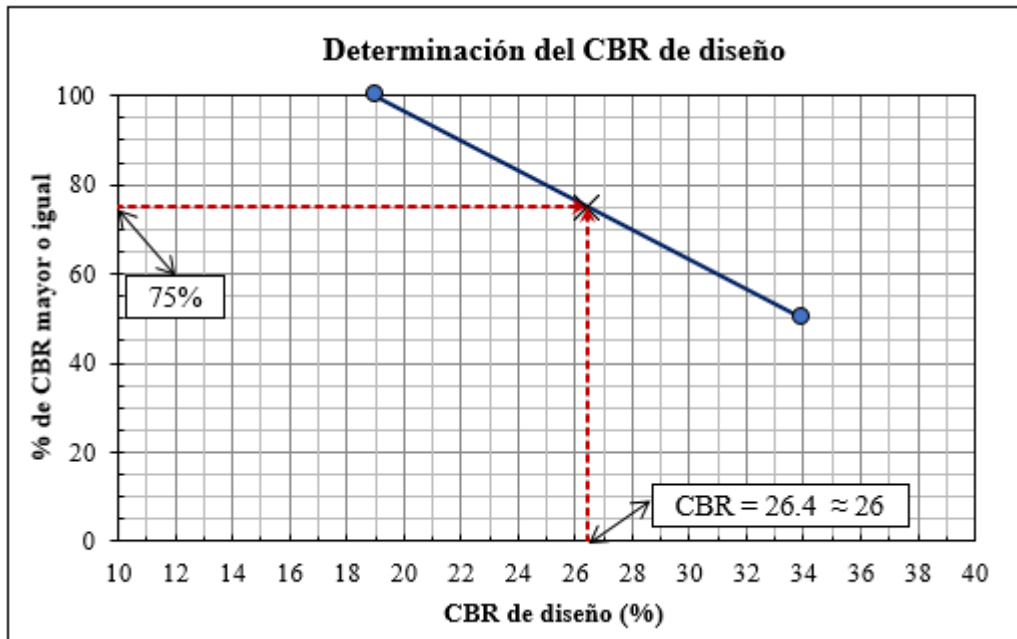
**Fuente:** Ingeniería de pavimentos para carreteras, Alfonso Montejo Fonseca

El número de ejes equivalentes en el carril de diseño es igual a 42574, por lo tanto, para determinar el CBR de diseño se trabaja con un percentil correspondiente a un valor del 75%.

**Tabla 60. Valores de CBR obtenidos por medio de ensayos**

Muestra	Valores de CBR	CBR mayores o iguales	% CBR mayores o iguales
P4	19	2	100
P3	34	1	50

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**Figura 68. CBR de diseño correspondiente al percentil del 75%**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

- **Módulo de resiliencia de la subrasante ( $M_r$ )**

El módulo de resiliencia de la subrasante se obtiene en función del CBR para lo cual se va a trabajar con un valor de 26% correspondiente al CBR de diseño y de acuerdo a la guía AASHTO-93 se determina con la siguiente ecuación de correlación.

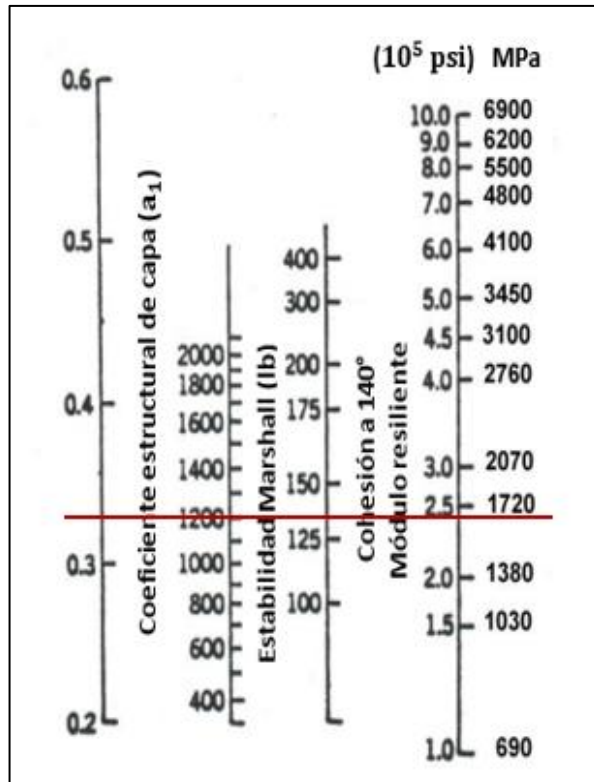
$$M_r (\text{psi}) = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241$$

$$M_r (\text{psi}) = 4326 * \ln(26) + 241$$

$$M_r (\text{psi}) = 14335.52 \text{ psi} = 14.33 \text{ ksi}$$

**Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica ( $a_1$ )**

Para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica se optó por una Estabilidad Marshall mínima para tráfico mediano de 1200 lb, de acuerdo a lo establecido en la norma NEVI 12-MTOP “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes”. [33]



**Figura 69. Nomograma para estimar el coeficiente de la carpeta asfáltica del proyecto**

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

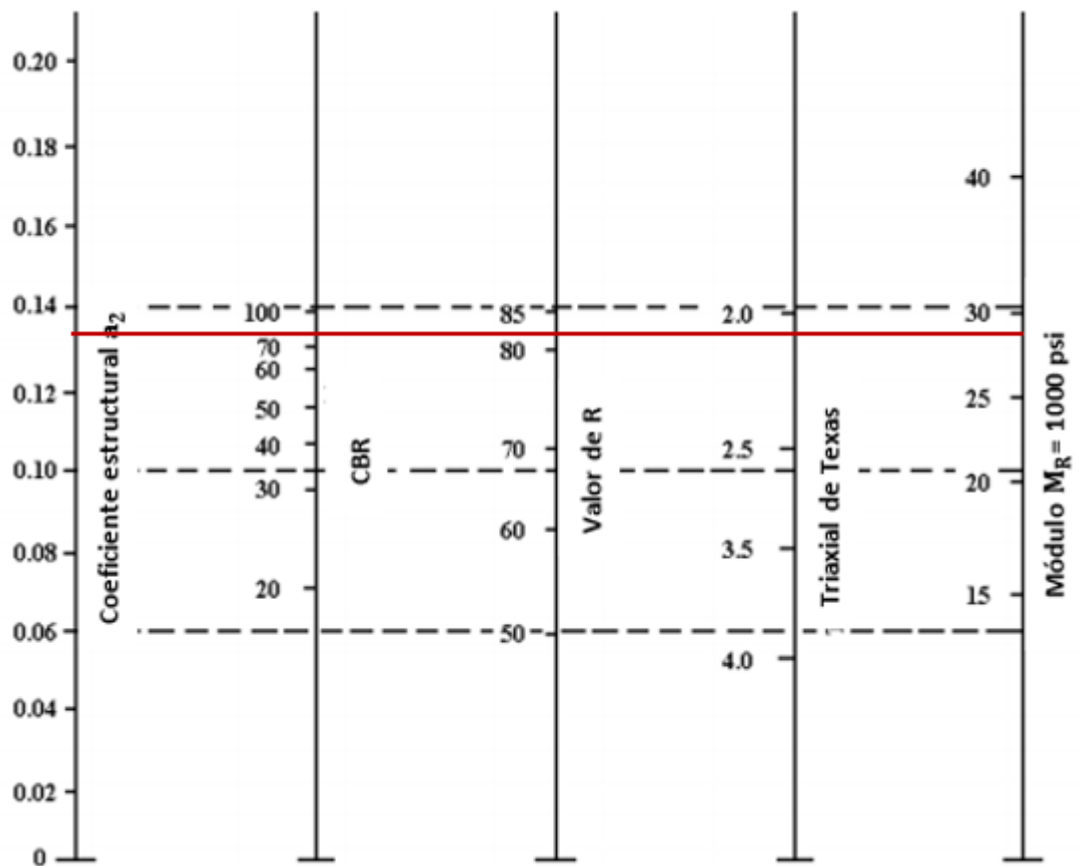
El coeficiente estructural de la carpeta asfáltica es igual a:

- ✓  $(a_1) = 0.32$
- ✓  $Mr = 240000 \text{ psi} = 240 \text{ ksi}$

- **Coeficiente estructural de la base granular ( $a_2$ )**

La capa de base de acuerdo a la norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP deberá cumplir con un índice de soporte CBR mayor o igual al 80%, por lo cual, para determinar el coeficiente estructural de la base granular se tomó su valor mínimo.[33]





**Figura 70. Nomograma para estimar el coeficiente de la base del proyecto**

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

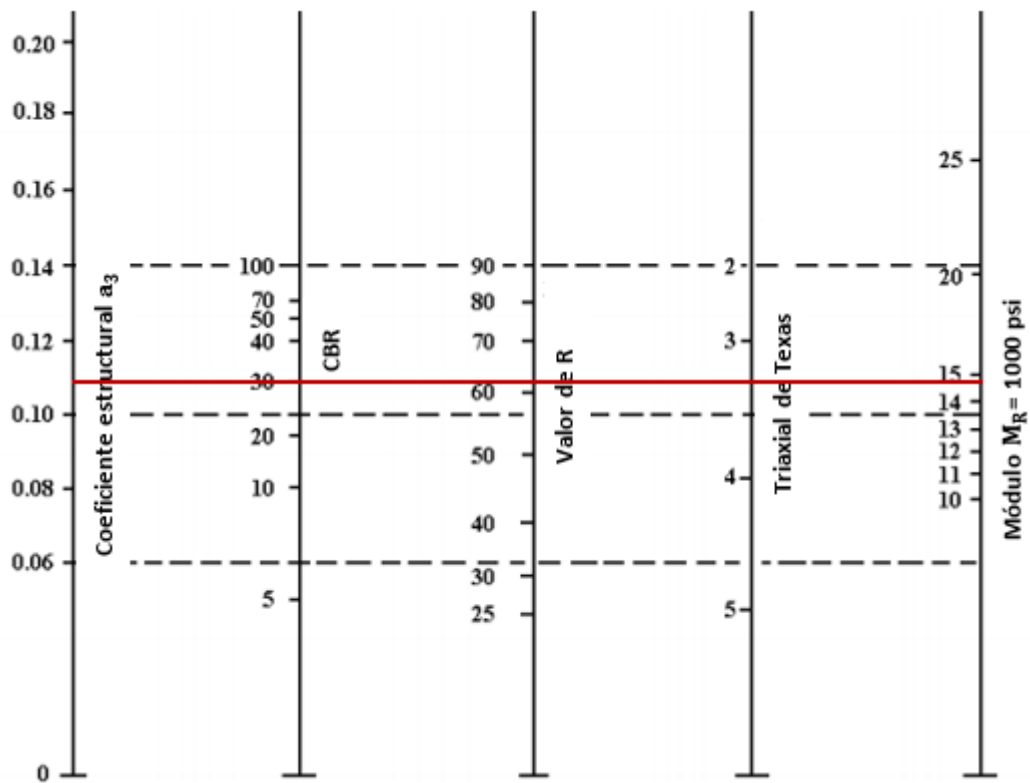
El coeficiente estructural de la base granular para un CBR del 80% es igual a:

✓  $(a_2) = 0.134$

✓  $M_r = 28000 \text{ psi} = 28 \text{ ksi}$

- **Coeficiente estructural de la subbase granular ( $a_3$ )**

La capa de subbase de acuerdo a la norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP deberá cumplir con un valor de soporte CBR mayor o igual al 30%, por lo cual, para determinar el coeficiente de la subbase granular se tomó su valor mínimo.[33]



**Figura 71. Nomograma para estimar el coeficiente de la subbase del proyecto**

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

El coeficiente estructural de la subbase granular para un CBR del 30% es igual a:

- ✓  $(a_3) = 0.108$
- ✓  $M_r = 14900 \text{ psi} = 14.9 \text{ ksi}$

- **Coeficientes de drenaje**

Se utilizó una calidad de drenaje regular con un porcentaje del pavimento expuesto a humedades que está entre el 5% - 25% por lo tanto, el coeficiente de drenaje para la capa de base y subbase del pavimento flexible se considera de 0.80.

**Tabla 61. Coeficientes de drenaje empleados en el diseño**

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
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
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

- **Número estructural (SN)**

Para determinar los espesores de las capas del pavimento flexible se requiere conocer el número estructural requerido empleando la ecuación básica de diseño AASHTO donde se involucran los parámetros que se determinaron anteriormente.

**Tabla 62. Datos para el diseño estructural del pavimento flexible**

Módulo de resiliencia de la carpeta asfáltica (ksi)	240
Módulo de resiliencia de la base (ksi)	28
Módulo de resiliencia de la subbase (ksi)	14.9
Módulo de resiliencia de la subrasante (ksi)	14.33
Número de ejes equivalentes ( $W_{18}$ )	42 574
Factor de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal ( $Z_r$ )	-1.037
Desviación estándar global ( $S_o$ )	0.45
Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )	4.2
Serviciabilidad final ( $P_t$ )	2
Periodo de diseño (años)	20
Coficiente estructural de la carpeta asfáltica ( $a_1$ )	0.32
Coficiente estructural de la base ( $a_2$ )	0.134
Coficiente estructural de la subbase ( $a_3$ )	0.108
Coficiente de drenaje de la base ( $m_2$ )	0.80
Coficiente de drenaje de la subbase ( $m_3$ )	0.80

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 14335.52 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =** 42574  Calcular W18

Número Estructural  
**SN =** 1.51

Calcular Salir

**Figura 72. Cálculo del “SN” con el CBR de laboratorio**

**Fuente:** Ecuación para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 85 % Zr=-1.037 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 14498.79 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =** 42574  Calcular W18

Número Estructural  
**SN =** 1.50

Calcular Salir

**Figura 73. Cálculo del “SN” con el CBR correlacionado**

**Fuente:** Ecuación para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

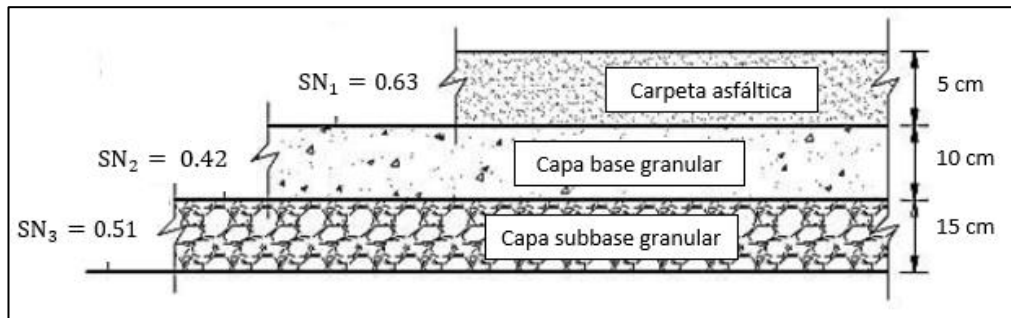
**Tabla 63. Cálculo de los espesores del pavimento con el CBR de laboratorio**

<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			240.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			42,574
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESMACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.037
DESMACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			14.33
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0.320
Base granular (a2)			0.134
Subbase (a3)			0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)			0.800
Subbase (m3)			0.800
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SNREQ)	1.51		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SNCA)	1.12		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SNBG)	0.36		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SNSB)	0.02		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	8.9 cm	5.0 cm	0.63
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	8.5 cm	10.0 cm	0.42
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	0.7 cm	15.0 cm	0.51
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	1.56
DISEÑADO POR : Luis Adrián Cevallos Núñez			<i>fm</i>

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993

- **Espesores de las capas de la estructura del pavimento**

Los espesores propuestos para cada de una de las capas que conforman la estructura del pavimento flexible con el CBR de laboratorio son las siguientes:



**Figura 74. Espesores del pavimento con el CBR de laboratorio**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

**3.5. Diseño estructural del pavimento flexible con el CBR correlacionado**

Para este diseño de pavimento se mantienen los datos del diseño anterior y se calculó los valores del CBR empleando la ecuación de correlación N° 25 de esta investigación, la cual permite estimar el valor del CBR en función del índice de penetración DCP.

✓ **Cálculo del CBR correspondiente al pozo N° 3**

$$CBR = 55.476 * DCP^{-0.437}$$

$$CBR = 55.476 * (2.753)^{-0.437}$$

$$CBR = 35.6 \approx 36$$

✓ **Cálculo del CBR correspondiente al pozo N° 4**

$$CBR = 55.476 * DCP^{-0.437}$$

$$CBR = 55.476 * (15.076)^{-0.437}$$

$$CBR = 16.9 \approx 17$$

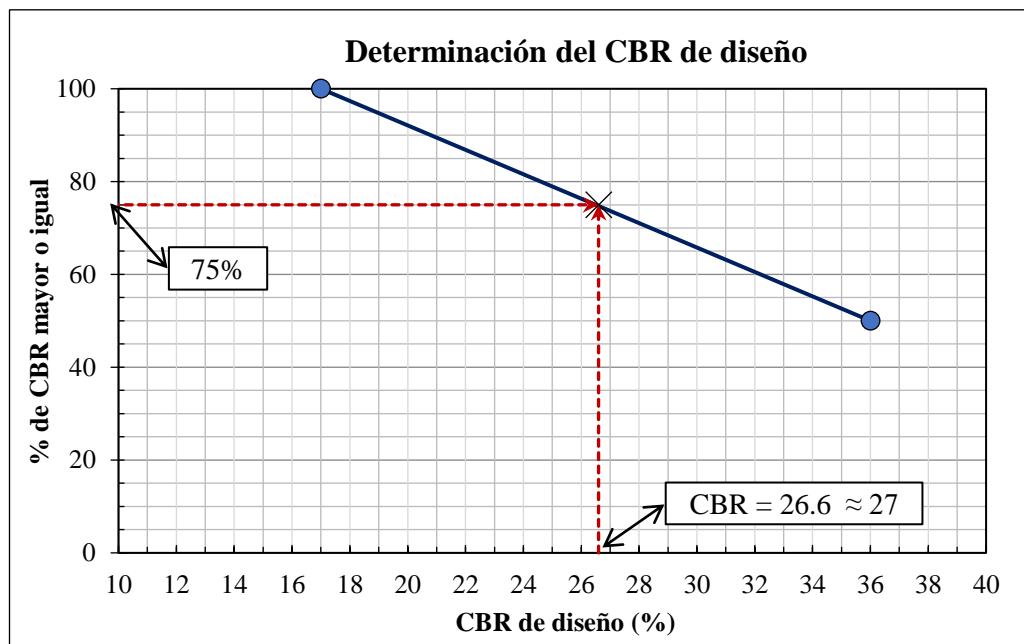
✓ **CBR de diseño**

Para determinar el valor del CBR de diseño se utilizó el percentil correspondiente al 75% debido a que el número de ejes equivalentes en el carril de diseño es de 42574.

**Tabla 64. Valores de CBR obtenido por medio de correlaciones**

Muestra	Valores de CBR	CBR mayores o iguales	% CBR mayores o iguales
P4	17	2	100
P3	36	1	50

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**Figura 75. Determinación del CBR de diseño correspondiente al percentil del 75%**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

En comparación al diseño del pavimento anterior, el único valor que cambia es el módulo resiliente de la subrasante debido a la variación presente entre el valor del CBR de laboratorio y el valor del CBR correlacionado.

**Tabla 65. Cálculo de los espesores del pavimento con el CBR correlacionado**

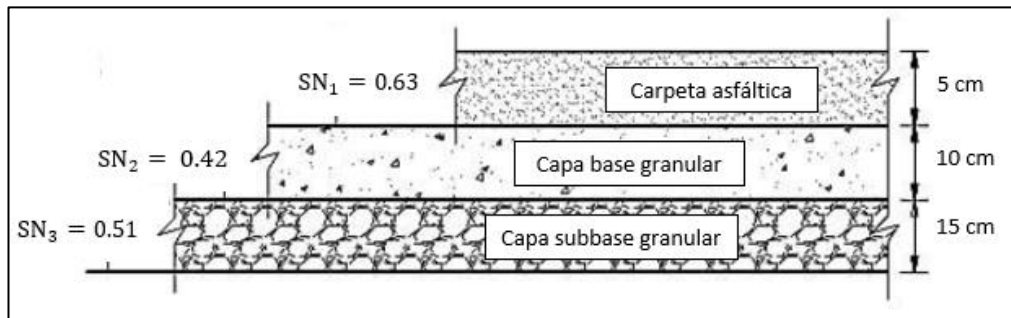
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (ksi)			240.00
B. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			42,574
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESMACIEN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)			-1.037
DESMACIEN ESTÁNDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			14.49
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0.320
Base granular (a2)			0.134
Subbase (a3)			0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)			0.800
Subbase (m3)			0.800
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	1.50		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFÁLTICA (SN <sub>CA</sub> )	1.12		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	0.36		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	0.02		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFÁLTICA (cm)	8.9 cm	5.0 cm	0.63
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	8.5 cm	10.0 cm	0.42
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	0.6 cm	15.0 cm	0.51
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	1.56
DISEÑADO POR : Luis Adrián Cevallos Núñez			<i>fm</i>

**Fuente:** Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO-1993



- **Espesores de las capas de la estructura del pavimento**

Los espesores propuestos para las capas que conforman la estructura del pavimento flexible con el valor del CBR correlacionado son las siguientes:



**Figura 76. Espesores del pavimento con el CBR correlacionado**

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

### 3.6. Verificación de la hipótesis

En base a los resultados de las correlaciones obtenidas se puede verificar que los coeficientes de correlación varían entre el 63% y 98%, lo cual indica que las correlaciones determinadas tienen un grado de confiabilidad alto, por lo tanto, se acepta la hipótesis anteriormente planteada debido a que los coeficientes de correlación son mayores al 50%.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se determinó un total de 25 ecuaciones de correlación divididas de la siguiente manera: 13 entre propiedades índice, 8 entre propiedades índice vs. índice DCP y 4 entre propiedades índice vs. CBR las mismas que arrojaron coeficientes de correlación que varían entre el 63% y 98% lo que indica que tienen un grado de confiabilidad muy aceptable.
- A través de los ensayos de campo y ensayos de laboratorio se determinó las propiedades índice y mecánicas de los suelos de las parroquias: Chiquicha, El Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez del cantón Pelileo, dichos valores se detallan en las tablas N° 41 y 42 de esta investigación.
- Mediante el presente trabajo experimental se amplió la fuente de información referentes a estudios de correlación entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de la provincia de Tungurahua.
- Se diseñó la estructura del pavimento flexible en base al método AASHTO-1993 considerando los valores del CBR de laboratorio 26% y por medio de correlación 27% consiguiendo como resultado los mismos espesores de la estructura del pavimento en los dos diseños, debido a que presentan una variación mínima entre el CBR de laboratorio y el CBR correlacionado. Los espesores propuestos son: Capa de subbase = 15 cm, capa de base = 10 cm y carpeta asfáltica = 5cm.

- Se clasificó las muestras de suelo de las parroquias en estudio como GP-SP (Gravas y arenas mal graduadas) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), mientras que de acuerdo a la Asociación Americana de Vías Estatales y Transporte Oficial (AASHTO) se clasificaron como suelos de tipo A-1-b (Fragmentos de piedra grava y arena), A-2-4 y A-2-5 (Arenas limosas).
- Se estableció el rango de tamaños de las partículas presentes en el suelo a través del análisis granulométrico mostrando un mínimo porcentaje de gravas 0% a 0.28% un alto porcentaje de arenas 95.80% y 99.89% y un porcentaje de material fino que varía entre 0.11% y 4.20%.
- Se determinó que los valores del límite líquido varían entre 21.33% y 51.97% y se tratan de suelos granulares de baja plasticidad debido a que el  $LL < 50\%$ , los valores del límite plástico varían entre 23.20% y 71.35% y el índice de plasticidad oscila entre 0.08% y 6.56% lo que indica que los finos que poseen en su estructura son limos por tratarse de un  $I_p < 6\%$ .
- Se determinó la densidad seca máxima y la humedad óptima para cada uno de los suelos estudiados arrojando los siguientes rangos de valores. La densidad máxima varía entre 1.395 y 1.666 g/cm<sup>3</sup> con contenidos de humedad óptimos que oscilan entre 12.5% a 32.3% y el grado de compactación del suelo fluctúa entre el 76% y 95%.
- El índice de penetración DCP permitió evaluar la resistencia de los suelos estudiados a una profundidad de 900 mm los mismos que dieron como resultado valores de 2.75 y 27.80 mm/golpe.
- De los suelos estudiados en lo que corresponde al ensayo de CBR se determinó que los valores varían entre el 11% y 34% lo cual indica que tienen una capacidad de resistencia buena para ser usados como material de subrasante.

- La correlación entre la relación de vacíos ( $e$ ) y el grado de compactación del suelo ( $G_c$ ) presentó un mayor coeficiente de correspondencia de entre todas las propiedades índice, en la cual se obtuvo un coeficiente de correlación del 98% para un total de 12 datos correlacionados el modelo de regresión que mejor se ajustó entre estas dos propiedades es una función logarítmica la cual indica que tiene una buena representación y, por lo tanto, se puede utilizar para estimar el grado de compactación del suelo en función de la relación de vacíos.
- Se concluyó que el contenido de humedad óptimo ( $W_{\text{ópt}}$ ) es la propiedad índice que mejor se relaciona con el índice DCP y el contenido de humedad natural ( $W_{\text{nat}}$ ) mediante una función de tipo exponencial en la cual se obtuvo un coeficiente de correlación del 92% lo cual representa una ecuación de correlación alta y confiable entre estas propiedades.
- La relación entre el CBR y las propiedades físicas del suelo presentaron los valores más bajos de correlación mismos que varían entre el 63% y 80% debido a que el CBR no depende de un único parámetro si no que depende de varios factores como es : la granulometría, humedad y la densidad del suelo.
- La correlación entre el CBR y el índice de penetración DCP presentó un coeficiente de correspondencia del 75% debido a que el DCP se lo determina en el campo en condiciones de humedad y densidad natural, mientras que el CBR se lo determina en el laboratorio en condiciones cuidadosamente controladas de densidad seca máxima y humedad óptima.
- Finalmente, se determinó el tránsito futuro para una proyección de 20 años de 3689 vehículos/día, por lo que de acuerdo a lo establecido en la norma de diseño geométrico de carreteras MOP 2003 la vía interparroquial Salasaca-El Rosario en función del tránsito proyectado se clasifica como una vía colectora clase I.

## 4.2. Recomendaciones

- En el análisis de correlación se sugiere eliminar los valores que presenten un excesivo grado de dispersión con el resto de muestras permitiendo de esta manera mejorar el coeficiente de correlación entre las variables analizadas.
- Se recomienda realizar los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio en base a los lineamientos señalados en las normas AASHTO y ASTM, para obtener resultados adecuados con menor margen de error.
- Se sugiere realizar estudios de correlación con un mayor número de muestras entre las propiedades de los diferentes suelos del Ecuador para ampliar la base de datos existente y poder obtener resultados más confiables y aplicables para diferentes tipos de suelo.
- Se recomienda efectuar el diseño estructural del pavimento flexible cumpliendo con los principios establecidos en la guía AASHTO-1993 para obtener un diseño adecuado que garantice un uso confortable y seguro de circulación a los usuarios durante su vida útil.
- En la clasificación de suelos se recomienda tener siempre en cuenta el porcentaje que pasa o queda retenido en el tamiz N° 200 (0,075 mm), ya que se ha establecido universalmente como una medida estándar para poder diferenciar entre los suelos finos y gruesos.
- Se sugiere extraer las muestras de suelo a los costados del trazado de las vías en estudio en secciones de corte, retirando la capa vegetal de suelos naturales de subrasante.
- Se recomienda utilizar equipo de protección adecuado al momento de realizar los respectivos ensayos, para prevenir riesgos que puedan amenazar la seguridad o salud del operador.

- Las ecuaciones propuestas se sugieren usar para un diseño preliminar de la estructura del pavimento, debido a que las ecuaciones de correlación solamente permiten obtener una aproximación de los datos reales del proyecto.
- Se recomienda utilizar las ecuaciones de correlación propuestas en este trabajo, exclusivamente para suelos de tipo A-1-b, A-2-4 y A-2-5 que cumplan con los rangos de las propiedades índice y mecánicas establecidas.
- Finalmente, se sugiere efectuar el estudio de tráfico por lo menos 12 horas diarias durante 7 días para obtener datos consistentes del tránsito actual que circulan por la vía.

## Bibliografía

- [1] J. Castillo and L. Mena, "Correlación entre el penetrómetro dinámico de cono DCP y la relación de soporte de california CBR en campo para el suelo de subrasante de la vía Portoviejo-Manta," p. 17, 2019.
- [2] F. J. Wilches, J. Jairo, F. Díaz, J. Rodrigo, and H. Ávila, "Correlation between California Bearing Ratio (CBR) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for soil from Sincelejo city in Colombia," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 4, p. 4, 2018.
- [3] V. Y. Katte, S. M. Mfoyet, B. Manefouet, A. S. L. Wouatong, and L. A. Bezeng, "Correlation of California Bearing Ratio (CBR) Value with Soil Properties of Road Subgrade Soil," *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 37, no. 1, p. 3, 2018.
- [4] J. Bermúdez and O. Vásquez, "Validación del método DCP en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio," *Univ. Tecnológica Centroam.*, p. 5, 2016.
- [5] W. Araujo and G. Ruiz, "Correlation Equations of CBR with Index Properties of Soil in the City of Piura," *Univ. Piura*, p. 8, 2014.
- [6] J. P. Martínez and J. E. Pérez, "Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 1, no. 1, p. 8, 2018.
- [7] F. Olivera Bustamante, *Estructuración de vías terrestres*, Décima edi. México, 2009.
- [8] O. Samson and Q. A. Ibrahim, "Correlation of california bearing ratio value of clays with soil index and compaction characteristics," vol. 4, no. 4, p. 12, 2017.
- [9] F. Iqbal, A. Kumar, and A. Murtaza, "Correlation between California Bearing Ratio and Index Properties of Jamshoro Soil," *Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 37, no. 1, p. 15, 2018.
- [10] C. Crespo Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Limusa.S.A. Monterrey, México, 2017.

- [11] M. Braja Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Cuarta edi. México, 2015.
- [12] L. Pérez, Mecánica de Suelos Elemental. Ambato.
- [13] A. Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos. 2006.
- [14] E. Joseph Bowles, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. México, 1981.
- [15] V. Aguirre Mejía and S. Yépez Andino, “Manual de laboratorio para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los suelos,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [16] J. C. Claudio Llumitasig, “Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato, 2020.
- [17] E. Badillo Juárez and A. Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos Tomo 1, Limusa S.A. México, 2005.
- [18] W. Bótia Diaz, “Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo,” Universidad Militar Nueva Granada, 2015.
- [19] L. Bañón Blázquez and J. Beviá García, Manual de carreteras Volumen II Construcción y mantenimiento, Ortiz e Hi. Alicante, España, 2000.
- [20] W. Lambe and R. Whitman, Mecánica de suelos, Limusa. México, 2004.
- [21] ASTM D 4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- [22] J. Ricaldoni, “Curso de geología de ingeniería e introducción a la mecánica de suelos,” Montevideo, Uruguay, 2008.
- [23] ASTM D 854, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
- [24] ASTM D 1556-82, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method.



- [25] R. Rosetti and H. Begliardo, "Generalidades sobre compactación de suelos," Santa Fe, Argentina, 2005.
- [26] R. H. L. Mondragón and A. M. G. Padilla, "Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos," *Cienc. y Tecnol.*, vol. 6781, p. 12, 2014.
- [27] O. Iler Guamán, "Estudio de la correlación del CBR con respecto al ensayo penetrómetro cónico estático en diferentes tipos de suelos," Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [28] ASTM D-1883, Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. 2016.
- [29] ASTM D 6951-03, Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. 2015.
- [30] F. Viscarra Agreda, "El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos," p. 18, 2006.
- [31] M. Zarate Aquino, *Diseño de pavimentos flexibles*, Tercera ed. México, 2005.
- [32] H. Rondón Quintana and F. Reyes Lizcano, *Pavimentos materiales, construcción y diseño*, Primera ed. Bogotá, Colombia, 2015.
- [33] NEVI-12-MTOP, Volumen N° 3 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Ecuador, 2013, p. 1028.
- [34] C. Morales Rosales, "Control de calidad en la evaluación de pavimentos asfálticos existentes," Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
- [35] Secretaria de comunicaciones y transportes, *Manual de proyecto geométrico de carreteras*. 2016, p. 626.
- [36] NEVI-12-MTOP, Volumen N° 2 Libro A Norma para estudios y diseños viales. Ecuador, 2013, p. 382.
- [37] R. Cal, R. Mayor, and J. Cárdenas, *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones*, Octava edi. México, 2007.
- [38] AASHTO, *Diseño geométrico de carreteras y calles*. 1994, p. 486.

- [39] MOP, Normas de diseño geométrico de carreteras. Ecuador, 2003.
- [40] Ministerio de transportes y comunicaciones, Manual de carreteras. Perú, 2013, p. 345.
- [41] AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento. 1993.
- [42] E. A. Guzmán Suárez and C. H. Higuera Sandoval, “Comparación entre el módulo resiliente de la subrasante determinado en laboratorio y el retrocalculado, factor de ajuste C,” *Ingenio Magno*, vol. 7, no. 1, p. 21, 2016.
- [43] L. Aristizabal, J. Hoyos, L. Gil, M. Gómez, and D. Gómez, “Diseño de un pavimento flexible por los métodos AASHTO y RACIONAL,” p. 52, 2014.
- [44] Manuel Córdova Zamora, *Estadística Descriptiva e Inferencial*, Quinta edi. Lima, Perú, 2003.
- [45] Martínez Ciro Bencardino, *Estadística y muestreo*, Décima ter. Bogotá, Colombia, 2012.
- [46] C. Laguna, “Correlación y regresión lineal,” p. 18, 2019.
- [47] Suárez Ibujés Mario, *Interaprendizaje de estadística básica*, Segunda ed. Ibarra, Ecuador, 2018.
- [48] J. Gorgas, N. Cardiel, and J. Zamorano, *Estadística básica para estudiantes de ciencias*. Madrid, España, 2011.
- [49] R. Murray Spiegel and J. Larry Stephens, *Estadística de Schaum*, Cuarta edi. México, 2009.

## **Anexos**

Anexo A.- Ubicación de las muestras en estudio

Anexo B.- Estudio de suelos

Anexo C.- Conteo vehicular

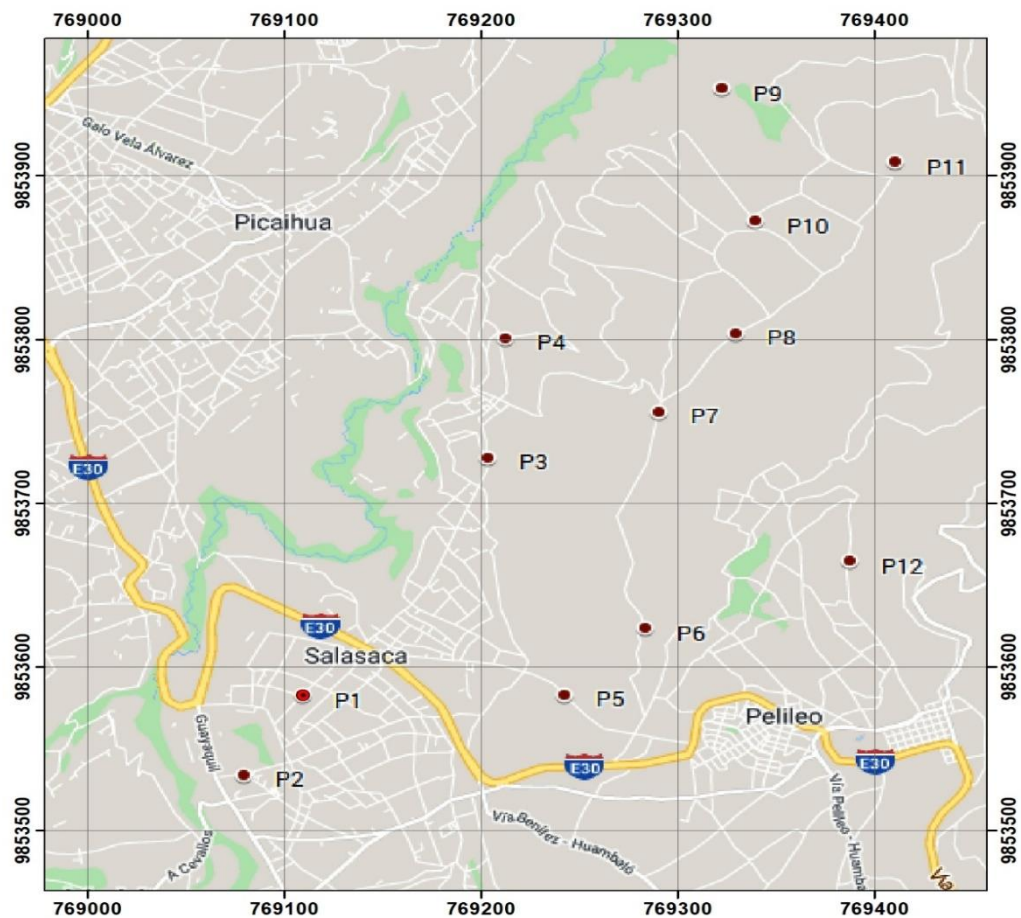
Anexo D.- Pesos y dimensiones de vehículos

Anexo E.- Archivo fotográfico

**ANEXO A**

**UBICACIÓN DE LAS**

**MUESTRAS EN ESTUDIO**



Fuente: Google My Maps

Puntos	Norte (m)	Este (m)	Ubicación de las vías
P1	9853582.38	769109.48	Salasaca - Benítez
P2	9852415.75	768296.42	Benítez - Salasaca
P3	9855937.38	770690.96	Salasaca - El Rosario
P4	9857481.42	770840.16	El Rosario - Salasaca
P5	9853349.69	771437.83	Salasaca - García Moreno
P6	9854104.06	772207.39	García Moreno – El Rosario
P7	9856496.03	772342.46	El Rosario - García Moreno
P8	9857547.18	773118.22	García Moreno – Chiquicha
P9	9860275.53	773091.58	Chiquicha - El Rosario
P10	9858855.09	773298.76	El Rosario - Chiquicha
P11	9859519.81	774637.45	Chiquicha - García Moreno
P12	9854846.91	774190.26	García Moreno - Salasaca

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

**ANEXO B**

**ESTUDIO DE SUELOS**



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



<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E = 769109.48 m N = 9853582.38 m
<b>UBICACIÓN:</b> Via Salasaca - Benitez	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-191-2014
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>FECHA:</b> 09/11/12
<b>MUESTRA:</b> P1	

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica (Wm+Wf)	1095.20	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Wf-Wf)	1092.05	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3548.60	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	916.20	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	1026.20	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero (Va)	689.19	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	4-A	2-R	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente (Wmh+Wr)	170.13	172.69	gr
Peso de la muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	156.09	157.70	gr
Peso del recipiente (Wr)	46.93	43.55	gr
Peso del agua (Ww)	14.04	14.99	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	109.16	114.15	gr
Contenido de humedad (W%)	12.86	13.13	%
Contenido de humedad promedio (W%)	13.00		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

Volumen de vacíos Vv =		Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
Va		38.42	cm <sup>3</sup>	-	gr
Vw		23.43	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
Vs		14.99	cm <sup>3</sup>	14.99	gr
V total		43.08	cm <sup>3</sup>	114.15	gr
		81.50	cm <sup>3</sup>	129.14	gr

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.585	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.402	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	13.00	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs	0.89	natural
Porosidad n% = (Vv/Vm) *100	47.15	%
Grado de Saturación del agua Gw% = (Vw/Vv) *100	39.01	%
Grado de Saturación del aire Ga% = (Va/Vv) *100	60.99	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Benítez - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P2

**COORDENADAS:** E = 768296.42 m N = 9852415.75 m  
**NORMA:** AASHTO-T-191-2014  
**FECHA:** 09/11/12

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica (Wm+Wf)	1202.80	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Wf-Wf)	1199.65	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3586.00	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	791.00	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	1188.80	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero (Va)	798.39	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	C-8	W-1	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente (Wmh+Wr)	162.27	186.26	gr
Peso de la muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	153.81	176.97	gr
Peso del recipiente (Wr)	42.63	53.54	gr
Peso del agua (Ww)	8.46	9.29	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	111.18	123.43	gr
Contenido de humedad (W%)	7.61	7.53	%
Contenido de humedad promedio (W%)	7.57		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

		Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =		41.75	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va	AIRE	32.46	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
Vw	AGUA	9.29	cm <sup>3</sup>	9.29	gr
Vs	SUELO	46.58	cm <sup>3</sup>	123.43	gr
V total		88.33	cm <sup>3</sup>	132.72	gr
	W total				

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.503	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.397	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	7.57	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs	0.90	natural
Porosidad n% = (Vv/Vm) *100	47.27	%
Grado de Saturación del agua Gw% = (Vw/Vv) *100	22.25	%
Grado de Saturación del aire Ga% = (Va/Vv) *100	77.75	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez





**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P3

**COORDENADAS:** E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
**NORMA:** AASHTO-T-191-2014  
**FECHA:** 09/11/12

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica ( $W_m+W_f$ )	1411.00	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo ( $W_m = W_m+W_f-W_f$ )	1407.85	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3721.20	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	789.80	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	1325.20	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero ( $V_a$ )	889.99	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	D-5	P-5	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente ( $W_{mh}+W_r$ )	231.88	164.94	gr
Peso de la muestra seca + recipiente ( $W_s+W_r$ )	208.06	147.03	gr
Peso del recipiente ( $W_r$ )	65.60	39.53	gr
Peso del agua ( $W_w$ )	23.82	17.91	gr
Peso de la muestra seca ( $W_s$ )	142.46	107.50	gr
Contenido de humedad (W%)	16.72	16.66	%
Contenido de humedad promedio (W%)	16.69		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

		Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos $V_v =$		38.71	cm <sup>3</sup>	-	gr
$V_a$	AIRE	20.80	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
$V_w$	AGUA	17.91	cm <sup>3</sup>	17.91	gr
$V_s$	SUELO	40.57	cm <sup>3</sup>	107.50	gr
$V_{total}$		79.28	cm <sup>3</sup>	125.41	gr
	$W_{total}$				

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.582	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.356	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	16.69	%
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$	0.95	natural
Porosidad $n\% = (V_v/V_m) * 100$	48.83	%
Grado de Saturación del agua $G_w\% = (V_w/V_v) * 100$	46.26	%
Grado de Saturación del aire $G_a\% = (V_a/V_v) * 100$	53.74	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via El Rosario - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P4

**COORDENADAS:** E = 770840.16 m N = 9857481.42 m  
**NORMA:** AASHTO-T-191-2014  
**FECHA:** 09/11/12

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica (Wm+Wf)	1144.60	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Wf-Wf)	1141.45	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3573.00	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	919.40	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	1047.40	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero (Va)	703.43	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	W-3	Y-1	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente (Wmh+Wr)	206.42	190.83	gr
Peso de la muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	198.14	183.45	gr
Peso del recipiente (Wr)	53.12	56.36	gr
Peso del agua (Ww)	8.28	7.38	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	145.02	127.09	gr
Contenido de humedad (W%)	5.71	5.81	%
Contenido de humedad promedio (W%)	5.76		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

	Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos Vv =	34.91	cm <sup>3</sup>	-	gr
Va	27.53	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
Vw	7.38	cm <sup>3</sup>	7.38	gr
Vs	47.96	cm <sup>3</sup>	127.09	gr
V total	82.87	cm <sup>3</sup>	134.47	gr

Va

Vw

Vs

V total

Wa

Ww

Ws

W total

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.623	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.534	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	5.76	%
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$	0.73	natural
Porosidad $n\% = (V_v/V_m) * 100$	42.13	%
Grado de Saturación del agua $G_w\% = (V_w/V_v) * 100$	21.14	%
Grado de Saturación del aire $G_a\% = (V_a/V_v) * 100$	78.86	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez







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



<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E = 772342.46 m N = 9856496.03 m
<b>UBICACIÓN:</b> Via El Rosario - Garcia Moreno	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-191-2014
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>FECHA:</b> 10/11/12
<b>MUESTRA:</b> P7	

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica (Wm+Wf)	1083.20	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Wf-Wf)	1080.05	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3685.80	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	1136.60	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	943.00	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero (Va)	633.31	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	A-6	H-2	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente (Wmh+Wr)	153.12	186.23	gr
Peso de la muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	136.50	164.28	gr
Peso del recipiente (Wr)	38.22	43.32	gr
Peso del agua (Ww)	16.62	21.95	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	98.28	120.96	gr
Contenido de humedad (W%)	16.91	18.15	%
Contenido de humedad promedio (W%)	17.53		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

<p>Volumen de vacíos Vv =</p>	Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
	38.15	cm <sup>3</sup>	-	gr
	16.20	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
	21.95	cm <sup>3</sup>	21.95	gr
	45.65	cm <sup>3</sup>	120.96	gr
	83.80	cm <sup>3</sup>	142.91	gr

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.705	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.451	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	17.53	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs	0.84	natural
Porosidad n% = (Vv/Vm) * 100	45.53	%
Grado de Saturación del agua Gw% = (Vw/Vv) * 100	57.53	%
Grado de Saturación del aire Ga% = (Va/Vv) * 100	42.47	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



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



<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E =77311822 m N= 9857547.18m
<b>UBICACIÓN:</b> Via Garcia Moreno - Chiquicha	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-191-2014
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>FECHA:</b> 10/11/12
<b>MUESTRA:</b> P8	

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica (Wm+Wf)	1220.20	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Wf-Wf)	1217.05	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3516.60	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	754.60	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	1155.80	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero (Va)	776.23	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	11-B	8-B	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente (Wmh+Wr)	166.36	223.45	gr
Peso de la muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	142.43	190.15	gr
Peso del recipiente (Wr)	43.64	52.94	gr
Peso del agua (Ww)	23.93	33.30	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	98.79	137.21	gr
Contenido de humedad (W%)	24.22	24.27	%
Contenido de humedad promedio (W%)	24.25		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

<p style="text-align: center;">Volumen de vacíos Vv =</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Va</p> <p>Vv</p> <p>Vs</p> <p>V total</p> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Wa</p> <p>Ww</p> <p>Ws</p> <p>W total</p> </div> </div>	Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
	56.97	cm <sup>3</sup>	-	gr
	23.67	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
	33.30	cm <sup>3</sup>	33.30	gr
	51.78	cm <sup>3</sup>	137.21	gr
	108.75	cm <sup>3</sup>	170.51	gr

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.568	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.262	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	24.25	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs	1.10	natural
Porosidad n% = (Vv/Vm) *100	52.39	%
Grado de Saturación del agua Gw% = (Vw/Vv) *100	58.45	%
Grado de Saturación del aire Ga% = (Va/Vv) *100	41.55	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



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



<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E = 773118.22 m N = 9857547.18 m
<b>UBICACIÓN:</b> Vía García Moreno - Chiquicha	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-191-2014
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>FECHA:</b> 10/11/12
<b>MUESTRA:</b> P9	

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica ( $W_m + W_f$ )	967.70	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo ( $W_m = W_m + W_f - W_f$ )	964.55	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3765.00	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	1186.60	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	972.20	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero ( $V_a$ )	652.92	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	T-6	C-7	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente ( $W_{mh} + W_r$ )	185.32	178.07	gr
Peso de la muestra seca + recipiente ( $W_s + W_r$ )	155.56	149.36	gr
Peso del recipiente ( $W_r$ )	48.99	43.24	gr
Peso del agua ( $W_w$ )	29.76	28.71	gr
Peso de la muestra seca ( $W_s$ )	106.57	106.12	gr
Contenido de humedad (W%)	27.93	27.05	%
Contenido de humedad promedio (W%)	27.49		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

<p style="text-align: center;">Volumen de vacíos <math>V_v =</math></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>V_a</math> <math>V_w</math> <math>V_s</math> <math>V_{total}</math> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <math>W_a</math> <math>W_w</math> <math>W_s</math> <math>W_{total}</math> </div> </div>	Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
	51.22	cm <sup>3</sup>	-	gr
	22.51	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
	28.71	cm <sup>3</sup>	28.71	gr
	40.05	cm <sup>3</sup>	106.12	gr
91.27	cm <sup>3</sup>	134.83	gr	

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.477	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m / (1 + W\%)$	1.159	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	27.49	%
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$	1.28	natural
Porosidad $n\% = (V_v/V_m) * 100$	56.12	%
Grado de Saturación del agua $G_w\% = (V_w/V_v) * 100$	56.05	%
Grado de Saturación del aire $G_a\% = (V_a/V_v) * 100$	43.95	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - Chiquicha  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P10

COORDENADAS: E = 773298.76 m N = 9858855.09 m  
NORMA: AASHTO-T-191-2014  
FECHA: 10/11/12

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica ( $W_m + W_f$ )	1016.80	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo ( $W_m = W_m + W_f - W_f$ )	1013.65	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3612.60	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	1067.00	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	939.40	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero ( $V_a$ )	630.89	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	W-2	D-1	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente ( $W_{mh} + W_r$ )	220.82	199.92	gr
Peso de la muestra seca + recipiente ( $W_s + W_r$ )	184.22	165.73	gr
Peso del recipiente ( $W_r$ )	53.10	44.73	gr
Peso del agua ( $W_w$ )	36.60	34.19	gr
Peso de la muestra seca ( $W_s$ )	131.12	121.00	gr
Contenido de humedad (W%)	27.91	28.26	%
Contenido de humedad promedio (W%)	28.08		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

		Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
Volumen de vacíos $V_v =$		50.93	cm <sup>3</sup>	-	gr
$V_a$	AIRE	16.74	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
$V_w$	AGUA	34.19	cm <sup>3</sup>	34.19	gr
$V_s$	SUELO	45.66	cm <sup>3</sup>	121.00	gr
$V_{total}$		96.59	cm <sup>3</sup>	155.19	gr
	$W_{total}$				
	$W_a$				
	$W_w$				
	$W_s$				

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.607	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.254	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	28.08	%
Relación de vacíos $e = V_v/V_s$	1.12	natural
Porosidad $n\% = (V_v/V_m) * 100$	52.73	%
Grado de Saturación del agua $G_w\% = (V_w/V_v) * 100$	67.13	%
Grado de Saturación del aire $G_a\% = (V_a/V_v) * 100$	32.87	%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez





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



<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E =774637.45 m N= 9859519.81 m
<b>UBICACIÓN:</b> Via Chiquicha - Garcia Moreno	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-191-2014
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>FECHA:</b> 10/11/12
<b>MUESTRA:</b> P11	

**DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA**

**DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO**

Peso de la masa del suelo + funda plástica (Wm+Wf)	861.00	gr
Peso de la funda plástica (Rec)	3.15	gr
Peso de la masa del suelo (Wm = Wm+Wf-Wf)	857.85	gr

**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL AGUJERO EN EL SUELO**

Peso inicial del conjunto (frasco + cono + arena)	3695.00	gr
Peso final del conjunto (frasco + cono + arena)	1257.80	gr
Peso de la arena en el cono (calibración del cono)	1606.20	gr
Peso de la arena en el agujero	831.00	gr
Densidad de la Arena de Ottawa (calibración arena)	1.489	gr/cm <sup>3</sup>
Volumen del agujero (Va)	558.09	cm <sup>3</sup>

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Identificación del Recipiente	C-6	B-8	-
Peso de la muestra húmeda + recipiente (Wmh+Wr)	170.64	158.61	gr
Peso de la muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	148.56	138.49	gr
Peso del recipiente (Wr)	41.69	41.84	gr
Peso del agua (Ww)	22.08	20.12	gr
Peso de la muestra seca (Ws)	106.87	96.65	gr
Contenido de humedad (W%)	20.66	20.82	%
Contenido de humedad promedio (W%)	20.74		%

**DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO**

<p style="text-align: center;">Volumen de vacíos Vv =</p>	Volumen	Unidades	Pesos	Unidades
	39.50	cm <sup>3</sup>	-	gr
	19.38	cm <sup>3</sup>	0.00	gr
	20.12	cm <sup>3</sup>	20.12	gr
	36.47	cm <sup>3</sup>	96.65	gr
75.97	cm <sup>3</sup>	116.77	gr	

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO**

Peso Volumétrico de la masa del suelo (Densidad húmeda) $\gamma_m = V_m/V_a$	1.537	gr/cm <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco (Densidad seca) $\gamma_d = \gamma_m/(1+W\%)$	1.273	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad w%	20.74	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs	1.08	natural
Porosidad n% = (Vv/Vm) *100	51.99	%
Grado de Saturación del agua Gw% = (Vw/Vv) *100	50.94	%
Grado de Saturación del aire Ga% = (Va/Vv) *100	49.06	%

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



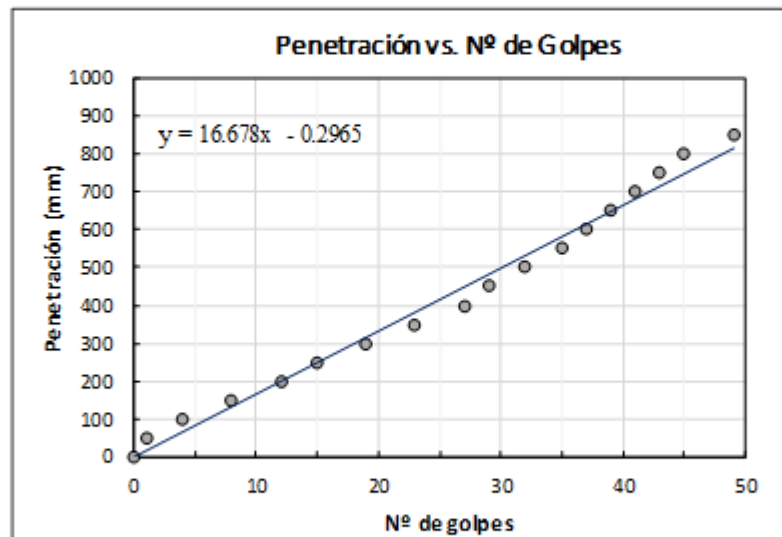


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía Salasaca - Benítez  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P1

COORDENADAS: E = 769109.48 m N = 9853582.38 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 09/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
1	50
4	100
8	150
12	200
15	250
19	300
23	350
27	400
29	450
32	500
35	550
37	600
39	650
41	700
43	750
45	800
49	850



Índice DCP (mm/golpe)

16.678

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

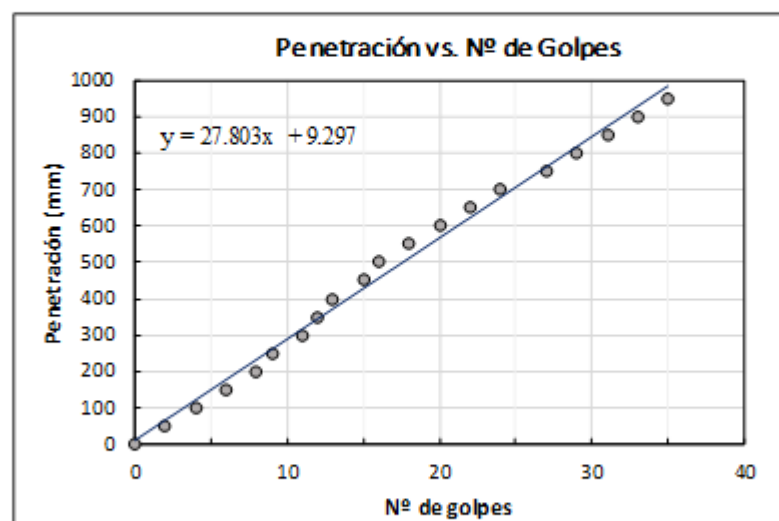


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía Benitez- Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P2

COORDENADAS: E = 768296.42 m N = 9852415.75 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 09/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
2	50
4	100
6	150
8	200
9	250
11	300
12	350
13	400
15	450
16	500
18	550
20	600
22	650
24	700
27	750
29	800
31	850
33	900
35	950



Índice DCP (mm/golpe)

27.803

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

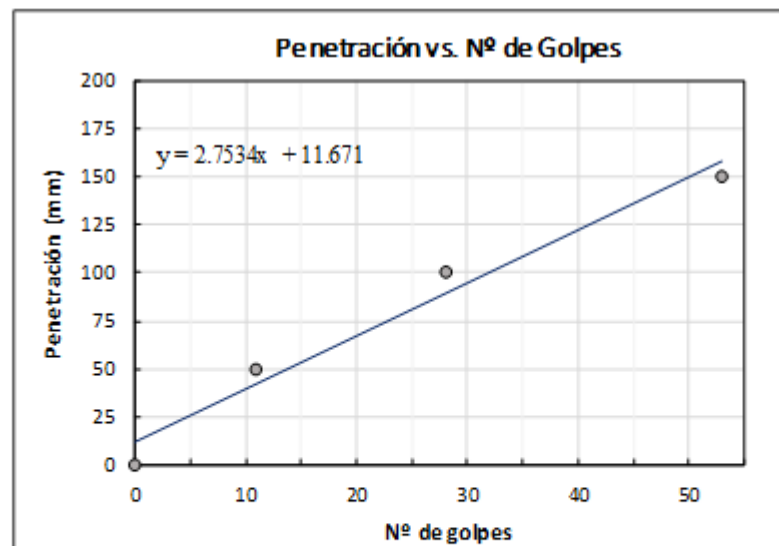


**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P3

**COORDENADAS:** E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
**NORMA:** ASTM-D-6951-03  
**FECHA:** 09/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
11	50
28	100
53	150



Índice DCP (mm/golpe)
2.7534

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

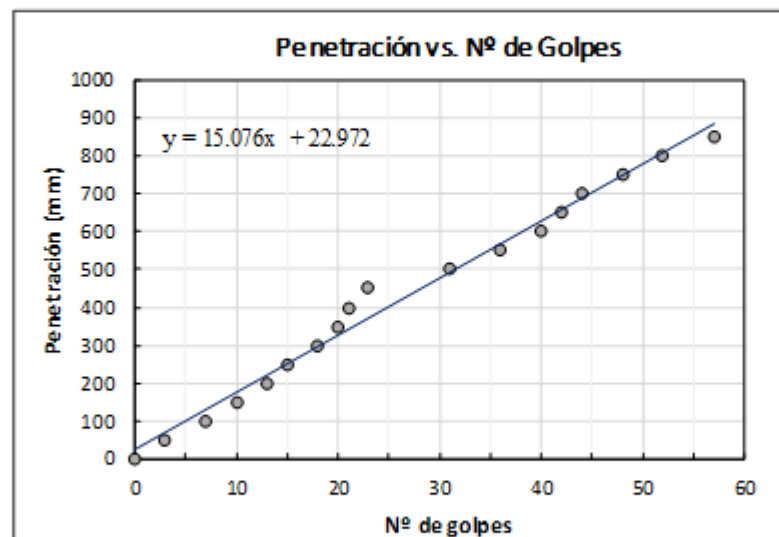


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P4

COORDENADAS: E = 769109.48 m N = 9857481.42 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 09/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
3	50
7	100
10	150
13	200
15	250
18	300
20	350
21	400
23	450
31	500
36	550
40	600
42	650
44	700
48	750
52	800
57	850



Índice DCP (mm/golpe)

15.076

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

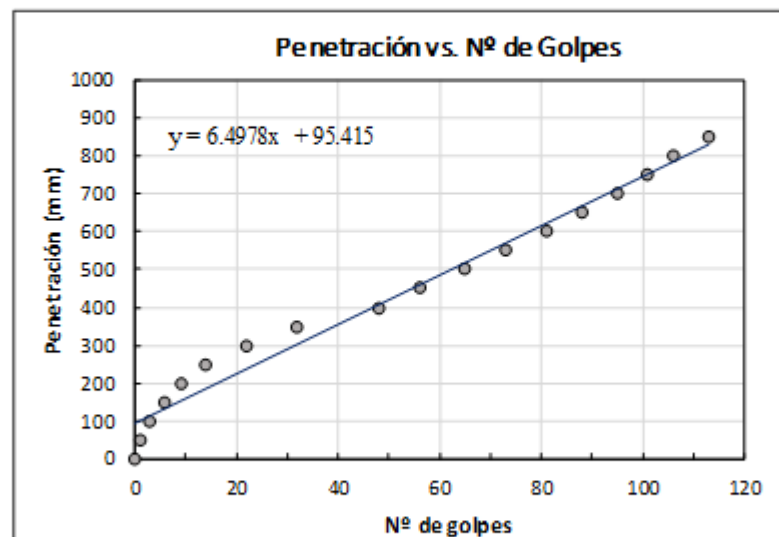


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía Salasaca - García Moreno  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P5

COORDENADAS: E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 09/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
1	50
3	100
6	150
9	200
14	250
22	300
32	350
48	400
56	450
65	500
73	550
81	600
88	650
95	700
101	750
106	800
113	850



Índice DCP (mm/golpe)

6.4978

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

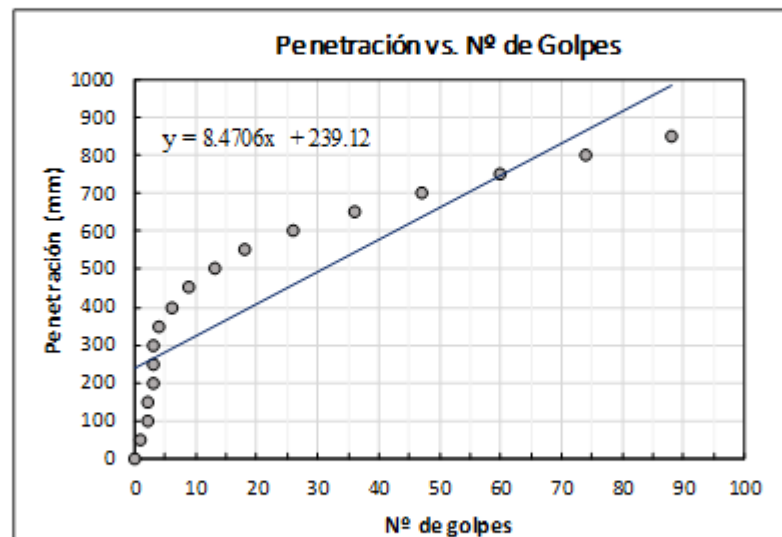


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía García Moreno - El Rosario  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P6

COORDENADAS: E = 772207.39 m N = 9854104.06 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 09/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
1	50
2	100
2	150
3	200
3	250
3	300
4	350
6	400
9	450
13	500
18	550
26	600
36	650
47	700
60	750
74	800
88	850



Índice DCP (mm/golpe)

8.4706

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



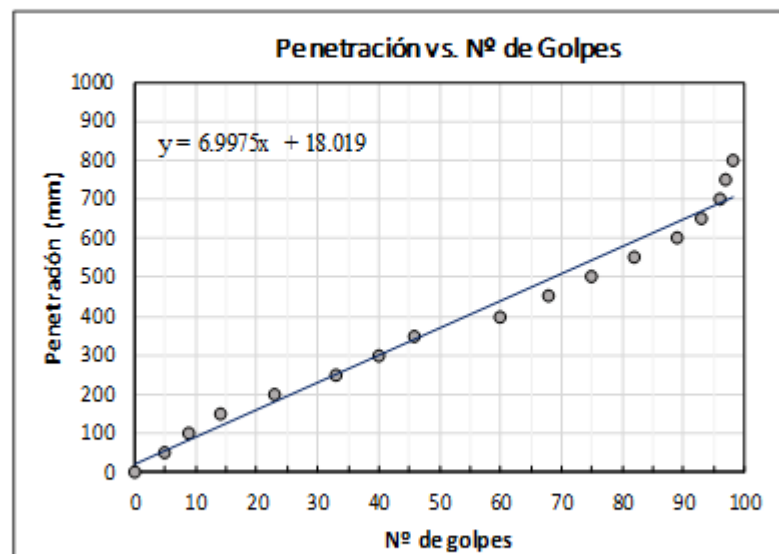


**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía El Rosario - García Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P7

**COORDENADAS:** E = 772342.46 m N = 9856496.03 m  
**NORMA:** ASTM-D-6951-03  
**FECHA:** 10/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
5	50
9	100
14	150
23	200
33	250
40	300
46	350
60	400
68	450
75	500
82	550
89	600
93	650
96	700
97	750
98	800



**Índice DCP (mm/golpe)**

6.9975

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

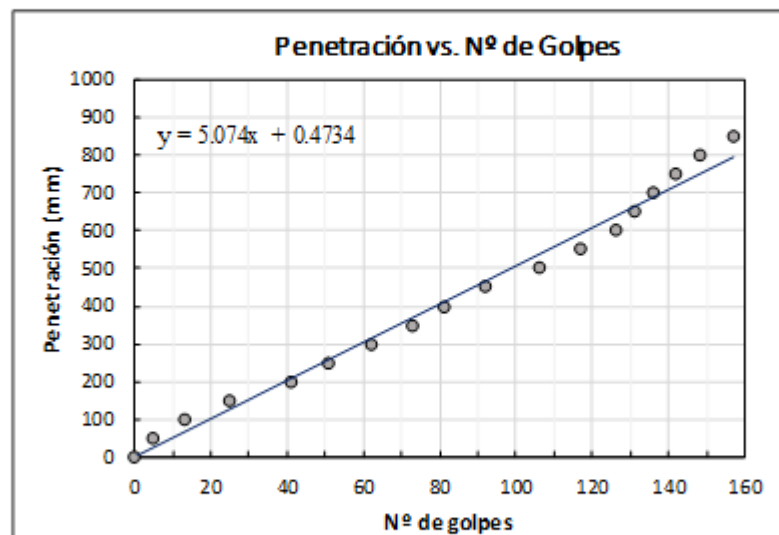


**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía García Moreno - Chiquicha  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P8

**COORDENADAS:** E = 773118.22 m N = 9857547.18 m  
**NORMA:** ASTM-D-6951-03  
**FECHA:** 10/11/12

**PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Penetración (mm)
0	0
5	50
13	100
25	150
41	200
51	250
62	300
73	350
81	400
92	450
106	500
117	550
126	600
131	650
136	700
142	750
148	800
157	850



Índice DCP (mm/golpe)
5.074

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

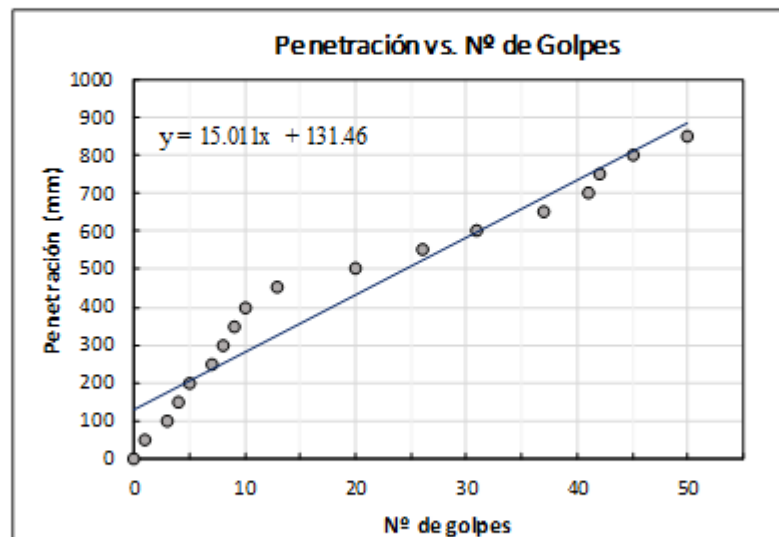


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Chiquicha - El Rosario  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P9

COORDENADAS: E = 773091.58 m N = 9860275.53 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 10/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
1	50
3	100
4	150
5	200
7	250
8	300
9	350
10	400
13	450
20	500
26	550
31	600
37	650
41	700
42	750
45	800
50	850



Índice DCP (mm/golpe)

15.011

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

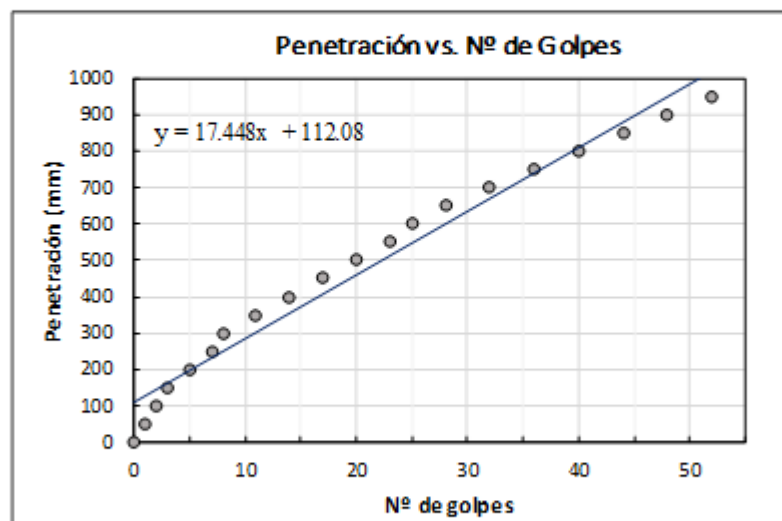


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - Chiquicha  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P10

COORDENADAS: E = 773298.76 m N = 9858855.09 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 10/11/12

**PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Penetración (mm)
0	0
1	50
2	100
3	150
5	200
7	250
8	300
11	350
14	400
17	450
20	500
23	550
25	600
28	650
32	700
36	750
40	800
44	850
48	900
52	950



**Índice DCP (mm/golpe)**

17.448

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

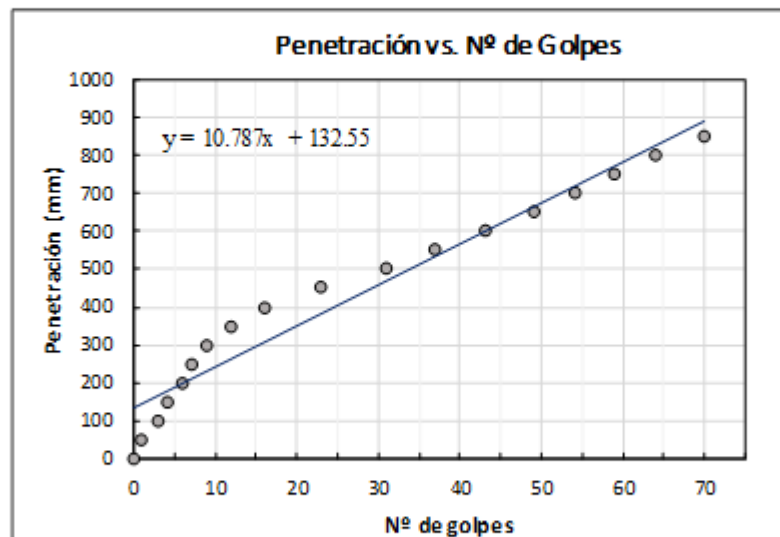


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Chiquicha - Garcia Moreno  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P11

COORDENADAS: E = 774637.45 m N = 9859519.81 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 10/11/12

**PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)**

Golpes	Penetración (mm)
0	0
1	50
3	100
4	150
6	200
7	250
9	300
12	350
16	400
23	450
31	500
37	550
43	600
49	650
54	700
59	750
64	800
70	850



**Índice DCP (mm/golpe)**

10.787

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

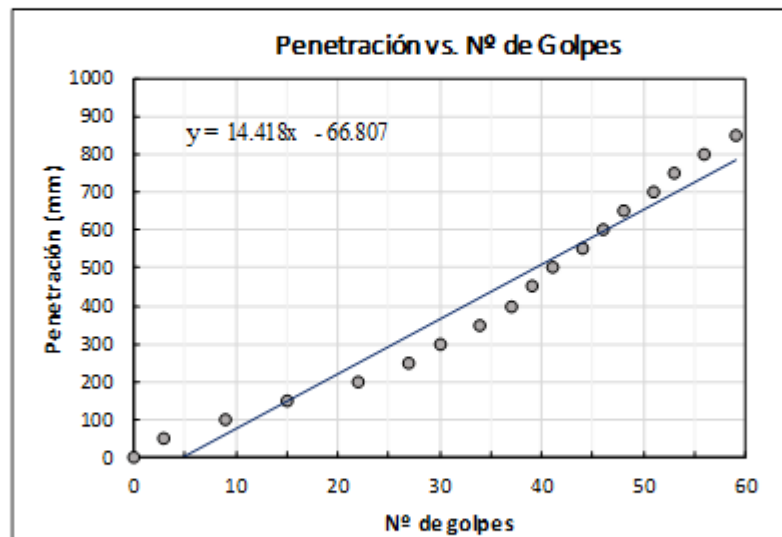


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía García Moreno - Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P12

COORDENADAS: E = 774190.26 m N = 9854846.91 m  
NORMA: ASTM-D-6951-03  
FECHA: 10/11/12

### PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP)

Golpes	Penetración (mm)
0	0
3	50
9	100
15	150
22	200
27	250
30	300
34	350
37	400
39	450
41	500
44	550
46	600
48	650
51	700
53	750
56	800
59	850



Índice DCP (mm/golpe)

14.418

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

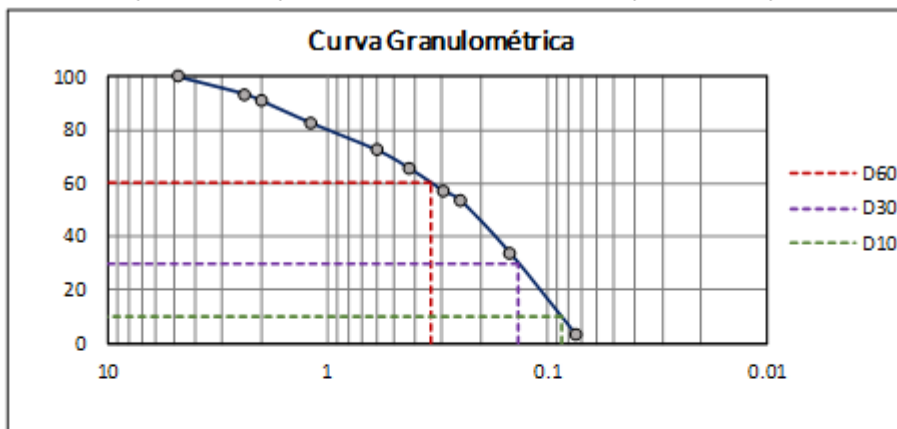


PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía Salasaca - Benitez  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P1

COORDENADAS: E = 769109.48 m N = 9853582.38 m  
 PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
 NORMA: AASHTO-T-88-2013  
 FECHA: 11/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	16.20	16.20	6.48	93.52
# 10	2.00	6.40	22.60	9.04	90.96
# 16	1.19	20.80	43.40	17.36	82.64
# 30	0.595	25.60	69.00	27.60	72.40
# 40	0.420	17.60	86.60	34.64	65.36
# 50	0.297	20.60	107.20	42.88	57.12
# 60	0.250	8.60	115.80	46.32	53.68
# 100	0.149	49.20	165.00	66.00	34.00
# 200	0.074	77.20	242.50	97.00	3.00
FUENTE	-	7.20	7.50	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.087
D30 (mm) =	0.136
D60 (mm) =	0.335
$Cu = D60/D10$	3.87
$Cc = D30^2/(D60 * D10)$	0.64

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	97.00
% Finos	3.00

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

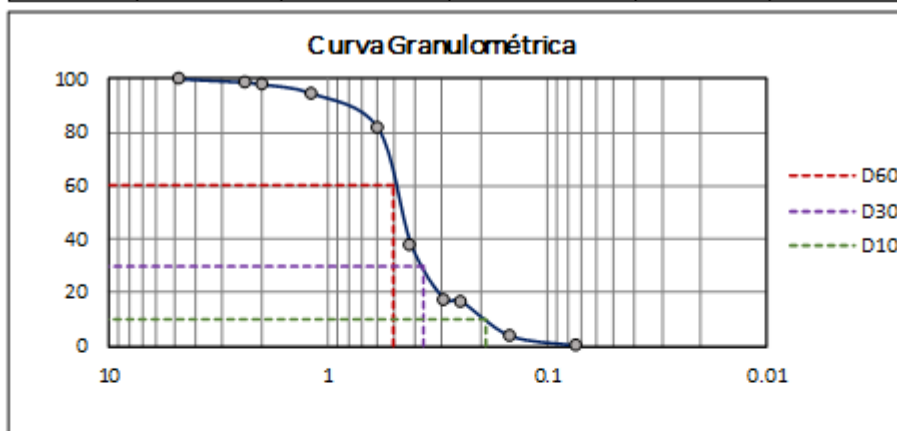


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Benitez- Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P2

COORDENADAS: E = 768296.42 m N = 9852415.75 m  
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
NORMA: AASHTO-T-88-2013  
FECHA: 11/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	3.40	3.40	1.36	98.64
# 10	2.00	1.74	5.14	2.06	97.94
# 16	1.19	8.35	13.49	5.40	94.60
# 30	0.595	32.24	45.73	18.29	81.71
# 40	0.420	108.65	154.38	61.75	38.25
# 50	0.297	51.60	205.98	82.39	17.61
# 60	0.250	1.59	207.57	83.03	16.97
# 100	0.149	32.70	240.27	96.11	3.89
# 200	0.074	9.63	249.72	99.89	0.11
FUENTE	-	0.46	0.28	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.190
D30 (mm) =	0.366
D60 (mm) =	0.500
$C_u = D_{60}/D_{10}$	2.64
$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$	1.41

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	99.89
% Finos	0.11

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



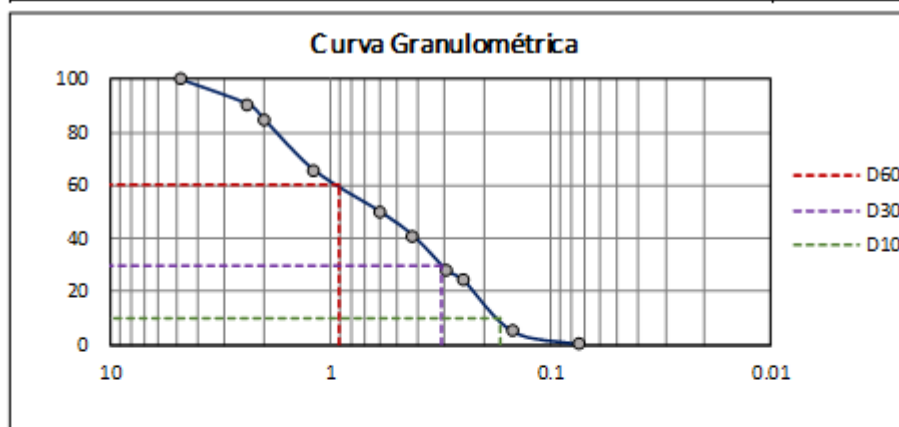


PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía Salasaca - El Rosario  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P3

COORDENADAS: E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
 PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
 NORMA: AASHTO-T-88-2013  
 FECHA: 11/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	23.20	23.20	9.28	90.72
# 10	2.00	14.60	37.80	15.12	84.88
# 16	1.19	47.40	85.20	34.08	65.92
# 30	0.595	39.20	124.40	49.76	50.24
# 40	0.420	23.00	147.40	58.96	41.04
# 50	0.297	32.20	179.60	71.84	28.16
# 60	0.250	9.20	188.80	75.52	24.48
# 100	0.149	48.40	237.20	94.88	5.12
# 200	0.074	11.80	249.26	99.70	0.30
FUENTE	-	0.49	0.75	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.170
D30 (mm) =	0.312
D60 (mm) =	0.916
$Cu = D60/D10$	5.40
$Cc = D30^2/(D60 * D10)$	0.63

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	99.70
% Finos	0.30

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

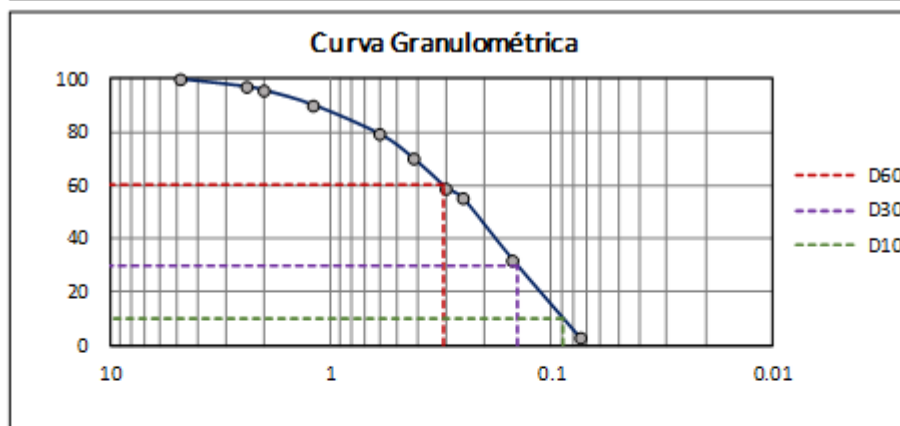


PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía El Rosario - Salasaca  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P4

COORDENADAS: E = 770840.16 m N = 9857481.42 m  
 PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
 NORMA: AASHTO-T-88-2013  
 FECHA: 11/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.70	0.70	0.28	99.72
# 8	2.38	7.16	7.86	3.14	96.86
# 10	2.00	3.31	11.17	4.47	95.53
# 16	1.19	14.15	25.32	10.13	89.87
# 30	0.595	27.36	52.68	21.07	78.93
# 40	0.420	22.72	75.40	30.16	69.84
# 50	0.297	27.89	103.29	41.32	58.68
# 60	0.250	9.78	113.07	45.23	54.77
# 100	0.149	57.51	170.58	68.23	31.77
# 200	0.074	72.46	243.34	97.33	2.67
FUENTE	-	6.37	6.67	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.088
D30 (mm) =	0.143
D60 (mm) =	0.309
$Cu = D60/D10$	3.50
$Cc = D30^2/(D60 * D10)$	0.75

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.28
% Arena	97.05
% Finos	2.67

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

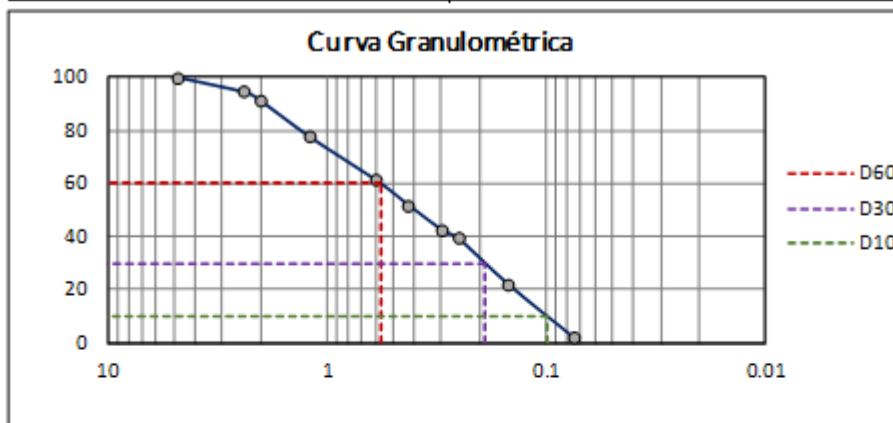


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía Salasaca - García Moreno  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P5

COORDENADAS: E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
NORMA: AASHTO-T-88-2013  
FECHA: 12/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.09	0.09	0.04	99.96
# 8	2.38	13.79	13.88	5.55	94.45
# 10	2.00	8.72	22.60	9.04	90.96
# 16	1.19	34.01	56.61	22.64	77.36
# 30	0.595	40.53	97.14	38.86	61.14
# 40	0.420	24.09	121.23	48.49	51.51
# 50	0.297	22.78	144.01	57.60	42.40
# 60	0.250	8.22	152.23	60.89	39.11
# 100	0.149	42.85	195.08	78.03	21.97
# 200	0.074	50.84	246.00	98.40	1.60
FUENTE	-	3.92	4.00	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.099
D30 (mm) =	0.190
D60 (mm) =	0.571
$C_u = D_{60}/D_{10}$	5.78
$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$	0.64

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.04
% Arena	98.36
% Finos	1.60

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

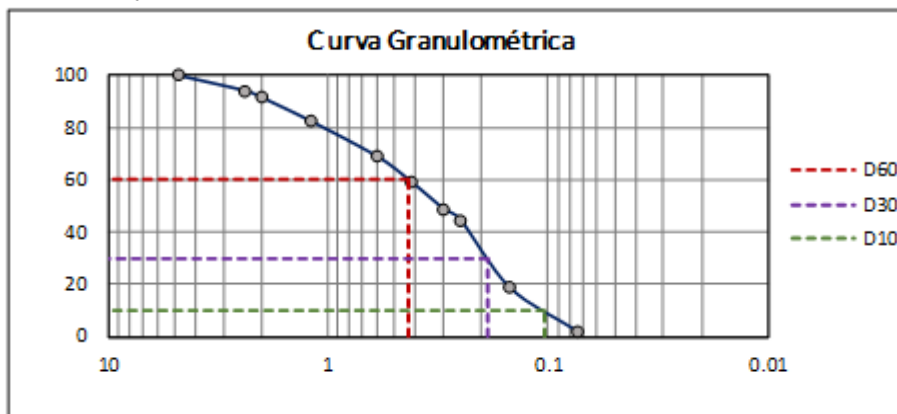


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía García - Moreno El Rosario  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P6

COORDENADAS: E = 772207.39 m N = 9854104.06 m  
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
NORMA: AASHTO-T-88-2013  
FECHA: 12/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	14.50	14.50	5.80	94.20
# 10	2.00	6.65	21.15	8.46	91.54
# 16	1.19	22.95	44.10	17.64	82.36
# 30	0.595	33.81	77.91	31.16	68.84
# 40	0.420	23.86	101.77	40.71	59.29
# 50	0.297	26.42	128.19	51.28	48.72
# 60	0.250	10.18	138.37	55.35	44.65
# 100	0.149	65.21	203.58	81.43	18.57
# 200	0.074	41.44	245.17	98.07	1.93
FUENTE	-	4.68	4.83	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.104
D30 (mm) =	0.187
D60 (mm) =	0.431
$C_u = D_{60}/D_{10}$	4.15
$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$	0.78

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	98.07
% Finos	1.93

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

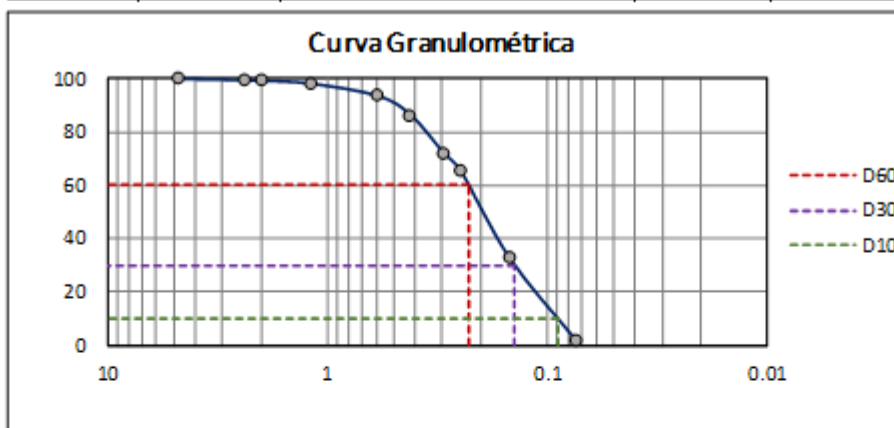


PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía El Rosario - García Moreno  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P7

COORDENADAS: E = 772342.46 m N = 9856496.03 m  
 PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
 NORMA: AASHTO-T-88-2013  
 FECHA: 12/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	1.18	1.18	0.47	99.53
# 10	2.00	0.45	1.63	0.65	99.35
# 16	1.19	2.88	4.51	1.80	98.20
# 30	0.595	11.31	15.82	6.33	93.67
# 40	0.420	18.22	34.04	13.62	86.38
# 50	0.297	35.74	69.78	27.91	72.09
# 60	0.250	16.02	85.80	34.32	65.68
# 100	0.149	82.51	168.31	67.32	32.68
# 200	0.074	76.49	245.56	98.22	1.78
FUENTE	-	3.68	4.44	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.089
D30 (mm) =	0.140
D60 (mm) =	0.229
$C_u = D_{60}/D_{10}$	2.57
$C_c = D_{30}^2/(D_{60} \cdot D_{10})$	0.96

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	98.22
% Finos	1.78

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

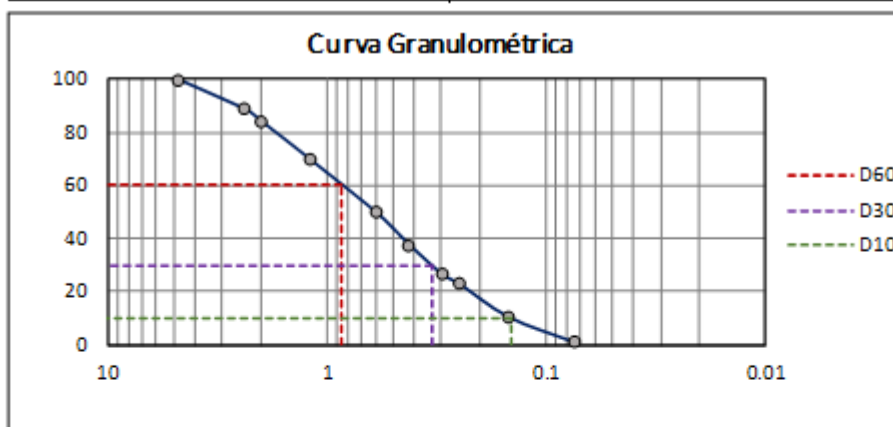


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía García Moreno - Chiquicha  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P8

COORDENADAS: E = 773118.22 m N = 9857547.18 m  
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
NORMA: AASHTO-T-88-2013  
FECHA: 12/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.39	0.39	0.16	99.84
# 8	2.38	27.76	28.15	11.26	88.74
# 10	2.00	11.39	39.54	15.82	84.18
# 16	1.19	36.35	75.89	30.36	69.64
# 30	0.595	49.82	125.71	50.28	49.72
# 40	0.420	30.45	156.16	62.46	37.54
# 50	0.297	27.68	183.84	73.54	26.46
# 60	0.250	8.46	192.30	76.92	23.08
# 100	0.149	31.27	223.57	89.43	10.57
# 200	0.074	23.35	247.53	99.01	0.99
FUENTE	-	1.87	2.48	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.143
D30 (mm) =	0.332
D60 (mm) =	0.851
$Cu = D60/D10$	5.95
$Cc = D30^2/(D60 \cdot D10)$	0.91

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.16
% Arena	98.85
% Finos	0.99

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

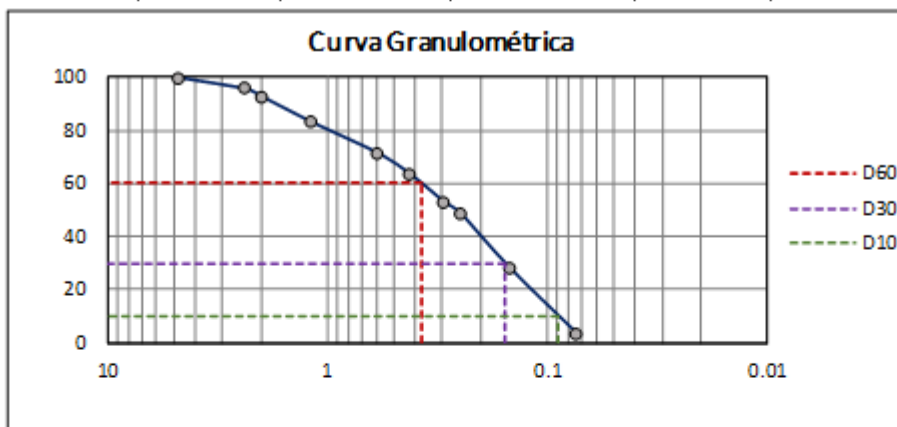


PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía Chiquicha - El Rosario  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P9

COORDENADAS: E = 773091.58 m N = 9860275.53 m  
 PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
 NORMA: AASHTO-T-88-2013  
 FECHA: 12/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.12	0.12	0.08	99.92
# 8	2.38	6.26	6.38	4.25	95.75
# 10	2.00	4.40	10.78	7.19	92.81
# 16	1.19	14.40	25.18	16.79	83.21
# 30	0.595	17.68	42.86	28.57	71.43
# 40	0.420	12.16	55.02	36.68	63.32
# 50	0.297	15.46	70.48	46.99	53.01
# 60	0.250	6.52	77.00	51.33	48.67
# 100	0.149	30.98	107.98	71.99	28.01
# 200	0.074	37.11	145.06	96.71	3.29
FUENTE	-	4.97	4.94	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.089
D30 (mm) =	0.157
D60 (mm) =	0.376
$C_u = D_{60}/D_{10}$	4.20
$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$	0.73

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.08
% Arena	96.63
% Finos	3.29

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

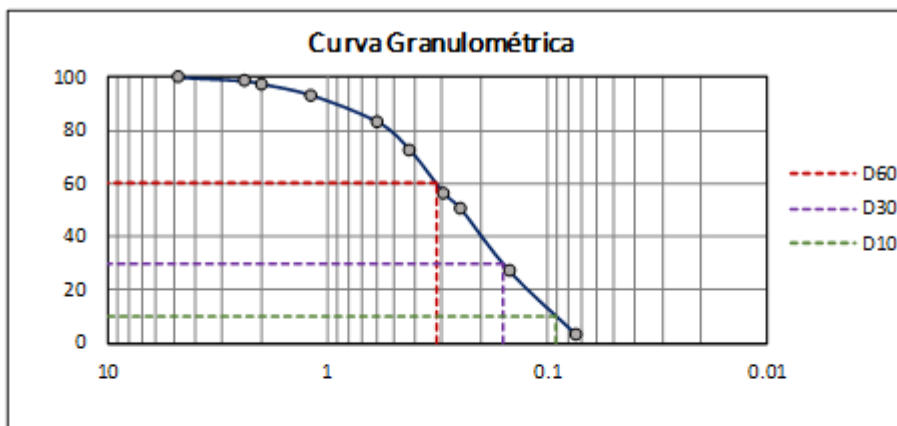


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - Chiquicha  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P10

COORDENADAS: E = 773298.76 m N = 9858855.09 m  
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
NORMA: AASHTO-T-88-2013  
FECHA: 13/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	3.53	3.53	1.41	98.59
# 10	2.00	2.68	6.21	2.48	97.52
# 16	1.19	10.55	16.76	6.70	93.30
# 30	0.595	25.11	41.87	16.75	83.25
# 40	0.420	27.31	69.18	27.67	72.33
# 50	0.297	39.88	109.06	43.62	56.38
# 60	0.250	14.05	123.11	49.24	50.76
# 100	0.149	59.47	182.58	73.03	26.97
# 200	0.074	59.07	242.13	96.85	3.15
FUENTE	-	7.40	7.88	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.090
D30 (mm) =	0.159
D60 (mm) =	0.321
$C_u = D_{60}/D_{10}$	3.55
$C_c = D_{30}^2/(D_{60} \cdot D_{10})$	0.87

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	96.85
% Finos	3.15

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



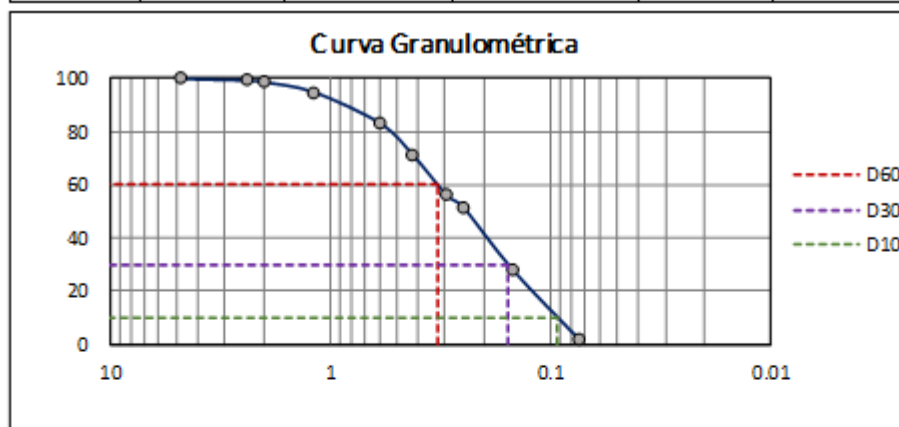


PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía Chiquicha - García Moreno  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P11

COORDENADAS: E = 774637.45 m N = 9859519.81 m  
 PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
 NORMA: AASHTO-T-88-2013  
 FECHA: 13/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	1.76	1.76	0.70	99.30
# 10	2.00	1.47	3.23	1.29	98.71
# 16	1.19	9.48	12.71	5.08	94.92
# 30	0.595	29.36	42.07	16.83	83.17
# 40	0.420	30.62	72.69	29.08	70.92
# 50	0.297	37.15	109.84	43.94	56.06
# 60	0.250	11.04	120.88	48.35	51.65
# 100	0.149	58.97	179.85	71.94	28.06
# 200	0.074	65.96	245.66	98.26	1.74
FUENTE	-	4.50	4.35	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.092
D30 (mm) =	0.155
D60 (mm) =	0.326
$Cu = D60/D10$	3.53
$Cc = D30^2/(D60 \cdot D10)$	0.81

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	98.26
% Finos	1.74

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

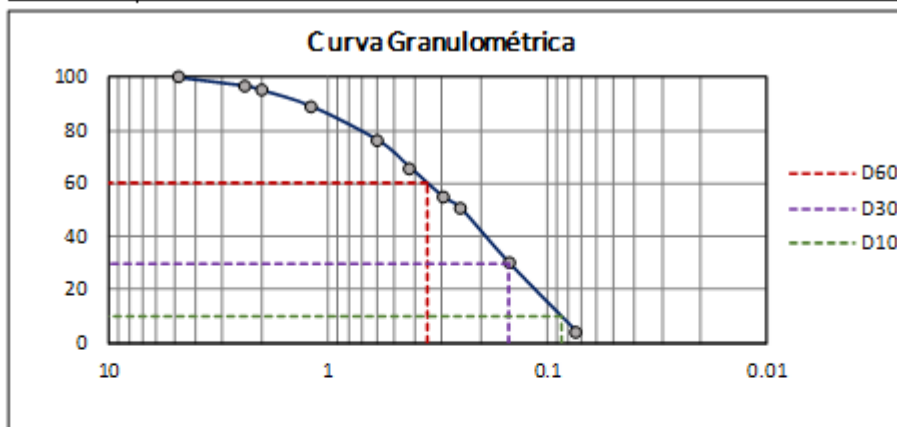


PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía García Moreno - Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P12

COORDENADAS: E = 774190.26m N = 9854846.91 m  
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: 250 gr  
NORMA: AASHTO-T-88-2013  
FECHA: 13/11/2020

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
# 8	2.38	7.79	7.79	3.12	96.88
# 10	2.00	4.10	11.89	4.76	95.24
# 16	1.19	15.21	27.10	10.84	89.16
# 30	0.595	31.81	58.91	23.56	76.44
# 40	0.420	26.57	85.48	34.19	65.81
# 50	0.297	27.59	113.07	45.23	54.77
# 60	0.250	9.75	122.82	49.13	50.87
# 100	0.149	52.58	175.40	70.16	29.84
# 200	0.074	63.89	239.51	95.80	4.20
FUENTE	-	10.28	10.50	-	-



### PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

D10 (mm) =	0.087
D30 (mm) =	0.150
D60 (mm) =	0.350
$Cu = D60/D10$	4.04
$Cc = D30^2/(D60 * D10)$	0.74

### PORCENTAJES DE SUELO

% Grava	0.00
% Arena	95.80
% Finos	4.20

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - Benítez  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P1

**COORDENADAS:** E = 769109.48 m N= 9853582.38 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 14/11/2020

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	23	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	157.29	gr
Peso del recipiente (Wrec)	107.60	gr
Peso de la muestra de suelo seco (Ws)	49.69	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (Wbw)	657.8	gr
Ws + Wbw	707.49	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	686.6	gr
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw -Wbws)	20.89	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9976	gr
Gavedad específica (Gs)	2.373	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Benítez - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P2

**COORDENADAS:** E = 768296.42 m N= 9852415.75 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 14/11/2020

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	21	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	155.02	gr
Peso del recipiente (Wrec)	104.60	gr
Peso de la muestra de suelo seco (Ws)	50.42	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (Wbw)	657.8	gr
Ws + Wbw	708.22	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	687.2	gr
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw -Wbws)	21.02	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9980	gr
Gavedad específica (Gs)	2.394	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P3

**COORDENADAS:** E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 14/11/2020

**GRAVEDADES ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDADES ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	20	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	143.68	gr
Peso del recipiente (W <sub>rec</sub> )	94.63	gr
Peso de la muestra de suelo seco (W <sub>s</sub> )	49.05	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (W <sub>bw</sub> )	657.8	gr
W <sub>s</sub> + W <sub>bw</sub>	706.85	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	687	gr
Deslizamiento del agua (W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub> -W <sub>bws</sub> )	19.85	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9982	gr
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	2.467	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía El Rosario - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P4

**COORDENADAS:** E = 770840.16 m N = 9857481.42 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 14/11/2020

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDADES ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	23	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	172.91	gr
Peso del recipiente (W <sub>rec</sub> )	124.23	gr
Peso de la muestra de suelo seco (W <sub>s</sub> )	48.68	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (W <sub>bw</sub> )	657.8	gr
W <sub>s</sub> + W <sub>bw</sub>	706.48	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	688.2	gr
Deslizamiento del agua (W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub> -W <sub>bws</sub> )	18.28	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9976	gr
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	2.657	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Salasaca - García Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P5

**COORDENADAS:** E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 14/11/2020

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	21	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	157.75	gr
Peso del recipiente ( $W_{rec}$ )	108.01	gr
Peso de la muestra de suelo seco ( $W_s$ )	49.74	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo ( $W_{bw}$ )	657.8	gr
$W_s + W_{bw}$	707.54	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido ( $W_{bws}$ )	687	gr
Deslizamiento del agua ( $W_s + W_{bw} - W_{bws}$ )	20.54	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9980	gr
Gravedad específica ( $G_s$ )	2.417	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez





**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via García Moreno - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P6

**COORDENADAS:** E = 772207.39 m N = 9854104.06 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 14/11/2020



**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	22	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	153.95	gr
Peso del recipiente ( $W_{rec}$ )	105.03	gr
Peso de la muestra de suelo seco ( $W_s$ )	48.92	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo ( $W_{bw}$ )	657.8	gr
$W_s + W_{bw}$	706.72	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido ( $W_{bws}$ )	687.2	gr
Deslizamiento del agua ( $W_s + W_{bw} - W_{bws}$ )	19.52	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9978	gr
Gravedad específica ( $G_s$ )	2.501	-



**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
		
<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E= 772342.46m N=9856496.03 m	
<b>UBICACIÓN:</b> Via El Rosario - García Moreno	<b>PESO DE LA MUESTRA:</b> 50 gr	
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-100-2015	
<b>MUESTRA:</b> P7	<b>FECHA:</b> 14/11/2020	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO		
GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	21	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	177.43	gr
Peso del recipiente (W <sub>rec</sub> )	128.20	gr
Peso de la muestra de suelo seco (W <sub>s</sub> )	49.23	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (W <sub>bw</sub> )	657.8	gr
W <sub>s</sub> + W <sub>bw</sub>	707.03	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	687	gr
Deslizamiento del agua (W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub> -W <sub>bws</sub> )	20.03	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9980	gr
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	2.453	-



**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
		
<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E= 773118.22m N=9857547.18 m	
<b>UBICACIÓN:</b> Via García Moreno - Chiquicha	<b>PESO DE LA MUESTRA:</b> 50 gr	
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-100-2015	
<b>MUESTRA:</b> P8	<b>FECHA:</b> 14/11/2020	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO		
GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	22	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	154.87	gr
Peso del recipiente (W <sub>rec</sub> )	105.66	gr
Peso de la muestra de suelo seco (W <sub>s</sub> )	49.21	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (W <sub>bw</sub> )	657.8	gr
W <sub>s</sub> + W <sub>bw</sub>	707.01	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (W <sub>bws</sub> )	684.6	gr
Deslizamiento del agua (W <sub>s</sub> +W <sub>bw</sub> -W <sub>bws</sub> )	22.41	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9978	gr
Gravedad específica (G <sub>s</sub> )	2.191	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E= 773091.58 m N=9860275.53 m	
<b>UBICACIÓN:</b> Via Chiquicha - El Rosario	<b>PESO DE LA MUESTRA:</b> 50 gr	
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-100-2015	
<b>MUESTRA:</b> P9	<b>FECHA:</b> 14/11/2020	
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO</b>		
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
Temperatura del agua + suelo	22	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	173.53	gr
Peso del recipiente (Wrec)	124.75	gr
Peso de la muestra de suelo seco (Ws)	48.78	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (Wbw)	657.8	gr
Ws + Wbw	706.58	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	684	gr
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	22.58	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9978	gr
Gravedad específica (Gs)	2.156	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E= 773298.76 m N=9858855.09 m	
<b>UBICACIÓN:</b> Via El Rosario - Chiquicha	<b>PESO DE LA MUESTRA:</b> 50 gr	
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-100-2015	
<b>MUESTRA:</b> P10	<b>FECHA:</b> 15/11/2020	
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO</b>		
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>		
Temperatura del agua + suelo	18	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	313.97	gr
Peso del recipiente (Wrec)	264.63	gr
Peso de la muestra de suelo seco (Ws)	49.34	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (Wbw)	657.8	gr
Ws + Wbw	707.14	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	685	gr
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw-Wbws)	22.14	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9986	gr
Gravedad específica (Gs)	2.225	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Chiquicha - García Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P11

**COORDENADAS:** E = 774637.45 m N= 9859519.81 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 15/11/2020

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	20	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	316.62	gr
Peso del recipiente (Wrec)	266.59	gr
Peso de la muestra de suelo seco (Ws)	50.03	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (Wbw)	657.8	gr
Ws + Wbw	707.83	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	684.2	gr
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw -Wbws)	23.63	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9982	gr
Gravedad específica (Gs)	2.113	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via García Moreno - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P12

**COORDENADAS:** E = 774190.26m N = 9854846.91 m  
**PESO DE LA MUESTRA:** 50 gr  
**NORMA:** AASHTO-T-100-2015  
**FECHA:** 15/11/2020

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO MEDIANTE PICNÓMETRO**

GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Temperatura del agua + suelo	19	°C
Peso del recipiente + muestra de suelo seco	143.28	gr
Peso del recipiente (Wrec)	94.67	gr
Peso de la muestra de suelo seco (Ws)	48.61	gr
Peso del picnómetro + agua hasta la marca de aforo (Wbw)	657.8	gr
Ws + Wbw	706.41	gr
Peso del picnómetro + agua + suelo sumergido (Wbws)	686.4	gr
Deslizamiento del agua (Ws+Wbw -Wbws)	20.01	gr
Factor de correlación por temperatura (K)	0.9984	gr
Gravedad específica (Gs)	2.425	-

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez





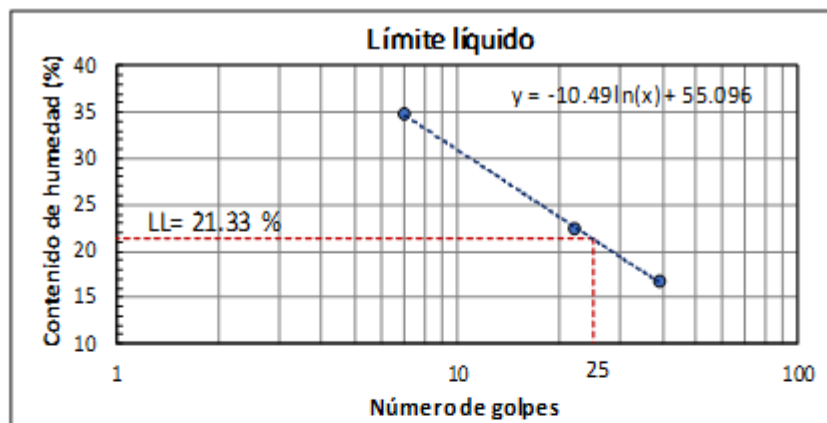
PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Salasaca - Benitez  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P1

COORDENADAS: E = 769109.48 m N = 9853582.38 m  
NORMA (LL): AASHTO-T-89-2013  
NORMA (LP): AASHTO-T-90-2016  
FECHA: 15/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	13-C	11-F	8-T	12-F	6-T	13-T
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	36.15	33.53	31.54	31.80	32.75	31.93
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	32.54	30.38	28.01	27.94	27.34	26.57
Peso del agua (gr)	3.61	3.15	3.53	3.86	5.41	5.36
Peso del recipiente (gr)	11.27	11.46	11.46	11.51	11.55	11.36
Peso de la muestra de suelo seco	21.27	18.92	16.55	16.43	15.79	15.21
Contenido de humedad (W%)	16.97	16.65	21.33	23.49	34.27	35.24
Contenido de humedad promedio (W%)	16.81		22.41		34.76	
N° de golpes	39		22		7	
Límite líquido (%) =						21.33



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	X-7	A-2	E-2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.05	5.72	5.31
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.94	5.42	5.13
Peso del agua (gr)	0.11	0.30	0.18
Peso del recipiente (gr)	4.36	4.38	4.34
Peso de la muestra de suelo seco	0.58	1.04	0.79
Contenido de humedad (W%)	18.97	28.85	22.78
Límite plástico (%) =	23.53		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP (%) = LL-LP      NP (No plástico)

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



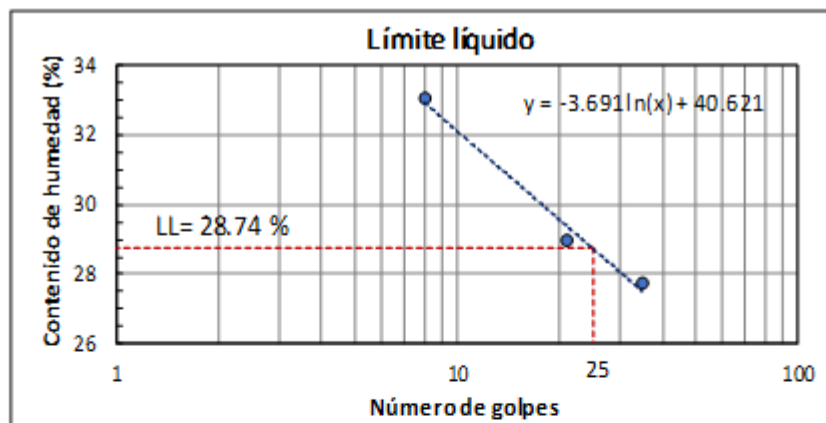
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Salasaca - Benitez  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P2

**COORDENADAS:** E = 769109.48 m N = 9853582.38 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 15/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	A-3	D-1	A-1	P-5	A-5	1-A
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	26.50	29.11	28.91	26.41	34.41	35.62
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	21.70	23.70	23.36	21.46	26.95	27.80
Peso del agua (gr)	4.80	5.41	5.55	4.95	7.46	7.82
Peso del recipiente (gr)	4.29	4.33	4.36	4.26	4.34	4.22
Peso de la muestra de suelo seco	17.41	19.37	19.00	17.20	22.61	23.58
Contenido de humedad (W%)	27.57	27.93	29.21	28.78	32.99	33.16
Contenido de humedad promedio (W%)	27.75		28.99		33.08	
N° de golpes	35		21		8	
Límite líquido (%) =	28.74					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	A-2	1-A	A-3
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.51	5.38	5.28
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	5.22	5.04	5.07
Peso del agua (gr)	0.29	0.34	0.21
Peso del recipiente (gr)	4.40	4.32	4.30
Peso de la muestra de suelo seco	0.82	0.72	0.77
Contenido de humedad (W%)	35.37	47.22	27.27
Límite plástico (%) =	36.62		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP (%) = LL-LP      NP (No plástico)

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



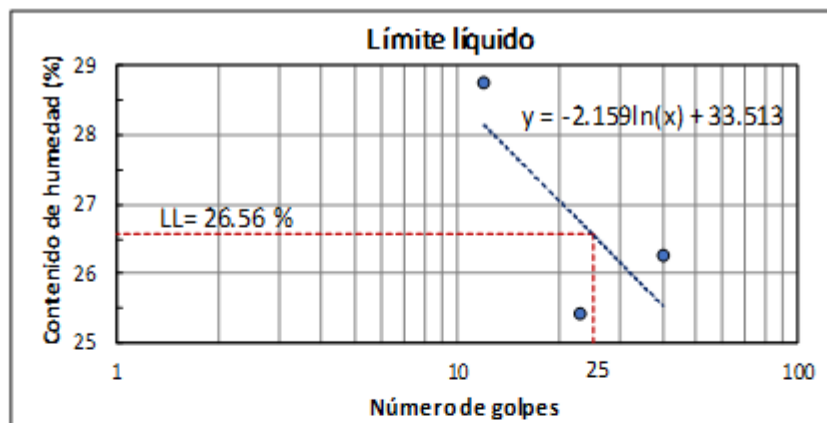
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Salasaca - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P3

**COORDENADAS:** E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 15/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	13-T	11-F	6-T	13-C	3-T	12-F
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	33.13	29.30	33.53	34.23	32.18	31.90
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	28.64	25.56	29.07	29.58	27.30	27.61
Peso del agua (gr)	4.49	3.74	4.46	4.65	4.88	4.29
Peso del recipiente (gr)	11.65	11.23	11.55	11.26	11.43	11.58
Peso de la muestra de suelo seco	16.99	14.33	17.52	18.32	15.87	16.03
Contenido de humedad (W%)	26.43	26.10	25.46	25.38	30.75	26.76
Contenido de humedad promedio (W%)	26.26		25.42		28.76	
N° de golpes	40		23		12	
Límite líquido (%) =	26.56					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	D-3	P-6	A-7
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.03	5.29	5.07
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.87	5.04	4.92
Peso del agua (gr)	0.16	0.25	0.15
Peso del recipiente (gr)	4.29	4.26	4.36
Peso de la muestra de suelo seco	0.58	0.78	0.56
Contenido de humedad (W%)	27.59	32.05	26.79
Límite plástico (%) =	28.81		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP      NP (No plástico)

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



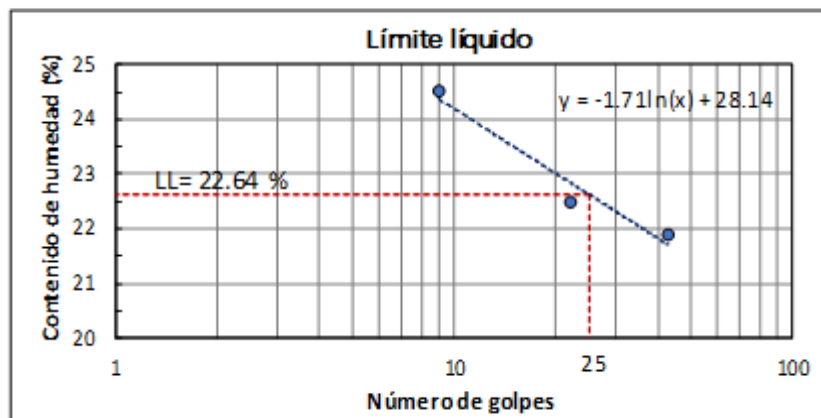
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía El Rosario - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P4

**COORDENADAS:** E = 770840.16 m N = 9857481.42 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 16/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	6-T	11-F	8-T	13-T	12-F	13-C
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	33.26	37.46	40.23	41.19	39.12	39.80
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	29.35	32.75	34.95	35.75	33.69	34.19
Peso del agua (gr)	3.91	4.71	5.28	5.44	5.43	5.61
Peso del recipiente (gr)	11.54	11.21	11.44	11.61	11.60	11.28
Peso de la muestra de suelo seco	17.81	21.54	23.51	24.14	22.09	22.91
Contenido de humedad (W%)	21.95	21.87	22.46	22.54	24.58	24.49
Contenido de humedad promedio (W%)	21.91		22.50		24.53	
N° de golpes	43		22		9	
Límite líquido (%) =	22.64					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	E-1	A-5	1-F
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.13	5.40	5.08
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.89	5.13	4.84
Peso del agua (gr)	0.24	0.27	0.24
Peso del recipiente (gr)	4.27	4.34	4.34
Peso de la muestra de suelo seco	0.62	0.79	0.50
Contenido de humedad (W%)	38.71	34.18	48.00
Límite plástico (%) =	40.30		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP      NP (No plástico)

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



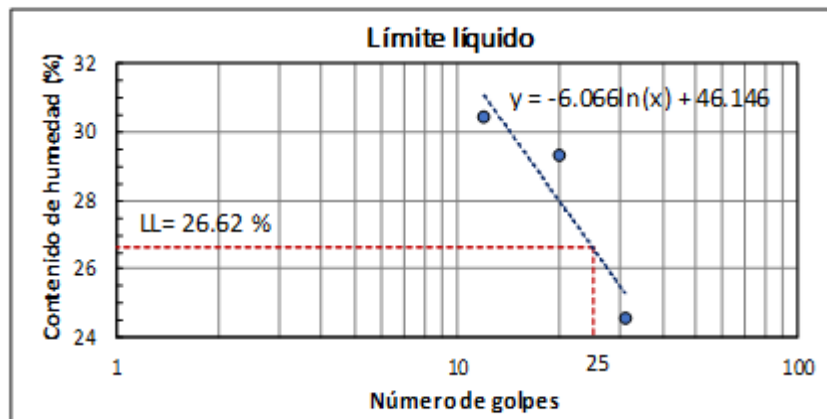
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Salasaca - Garcia Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P5

**COORDENADAS:** E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 17/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	13-T	13-C	6-T	12-F	11-F	8-T
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	33.09	28.48	32.78	29.48	34.41	33.15
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	28.38	25.49	27.97	25.42	29.02	28.07
Peso del agua (gr)	4.71	2.99	4.81	4.06	5.39	5.08
Peso del recipiente (gr)	11.62	11.29	11.56	11.60	11.23	11.46
Peso de la muestra de suelo seco	16.76	14.20	16.41	13.82	17.79	16.61
Contenido de humedad (W%)	28.10	21.06	29.31	29.38	30.30	30.58
Contenido de humedad promedio (W%)	24.58		29.34		30.44	
N° de golpes	31		20		12	
Límite líquido (%) =	26.62					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	D-3	E-1	A-8
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.06	5.13	5.42
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.86	4.96	5.19
Peso del agua (gr)	0.20	0.17	0.23
Peso del recipiente (gr)	4.31	4.27	4.37
Peso de la muestra de suelo seco	0.55	0.69	0.82
Contenido de humedad (W%)	36.36	24.64	28.05
Límite plástico (%) =	29.68		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP (%) = LL-LP      NP (No plástico)

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



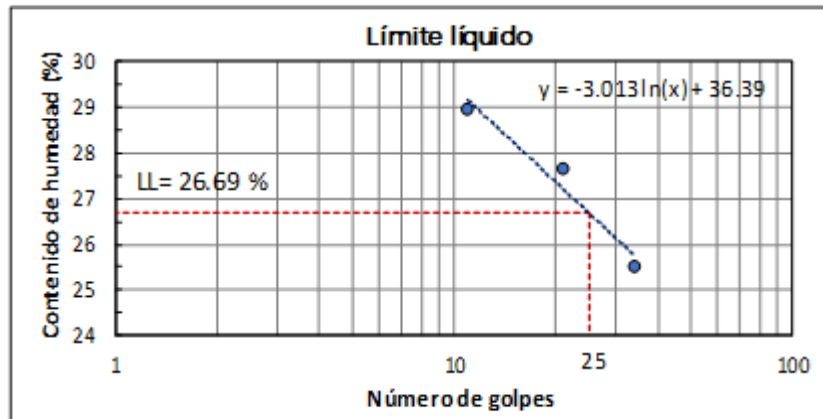
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía García Moreno - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P6

**COORDENADAS:** E = 772207.39 m N = 9854104.06 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 17/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	X-3	X-5	M-9	A-5	E-1	1-F
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	34.18	30.49	32.25	25.22	39.40	38.12
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	28.43	25.50	26.40	20.74	31.46	30.58
Peso del agua (gr)	5.75	4.99	5.85	4.48	7.94	7.54
Peso del recipiente (gr)	6.00	5.84	5.50	4.35	4.27	4.35
Peso de la muestra de suelo seco	22.43	19.66	20.90	16.39	27.19	26.23
Contenido de humedad (W%)	25.64	25.38	27.99	27.33	29.20	28.75
Contenido de humedad promedio (W%)	25.51		27.66		28.97	
N° de golpes	34		21		11	
Límite líquido (%) =	26.69					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	A-2	X-7	E-2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.04	5.68	5.33
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.93	5.42	5.13
Peso del agua (gr)	0.11	0.26	0.20
Peso del recipiente (gr)	4.34	4.35	4.38
Peso de la muestra de suelo seco	0.59	1.07	0.75
Contenido de humedad (W%)	18.64	24.30	26.67
Límite plástico (%) =	23.20		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP      3.49

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



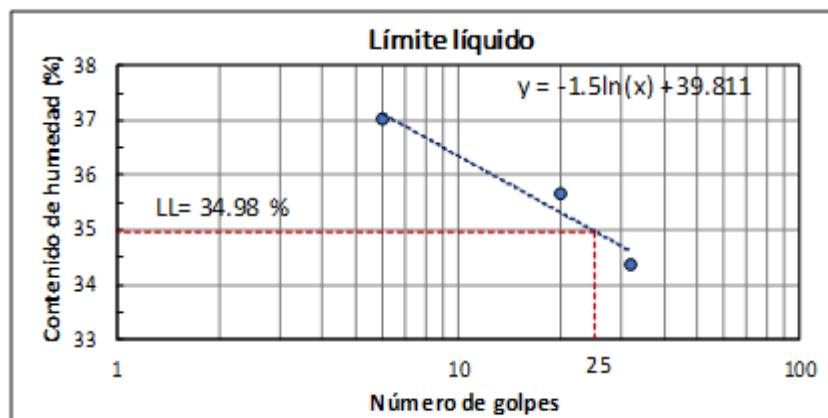
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía El Rosario - García Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P7

**COORDENADAS:** E = 772342.46 m N = 9856496.03 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 17/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	13-T	13-C	12-F	11-F	6-T	8-T
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	45.75	43.72	49.29	49.34	50.16	52.75
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	37.12	35.32	39.32	39.38	39.74	41.58
Peso del agua (gr)	8.63	8.40	9.97	9.96	10.42	11.17
Peso del recipiente (gr)	11.58	11.27	11.59	11.24	11.56	11.45
Peso de la muestra de suelo seco	25.54	24.05	27.73	28.14	28.18	30.13
Contenido de humedad (W%)	33.79	34.93	35.95	35.39	36.98	37.07
Contenido de humedad promedio (W%)	34.36		35.67		37.02	
N° de golpes	32		20		6	
Limite liquido (%) =	34.98					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	A-5	E-2	P-5
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.23	5.90	5.33
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.99	5.50	5.11
Peso del agua (gr)	0.24	0.40	0.22
Peso del recipiente (gr)	4.39	4.47	4.26
Peso de la muestra de suelo seco	0.60	1.03	0.85
Contenido de humedad (W%)	40.00	38.83	25.88
Limite plástico (%) =	34.91		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP      0.08

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

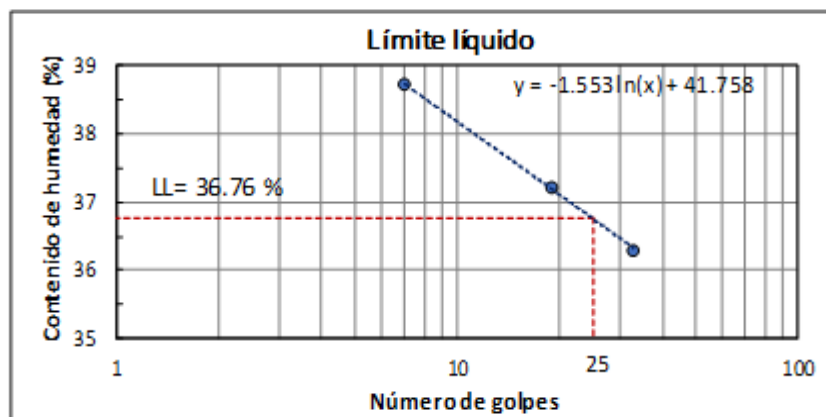


**PROYECTO:** Tesis de grado **COORDENADAS:** E = 773118.22 m N = 9857547.18 m  
**UBICACIÓN:** Vía El García Moreno - Chiquicha **NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**MATERIAL:** Subrasante **NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**MUESTRA:** P8 **FECHA:** 17/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	12-F	13-T	X-5	M-3	X-3	N-2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	50.23	48.00	41.51	43.86	53.77	51.31
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	39.96	38.31	31.85	33.46	40.37	38.58
Peso del agua (gr)	10.27	9.69	9.66	10.40	13.40	12.73
Peso del recipiente (gr)	11.64	11.65	5.88	5.54	5.99	5.49
Peso de la muestra de suelo seco	28.32	26.66	25.97	27.92	34.38	33.09
Contenido de humedad (W%)	36.26	36.35	37.20	37.25	38.98	38.47
Contenido de humedad promedio (W%)	36.31		37.22		38.72	
N° de golpes	33		19		7	
Límite líquido (%) =	36.76					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	A-5	E-1	E-2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.11	5.05	5.52
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	4.91	4.85	5.21
Peso del agua (gr)	0.20	0.20	0.31
Peso del recipiente (gr)	4.36	4.28	4.39
Peso de la muestra de suelo seco	0.55	0.57	0.82
Contenido de humedad (W%)	36.36	35.09	37.80
Límite plástico (%) =	36.42		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP (%) = LL-LP = 0.03

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez





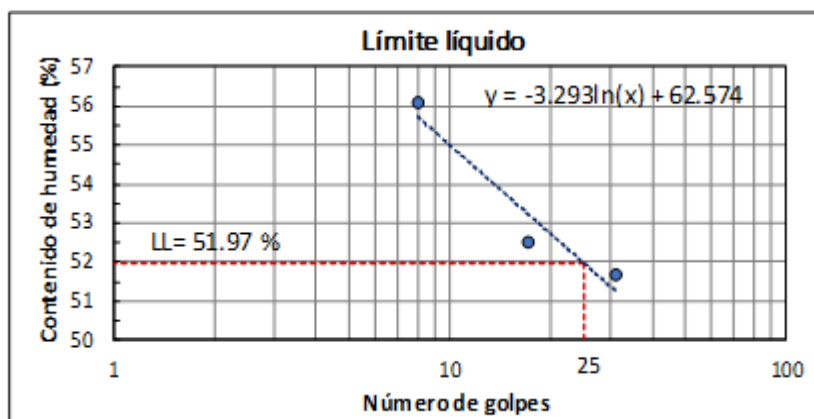
PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Chiquicha - El Rosario  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P9

COORDENADAS: E = 773091.58 m N = 9860275.53 m  
NORMA (LL): AASHTO-T-89-2013  
NORMA (LP): AASHTO-T-90-2016  
FECHA: 17/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	13-C	8-T	6-T	11-F	X-3	A-3
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	39.05	44.88	46.45	45.70	37.18	29.46
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	29.69	33.40	34.33	33.96	25.83	20.60
Peso del agua (gr)	9.36	11.48	12.12	11.74	11.35	8.86
Peso del recipiente (gr)	11.33	11.49	11.58	11.25	6.08	4.39
Peso de la muestra de suelo seco	18.36	21.91	22.75	22.71	19.75	16.21
Contenido de humedad (W%)	50.98	52.40	53.27	51.70	57.47	54.66
Contenido de humedad promedio (W%)	51.69		52.49		56.06	
N° de golpes	31		17		8	
Límite líquido (%) =	51.97					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	A-2	D-3	A-8
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.54	5.51	5.75
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	5.06	5.04	5.22
Peso del agua (gr)	0.48	0.47	0.53
Peso del recipiente (gr)	4.45	4.36	4.42
Peso de la muestra de suelo seco	0.61	0.68	0.80
Contenido de humedad (W%)	78.69	69.12	66.25
Límite plástico (%) =	71.35		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP      NP (No plástico)

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



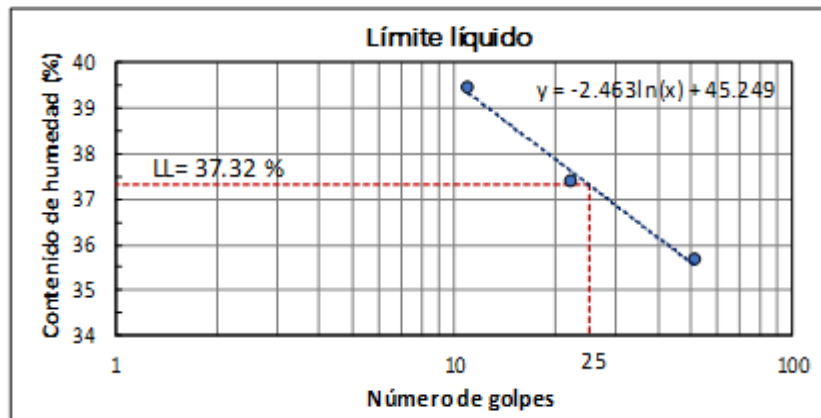
PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via El Rosario - Chiquicha  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P10

COORDENADAS: E = 773298.76 m N = 9858855.09 m  
NORMA (LL): AASHTO-T-89-2013  
NORMA (LP): AASHTO-T-90-2016  
FECHA: 18/11/2020

**LÍMITES DE ATTERBERG**

**LÍMITE LÍQUIDO (%)**

Recipiente N°	X-3	X-5	M-3	1-F	E-2	E-1
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	39.32	40.00	38.13	36.95	36.68	34.94
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	30.49	31.09	29.28	28.05	27.54	26.25
Peso del agua (gr)	8.83	8.91	8.85	8.90	9.14	8.69
Peso del recipiente (gr)	6.01	5.83	5.50	4.36	4.37	4.25
Peso de la muestra de suelo seco	24.48	25.26	23.78	23.69	23.17	22.00
Contenido de humedad (W%)	36.07	35.27	37.22	37.57	39.45	39.50
Contenido de humedad promedio (W%)	35.67		37.39		39.47	
N° de golpes	51		22		11	
Límite líquido (%) =	37.32					



**LÍMITE PLÁSTICO (%)**

Recipiente N°	P-5	X-7	A-5
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.27	5.32	5.50
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	5.04	5.08	5.24
Peso del agua (gr)	0.23	0.24	0.26
Peso del recipiente (gr)	4.27	4.35	4.36
Peso de la muestra de suelo seco	0.77	0.73	0.88
Contenido de humedad (W%)	29.87	32.88	29.55
Límite plástico (%) =	30.76		

**ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)**

IP(%) = LL-LP      6.56

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez

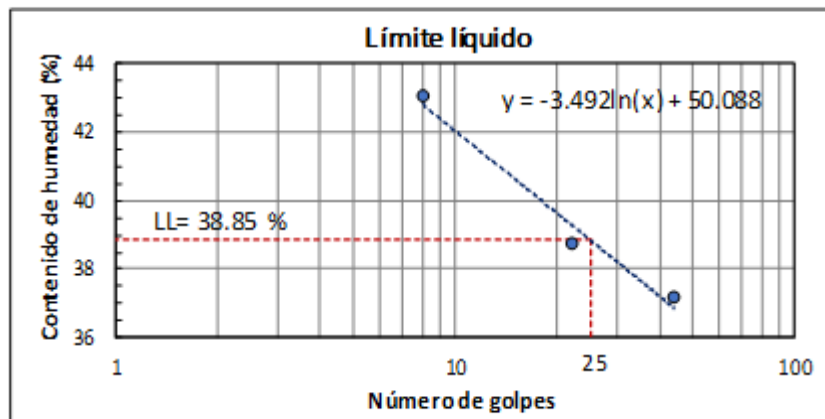


**PROYECTO:** Tesis de grado **COORDENADAS:** E = 774637.45 m N = 9859519.81 m  
**UBICACIÓN:** Via El Chiquicha - Garcia Moreno **NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**MATERIAL:** Subrasante **NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**MUESTRA:** P11 **FECHA:** 18/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	13-C	6-T	8-T	11-F	12-F	13-T
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	42.74	51.84	45.11	53.93	51.40	44.66
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	34.27	40.85	35.85	41.86	39.41	34.74
Peso del agua (gr)	8.47	10.99	9.26	12.07	11.99	9.92
Peso del recipiente (gr)	11.29	11.56	11.51	11.29	11.63	11.63
Peso de la muestra de suelo seco	22.98	29.29	24.34	30.57	27.78	23.11
Contenido de humedad (W%)	36.86	37.52	38.04	39.48	43.16	42.93
Contenido de humedad promedio (W%)	37.19		38.76		43.04	
N° de golpes	44		22		8	
Límite líquido (%) =	38.85					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	D-3	A-8	A-2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	5.35	5.98	5.63
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	5.10	5.57	5.31
Peso del agua (gr)	0.25	0.41	0.32
Peso del recipiente (gr)	4.36	4.42	4.41
Peso de la muestra de suelo seco	0.74	1.15	0.90
Contenido de humedad (W%)	33.78	35.65	35.56
Límite plástico (%) =	35.00		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP = 3.85

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



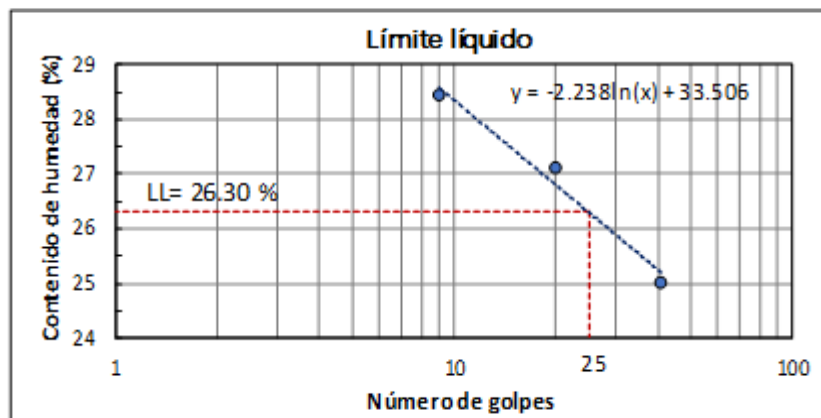
**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía El García Moreno - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P12

**COORDENADAS:** E = 774190.26 m N = 9854846.91 m  
**NORMA (LL):** AASHTO-T-89-2013  
**NORMA (LP):** AASHTO-T-90-2016  
**FECHA:** 18/11/2020

### LÍMITES DE ATTERBERG

#### LÍMITE LÍQUIDO (%)

Recipiente N°	X-3	X-5	E-2	A-8	A-2	M-7
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	41.59	41.88	31.07	31.80	32.75	41.78
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	34.49	34.64	25.38	25.94	26.43	33.53
Peso del agua (gr)	7.10	7.24	5.69	5.86	6.32	8.25
Peso del recipiente (gr)	5.99	5.85	4.38	4.35	4.30	4.40
Peso de la muestra de suelo seco	28.50	28.79	21.00	21.59	22.13	29.13
Contenido de humedad (W%)	24.91	25.15	27.10	27.14	28.56	28.32
Contenido de humedad promedio (W%)	25.03		27.12		28.44	
N° de golpes	41		20		9	
Límite líquido (%) =	26.30					



#### LÍMITE PLÁSTICO (%)

Recipiente N°	1-A	E-1	A-3
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	6.06	5.84	5.04
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	5.69	5.50	4.89
Peso del agua (gr)	0.37	0.34	0.15
Peso del recipiente (gr)	4.21	4.27	4.32
Peso de la muestra de suelo seco	1.48	1.23	0.57
Contenido de humedad (W%)	25.00	27.64	26.32
Límite plástico (%) =	26.32		

#### ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)

IP(%) = LL-LP      NP (No plástico)

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Salasaca - Benitez  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P1

COORDENADAS: E = 769109.48 m N = 9853582.38 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 19/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Øint. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

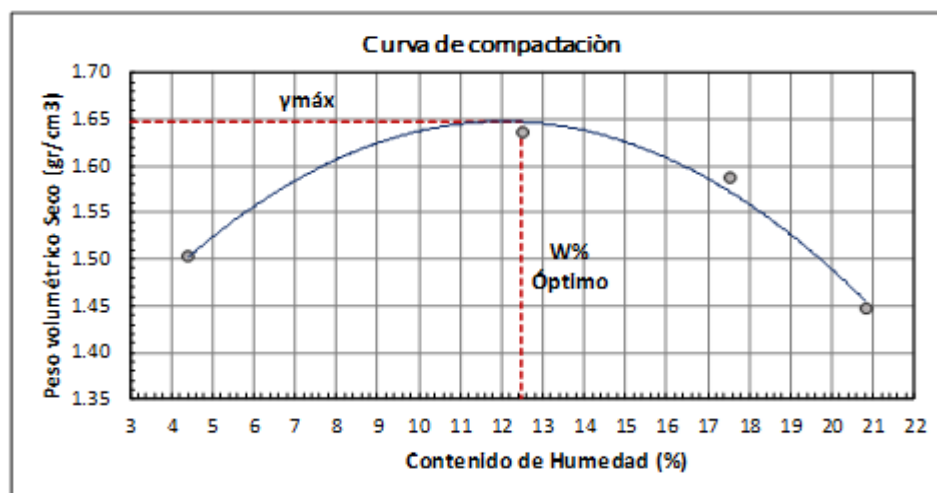
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	5	10	15	20
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8690.8	9252.6	9304.8	9059.6
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3263.8	3825.6	3877.8	3632.6
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.571	1.842	1.867	1.749

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	C-6	C-9	6-A	2-F	D-7	C-5	6-T	C-7
Peso del recipiente (gr)	41.73	43.22	38.26	47.27	46.17	45.97	46.07	41.93
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	241.56	192.99	127.49	124.43	183.93	170.51	267.54	335.64
Peso recipiente+suelo seco (gr)	232.97	186.73	117.69	115.75	163.05	152.23	229.51	284.89
Peso del suelo seco (gr)	191.24	143.51	79.43	68.48	116.88	106.26	183.44	242.96
Peso del agua (gr)	8.59	6.26	9.80	8.68	20.88	18.28	38.03	50.75
Contenido de humedad (w%)	4.49	4.36	12.34	12.68	17.86	17.20	20.73	20.89
Cont. de humedad promedio (w%)	4.43		12.51		17.53		20.81	
Peso volumétrico seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.505		1.637		1.588		1.447	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo Wop%	12.5
Densidad seca máxima $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.648





PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Via Benítez- Salasaca  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P2

COORDENADAS: E = 768296.42 m N = 9852415.75 m  
 NORMA: A.ASHTO-T-180  
 FECHA: 19/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Øint. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

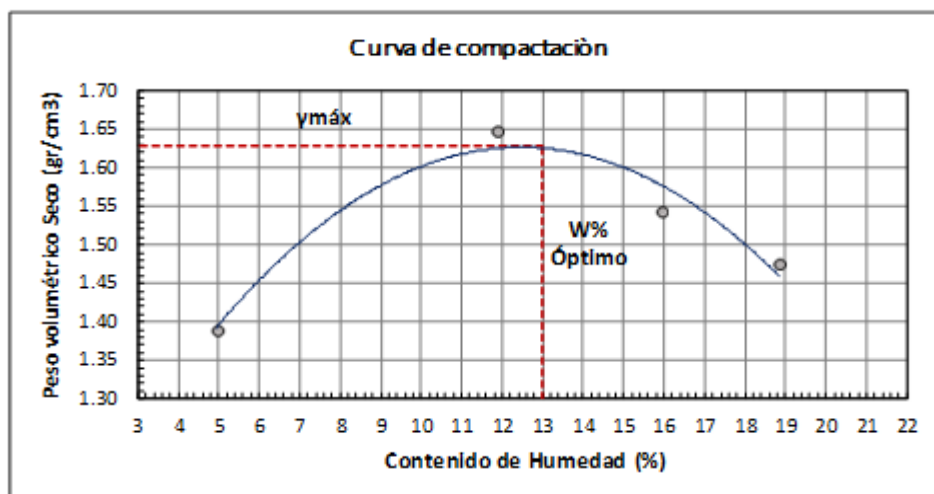
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	5	10	15	20
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8452.4	9256.8	9142.4	9070.8
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3025.4	3829.8	3715.4	3643.8
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.456	1.844	1.789	1.754

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	11-B	D-3	1-T	1-D	M-3	M-2	4-B	8-B
Peso del recipiente (gr)	26.89	27.43	30.31	33.00	20.42	98.36	31.59	32.18
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	115.21	145.61	104.50	127.63	116.20	236.69	150.74	135.16
Peso recipiente+suelo seco (gr)	110.48	140.85	96.36	117.96	103.18	217.50	132.03	118.69
Peso del suelo seco (gr)	83.59	113.42	66.05	84.96	82.76	119.14	100.44	86.51
Peso del agua (gr)	4.73	4.76	8.14	9.67	13.02	19.19	18.71	16.47
Contenido de humedad (w%)	5.66	4.20	12.32	11.38	15.73	16.11	18.63	19.04
Cont. de humedad promedio (w%)	4.93		11.85		15.92		18.83	
Peso volumétrico seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.388		1.648		1.543		1.476	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo W <sub>op</sub> %	13
Densidad seca máxima $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.628



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
 UBICACIÓN: Vía Salasaca - El Rosario  
 MATERIAL: Subrasante  
 MUESTRA: P3

COORDENADAS: E= 770690.96 m N= 9855937.38 m  
 NORMA: AASHTO-T-180  
 FECHA: 20/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Øint. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

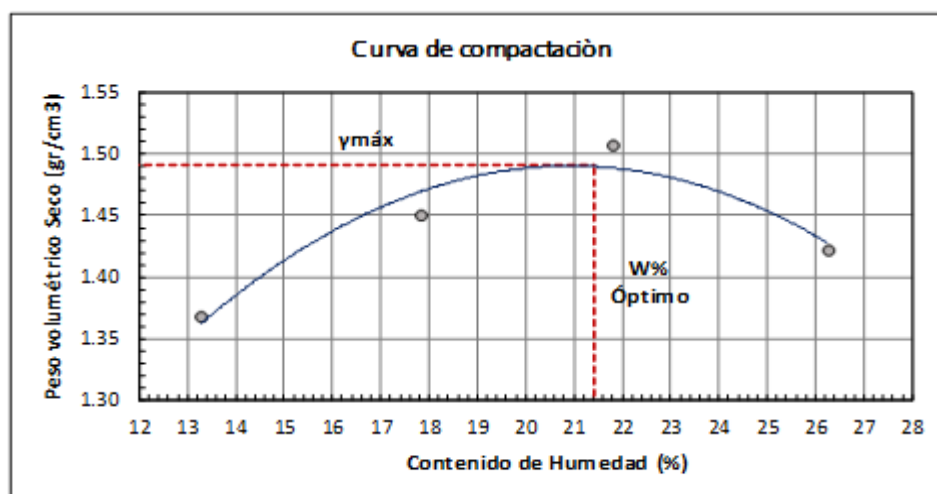
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	10	15	20	25
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8647.0	8979.8	9241.2	9157.6
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3220	3552.8	3814.2	3730.6
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.550	1.710	1.836	1.796

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	W-1	P-4	6-T	C-9	C-5	4-A	W-3	D-1
Peso del recipiente (gr)	53.50	48.98	45.83	43.18	45.99	46.84	53.10	44.85
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	186.73	202.50	157.86	215.60	166.07	165.42	274.56	228.07
Peso recipiente+suelo seco (gr)	171.04	184.57	140.70	189.79	144.62	144.13	228.66	189.91
Peso del suelo seco (gr)	117.54	135.59	94.87	146.61	98.63	97.29	175.56	145.06
Peso del agua (gr)	15.69	17.93	17.16	25.81	21.45	21.29	45.90	38.16
Contenido de humedad (w%)	13.35	13.22	18.09	17.60	21.75	21.88	26.14	26.31
Cont. de humedad promedio (w%)	13.29		17.85		21.82		26.23	
Peso volumétrico seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.368		1.451		1.507		1.423	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo W <sub>op</sub> %	21.4
Densidad seca máxima $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.491





PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P4

COORDENADAS: E= 770690.96 m N= 9855937.38 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 20/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

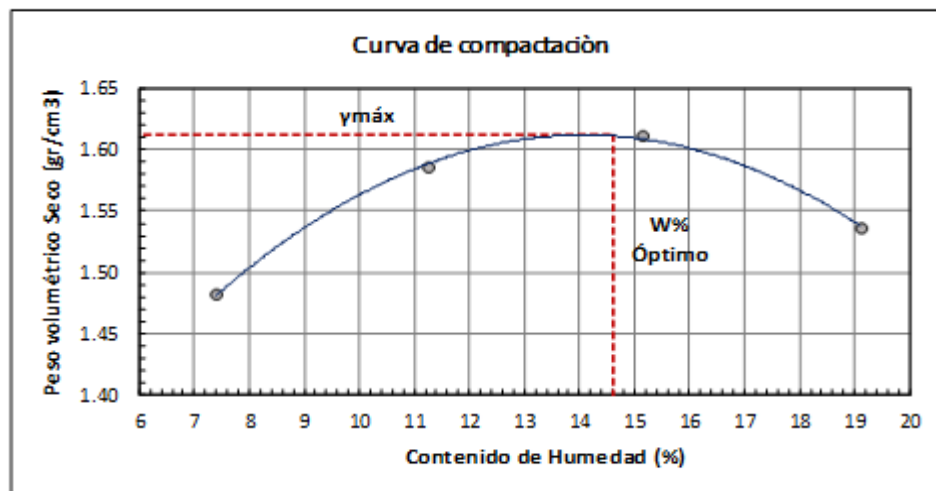
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	5	10	15	20
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8734.8	9092.65	9280.8	9229.8
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3307.8	3665.65	3853.8	3802.8
Peso unitario húmedo γm (gr/cm <sup>3</sup> )	1.592	1.765	1.855	1.831

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	W-3	C-9	D-1	4-A	1-P	F-5	Y-1	W-9
Peso del recipiente (gr)	53.12	43.23	44.78	46.81	52.96	53.79	56.35	53.11
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	224.12	194.68	216.95	185.77	216.35	215.01	293.08	263.73
Peso recipiente+suelo seco (gr)	212.28	184.28	199.60	171.65	194.96	193.73	255.33	229.73
Peso del suelo seco (gr)	159.16	141.05	154.82	124.84	142.00	139.94	198.98	176.62
Peso del agua (gr)	11.84	10.40	17.35	14.12	21.39	21.28	37.75	34.00
Contenido de humedad (w%)	7.44	7.37	11.21	11.31	15.06	15.21	18.97	19.25
Cont. de humedad promedio (w%)	7.41		11.26		15.13		19.11	
Peso volumétrico seco γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.483		1.586		1.611		1.537	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo Wop%	14.6
Densidad seca máxima γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.613



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez





PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Salasaca - García Moreno  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P5

COORDENADAS: E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 23/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

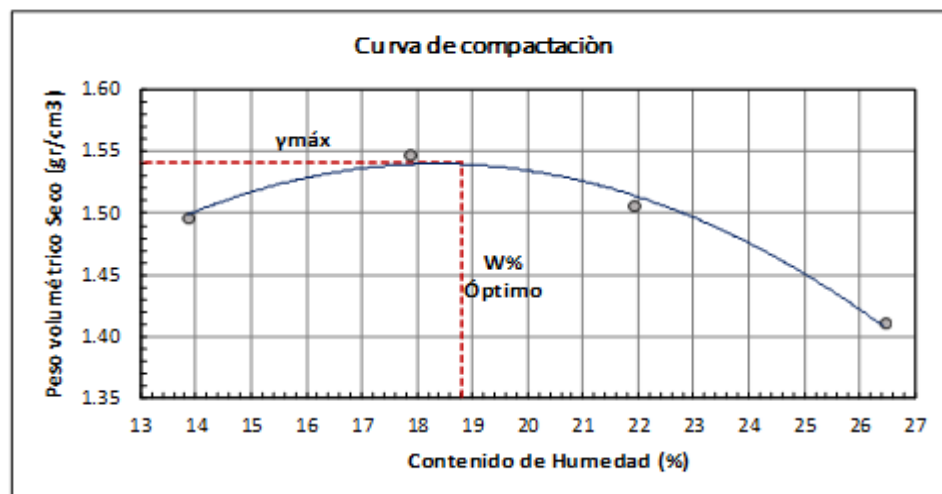
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	10	15	20	25
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8965.6	9217.2	9242.8	9133.2
Peso suelo húmedo W <sub>m</sub> (gr)	3538.6	3790.2	3815.8	3706.2
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.703	1.825	1.837	1.784

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	W-2	F-5	Y-1	B-8	R-5	6-T	F-3	2-F
Peso del recipiente (gr)	53.10	53.78	56.40	41.87	43.11	45.81	56.07	47.26
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	204.31	199.31	232.94	196.92	205.90	195.78	279.83	321.05
Peso recipiente+suelo seco (gr)	186.40	181.14	207.02	172.64	176.93	168.52	233.31	263.53
Peso del suelo seco (gr)	133.30	127.36	150.62	130.77	133.82	122.71	177.24	216.27
Peso del agua (gr)	17.91	18.17	25.92	24.28	28.97	27.26	46.52	57.52
Contenido de humedad (w%)	13.44	14.27	17.21	18.57	21.65	22.21	26.25	26.60
Cont. de humedad promedio (w%)	13.85		17.89		21.93		26.42	
Peso volumétrico seco γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.496		1.548		1.506		1.411	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo W <sub>op</sub> %	18.8
Densidad seca máxima γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.541



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via García Moreno - El Rosario  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P6

COORDENADAS: E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 23/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Øint. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarin (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

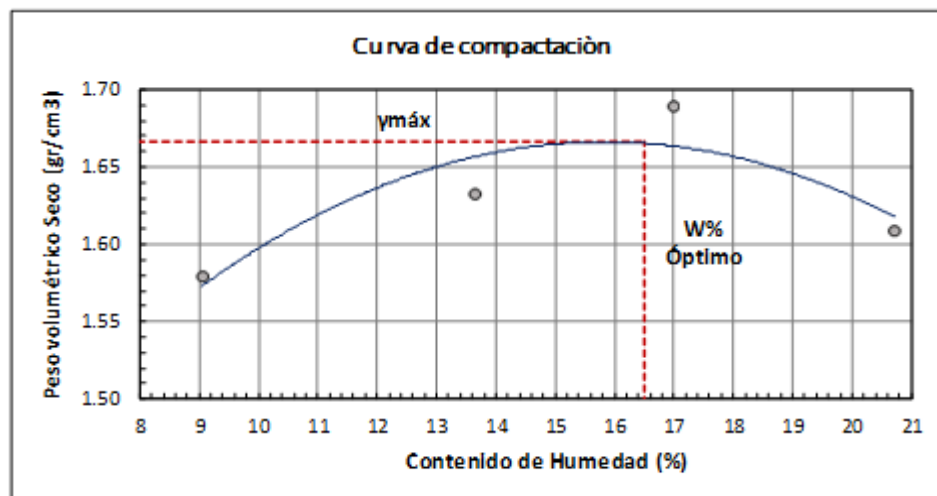
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	5	10	15	20
Peso molde+suelo húmedo (gr)	9004.8	9280.6	9531.5	9463.4
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3577.8	3853.6	4104.5	4036.4
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.722	1.855	1.976	1.943

**CONTENDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	M-2	M-1	3-T	D-3	8-B	11-B	1-D	4-B
Peso del recipiente (gr)	98.30	93.67	28.15	27.47	32.19	26.92	33.03	31.61
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	246.16	264.08	126.24	127.88	117.09	109.32	153.47	160.62
Peso recipiente+suelo seco (gr)	233.89	249.93	114.58	115.75	104.93	97.24	132.84	138.44
Peso del suelo seco (gr)	135.59	156.26	86.43	88.28	72.74	70.32	99.81	106.83
Peso del agua (gr)	12.27	14.15	11.66	12.13	12.16	12.08	20.63	22.18
Contenido de humedad (w%)	9.05	9.06	13.49	13.74	16.72	17.18	20.67	20.76
Cont. de humedad promedio (w%)	9.05		13.62		16.95		20.72	
Peso volumétrico seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.579		1.633		1.690		1.610	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo Wop%	16.5
Densidad seca máxima $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.666



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - García Moreno  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P7

COORDENADAS: E = 772342.46 m N = 9856496.03 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 24/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

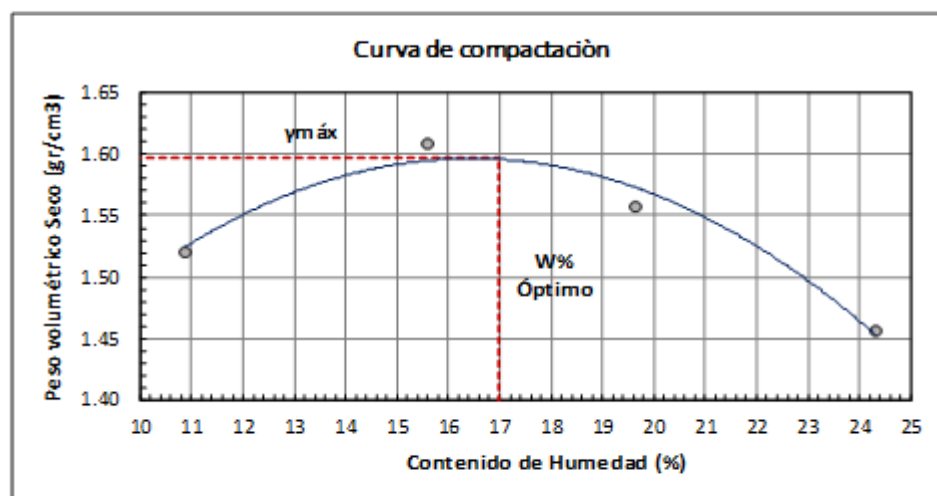
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	10	15	20	25
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8928.8	9291.2	9299.4	9191.2
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3501.8	3864.2	3872.4	3764.2
Peso unitario húmedo γm (gr/cm <sup>3</sup> )	1.686	1.860	1.864	1.812

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	Y-1	F-3	W-2	B-8	6-T	R-5	F-5	C-7
Peso del recipiente (gr)	56.35	55.72	53.07	41.84	45.84	43.19	53.78	41.91
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	184.35	210.06	192.97	150.29	227.59	204.59	293.02	258.50
Peso recipiente+suelo seco (gr)	171.91	194.78	173.80	135.90	197.70	178.11	246.07	216.24
Peso del suelo seco (gr)	115.56	139.06	120.73	94.06	151.86	134.92	192.29	174.33
Peso del agua (gr)	12.44	15.28	19.17	14.39	29.89	26.48	46.95	42.26
Contenido de humedad (w%)	10.76	10.99	15.88	15.30	19.68	19.63	24.42	24.24
Cont. de humedad promedio (w%)	10.88		15.59		19.65		24.33	
Peso volumétrico seco γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.520		1.609		1.558		1.457	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo Wop%	17
Densidad seca máxima γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.597



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



**PROYECTO:** Tesis de grado **COORDENADAS:** E = 773118.22 m N = 9857547.18 m  
**UBICACIÓN:** Vía García Moreno - Chiquicha **NORMA:** AASHTO-T-180  
**MATERIAL:** Subrasante **FECHA:** 24/11/2020  
**MUESTRA:** P8

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

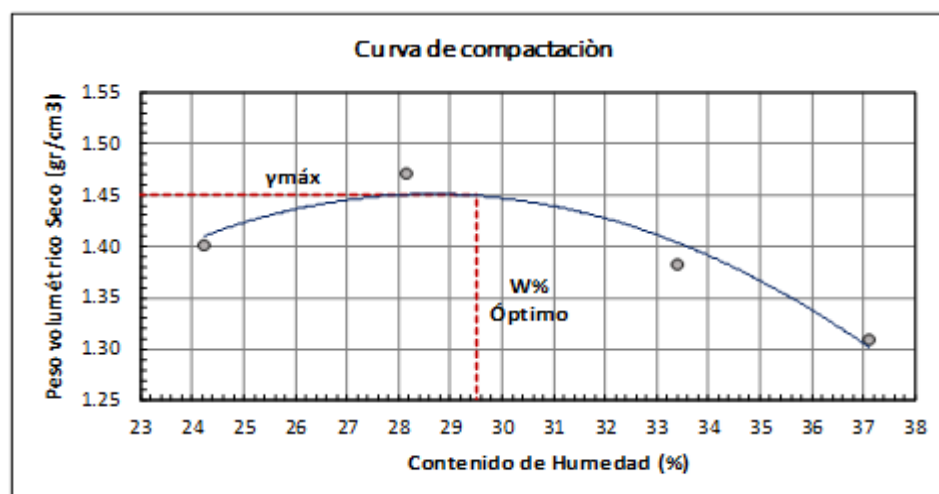
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	24	28	32	36
Peso molde+suelo húmedo (gr)	9046.4	9342.6	9259.6	9159.4
Peso suelo húmedo W <sub>m</sub> (gr)	3619.4	3915.6	3832.6	3732.4
Peso unitario húmedo γ <sub>m</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.742	1.885	1.845	1.797

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	2-R	1-P	W-3	C-9	H-1	D-5	C-8	P-5
Peso del recipiente (gr)	43.64	52.94	53.16	43.19	43.39	65.57	42.59	39.59
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	166.36	223.45	199.21	189.23	180.32	212.29	270.76	246.61
Peso recipiente+suelo seco (gr)	142.43	190.15	167.19	157.11	146.15	175.51	208.71	190.83
Peso del suelo seco (gr)	98.79	137.21	114.03	113.92	102.76	109.94	166.12	151.24
Peso del agua (gr)	23.93	33.30	32.02	32.12	34.17	36.78	62.05	55.78
Contenido de humedad (w%)	24.22	24.27	28.08	28.20	33.25	33.45	37.35	36.88
Cont. de humedad promedio (w%)	24.25		28.14		33.35		37.12	
Peso volumétrico seco γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.402		1.471		1.384		1.310	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo W <sub>op</sub> %	29.5
Densidad seca máxima γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.451



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía Chiquicha - El Rosario  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P9

COORDENADAS: E = 773091.58 m N = 9860275.53 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 25/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

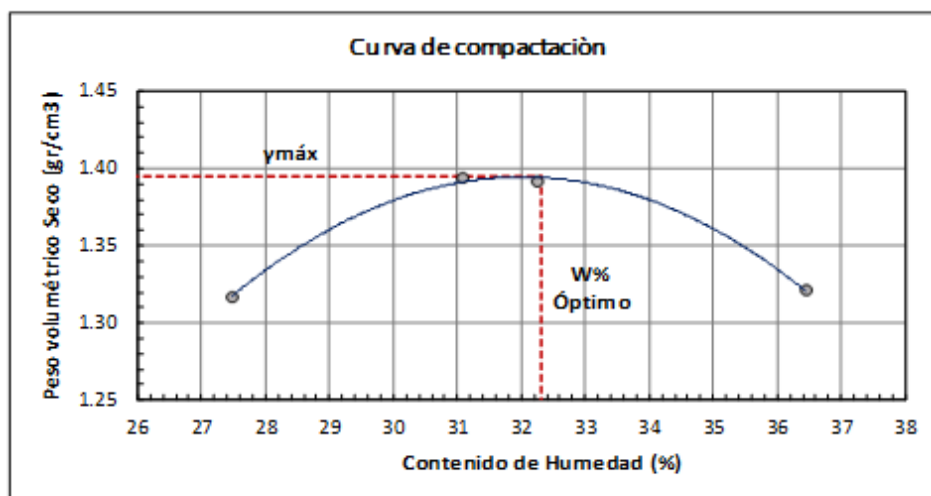
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	24	28	32	36
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8915.8	9223.8	9249.6	9172.2
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3488.8	3796.8	3822.6	3745.2
Peso unitario húmedo γm (gr/cm <sup>3</sup> )	1.679	1.828	1.840	1.803

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	P-4	H-2	6-A	D-8	2-F	R-4	D-1	C-6
Peso del recipiente (gr)	48.99	43.24	38.22	46.72	47.27	43.12	44.74	41.85
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	185.32	178.07	197.29	192.42	171.27	190.20	219.20	199.52
Peso recipiente+suelo seco (gr)	155.56	149.36	158.73	158.64	141.45	153.86	172.30	157.70
Peso del suelo seco (gr)	106.57	106.12	120.51	111.92	94.18	110.74	127.56	115.85
Peso del agua (gr)	29.76	28.71	38.56	33.78	29.82	36.34	46.90	41.82
Contenido de humedad (w%)	27.93	27.05	32.00	30.18	31.66	32.82	36.77	36.10
Cont. de humedad promedio (w%)	27.49		31.09		32.24		36.43	
Peso volumétrico seco γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.317		1.394		1.392		1.321	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo W <sub>op</sub> %	32.3
Densidad seca máxima γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.395



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía El Rosario - Chiquicha  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P10

COORDENADAS: E = 773298.76 m N = 9858855.09 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 25/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

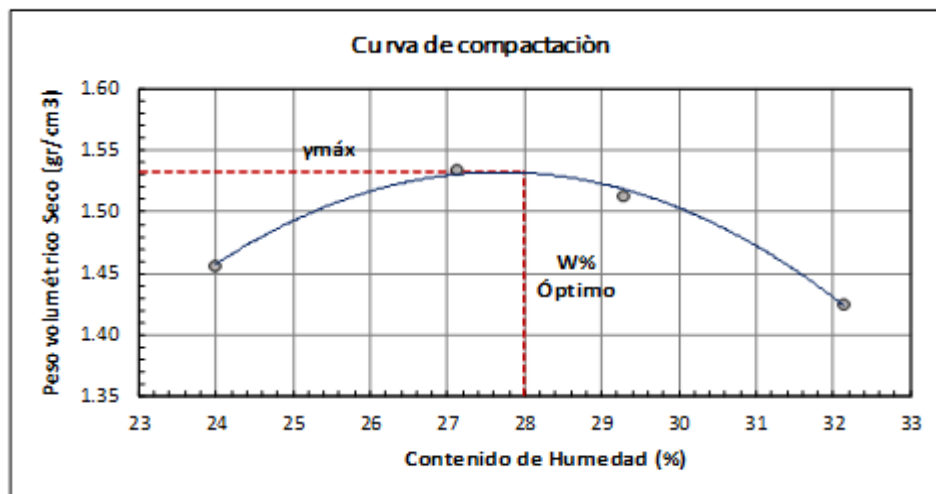
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	20	25	30	35
Peso molde+suelo húmedo (gr)	9179.8	9481.4	9492.2	9340.0
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3752.8	4054.4	4065.2	3913
Peso unitario húmedo γm (gr/cm <sup>3</sup> )	1.807	1.952	1.957	1.884

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	W-3	P-4	6-T	B-8	C-8	Y-1	H-2	2-R
Peso del recipiente (gr)	53.17	49.89	45.73	41.80	42.81	56.35	43.23	43.50
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	248.55	243.49	170.88	161.91	188.85	227.24	222.97	223.19
Peso recipiente+suelo seco (gr)	210.12	206.62	143.81	136.64	155.95	188.34	179.22	179.52
Peso del suelo seco (gr)	156.95	156.73	98.08	94.84	113.14	131.99	135.99	136.02
Peso del agua (gr)	38.43	36.87	27.07	25.27	32.90	38.90	43.75	43.67
Contenido de humedad (w%)	24.49	23.52	27.60	26.64	29.08	29.47	32.17	32.11
Cont. de humedad promedio (w%)	24.01		27.12		29.28		32.14	
Peso volumétrico seco γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.457		1.535		1.514		1.426	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo Wop%	28
Densidad seca máxima γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.532



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Vía Chiquicha - García Moreno  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P11

COORDENADAS: E = 774637.45 m N = 9859519.81 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 26/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

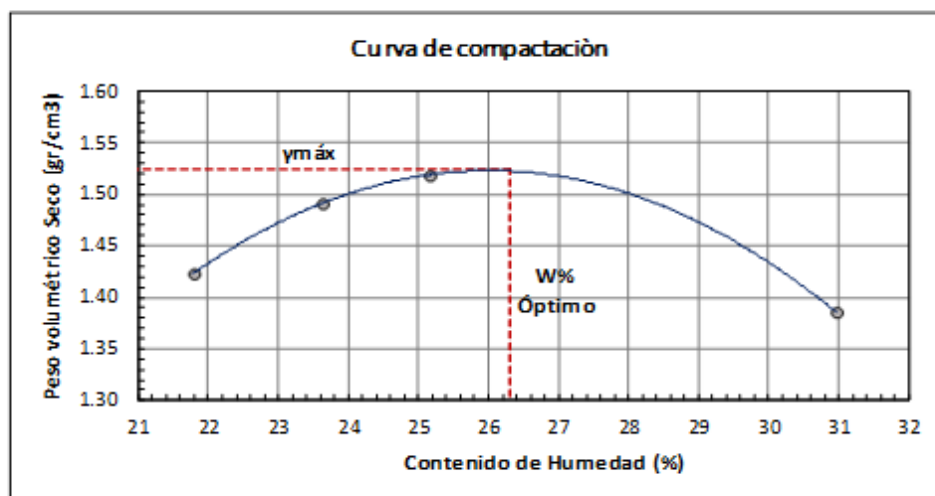
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	20	24	28	32
Peso molde+suelo húmedo (gr)	9025.8	9258.2	9377.0	9194.8
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3598.8	3831.2	3950	3767.8
Peso unitario húmedo $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.732	1.844	1.901	1.814

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	R-5	1-P	D-1	2-F	W-2	C-7	R-4	D-8
Peso del recipiente (gr)	43.20	52.93	44.73	47.27	53.07	41.94	43.08	46.72
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	194.99	223.19	204.62	174.04	243.60	179.73	271.52	299.90
Peso recipiente+suelo seco (gr)	167.49	193.14	173.64	150.15	204.86	152.30	216.74	240.85
Peso del suelo seco (gr)	124.29	140.21	128.91	102.88	151.79	110.36	173.66	194.13
Peso del agua (gr)	27.50	30.05	30.98	23.89	38.74	27.43	54.78	59.05
Contenido de humedad (w%)	22.13	21.43	24.03	23.22	25.52	24.86	31.54	30.42
Cont. de humedad promedio (w%)	21.78		23.63		25.19		30.98	
Peso volumétrico seco $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.423		1.492		1.519		1.385	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo W <sub>op</sub> %	26.3
Densidad seca máxima $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.524



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



PROYECTO: Tesis de grado  
UBICACIÓN: Via Garcia - Moreno Salasaca  
MATERIAL: Subrasante  
MUESTRA: P12

COORDENADAS: E = 774190.26 m N = 9854846.91 m  
NORMA: AASHTO-T-180  
FECHA: 26/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO TIPO "B"**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Número de Golpes	56	Altura de caída (plg)	18	Ø int. del molde (cm)	15.1
Número de Capas	5	Peso del martillo (lb)	10	h. del molde (cm)	11.6
Energía compactación (lb*pie/pie <sup>3</sup> )	55986	Peso molde sin collarín (gr)	5427	Vol. del molde (cm <sup>3</sup> )	2077

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

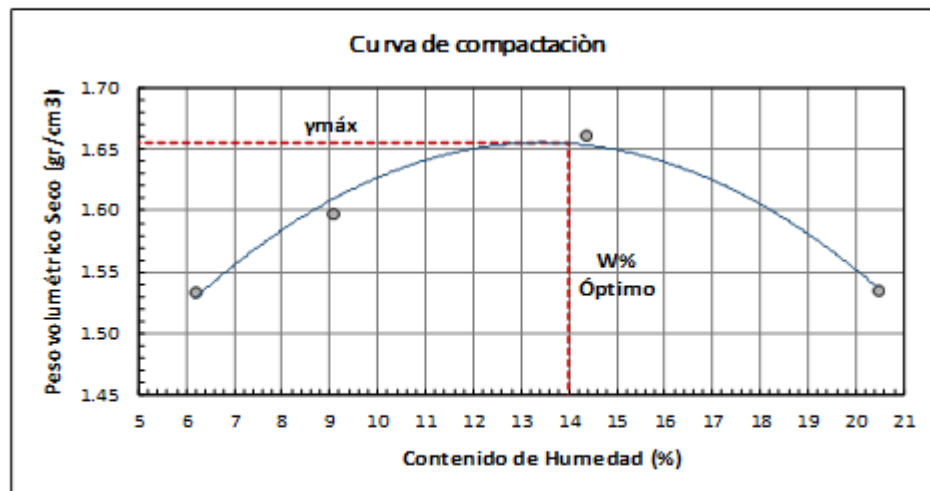
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de la muestra (gr)	5000	5000	5000	5000
Humedad inicial añadida (%)	20	24	28	32
Peso molde+suelo húmedo (gr)	8810.8	9047.8	9371.8	9269.8
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3383.8	3620.8	3944.8	3842.8
Peso unitario húmedo γm (gr/cm <sup>3</sup> )	1.629	1.743	1.899	1.850

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

Recipiente N°	4-A	C-5	W-1	F-3	F-5	D-5	P-5	D-7
Peso del recipiente (gr)	46.85	46.01	53.52	55.69	53.85	65.58	39.78	46.50
Peso recipiente+suelo húmedo (gr)	203.85	230.70	184.19	210.02	207.60	238.09	295.64	222.02
Peso recipiente+suelo seco (gr)	194.65	220.07	173.29	197.21	188.59	216.21	252.20	192.28
Peso del suelo seco (gr)	147.80	174.06	119.77	141.52	134.74	150.63	212.42	145.78
Peso del agua (gr)	9.20	10.63	10.90	12.81	19.01	21.88	43.44	29.74
Contenido de humedad (w%)	6.22	6.11	9.10	9.05	14.11	14.53	20.45	20.40
Cont. de humedad promedio (w%)	6.17		9.08		14.32		20.43	
Peso volumétrico seco γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.534		1.598		1.661		1.536	

**DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA**

Cont. de humedad óptimo Wop%	14
Densidad seca máxima γd (gr/cm <sup>3</sup> )	1.655



Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FA CUL TAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVL**



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - Benitez  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P1

**COORDENADAS:** E = 769109.48 m N = 9853582.38 m  
**NORMA:** AA SHTO-T-193  
**FECHA:** 26/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AA SHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 12.5%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

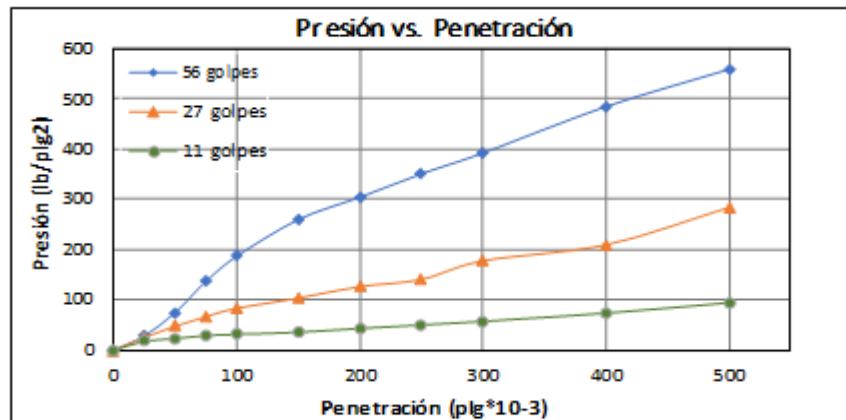
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. humedo (gr)	10103.2	10380.0	9985.0	10319.6	9608.0	9995.0
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo humedo (gr)	4239	4516	4020	4354	3833	4220
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.842	1.962	1.747	1.892	1.665	1.834
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.625	1.617	1.534	1.536	1.449	1.464
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.621		1.535		1.456	
Agua absorbida (%)	6.53		8.32		10.10	
Esponjamiento	0.0044 plg		0.0084 plg		0.0016 plg	

**CONTENDOS DE HUMEDAD**

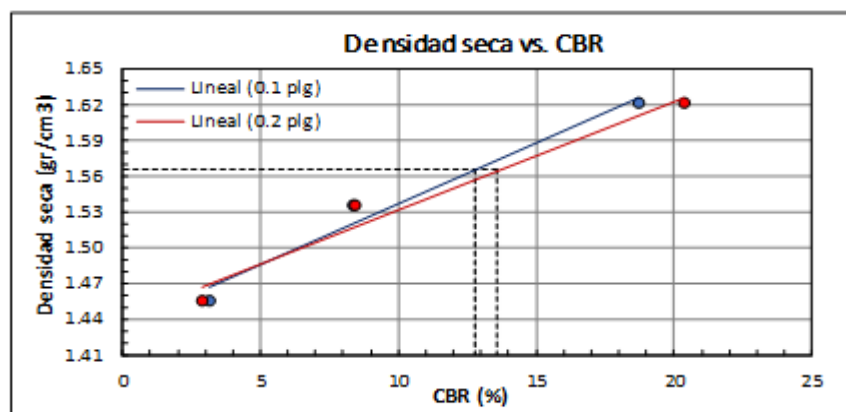
Recipiente N°	D-7	W-5	W-1	C-7	C-5	P-5	P-3	C-6	C-9	C-7	D-8	2-R
Peso del recipiente (gr)	46.30	52.68	53.47	41.86	46.24	49.63	39.85	41.73	43.30	41.58	46.25	43.39
Peso recipiente+S. Humedo (gr)	151.86	149.70	267.88	222.65	116.75	113.50	218.87	262.24	186.69	184.21	212.34	186.74
Peso recipiente+S. seco (gr)	139.18	138.50	230.23	190.85	108.21	105.70	184.70	221.44	168.27	165.40	178.49	158.09
Peso del suelo seco (gr)	92.88	85.82	176.76	148.99	61.97	56.07	144.85	179.71	124.97	123.82	132.24	114.70
Peso del agua (gr)	12.68	11.20	37.65	31.80	8.54	7.80	34.17	40.80	18.42	18.81	33.85	28.65
Cont. Humedad (W%)	13.65	13.05	21.30	21.34	13.78	13.91	23.59	22.70	14.74	15.19	25.60	24.98
Cont. Hum. Promedio (W%)	13.35		21.32		13.85		23.15		14.97		25.29	

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez**

CARGA DE PENETRACIÓN														
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min				Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)						
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)					Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	
			Leida	Correg.			Leida	Correg.			Leida	Correg.		
mm	plg*10-3	kg	lb/plg <sup>2</sup>	%	kg	lb/plg <sup>2</sup>	%	kg	lb/plg <sup>2</sup>	%				
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00			
0.64	25	38.7	28.44			35.1	25.79			24.0	17.63			
1.27	50	101.8	74.79			65.3	47.97			31.6	23.22			
1.91	75	186.3	136.87			91.3	67.08			40.0	29.39			
2.54	100	254.6	187.05	187.05	18.70	113.8	83.61	83.61	8.36	43.2	31.74	31.74	3.17	
3.81	150	354.6	260.51			141.6	104.03			48.8	35.85			
5.08	200	415.3	305.11	305.11	20.34	172.8	126.95	126.95	8.46	59.2	43.49	43.49	2.90	
6.35	250	478.6	351.61			192.2	141.20			68.5	50.32			
7.62	300	535.4	393.34			242.8	178.38			78.4	57.60			
10.16	400	661.3	485.84			286.3	210.34			100.5	73.83			
12.70	500	762.4	560.11			387.8	284.90			128.5	94.40			



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	18.70	8.36	3.17
	0.2 plg	20.34	8.46	2.90
Densidad seca (γd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.621	1.535	1.456



Densidad seca máxima (γd máx) = 1.648 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1plg	% CBR - 0.2plg	% CBR Mayor
95% γd máx =	1.566	12.8 ≈ 13	13.6 ≈ 14
NOTA : El valor de soporte CBR es = 14%			

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FA CUL TAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVL**



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Benitez- Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P2

**COORDENADAS:** E = 768296.42 m N = 9852415.75 m  
**NORMA:** A.ASHTO-T-193  
**FECHA:** 26/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 13%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

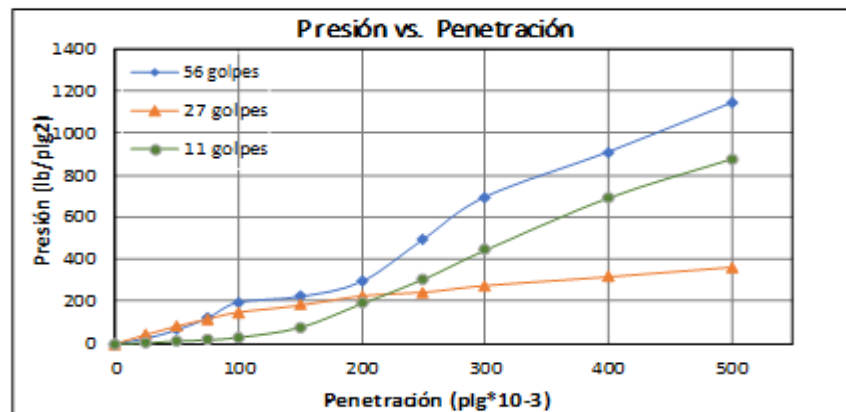
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. humedo (gr)	10071.7	10268.7	9996.3	10284.1	9723.3	10124.3
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo humedo (gr)	4207	4404	4031	4319	3948	4349
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.828	1.914	1.751	1.876	1.716	1.890
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.574	1.596	1.556	1.554	1.523	1.543
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.585		1.555		1.533	
Agua absorbida (%)	4.68		7.14		10.16	
Esponjamiento	0.0063 p/g		0.0068 p/g		0.0036 p/g	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

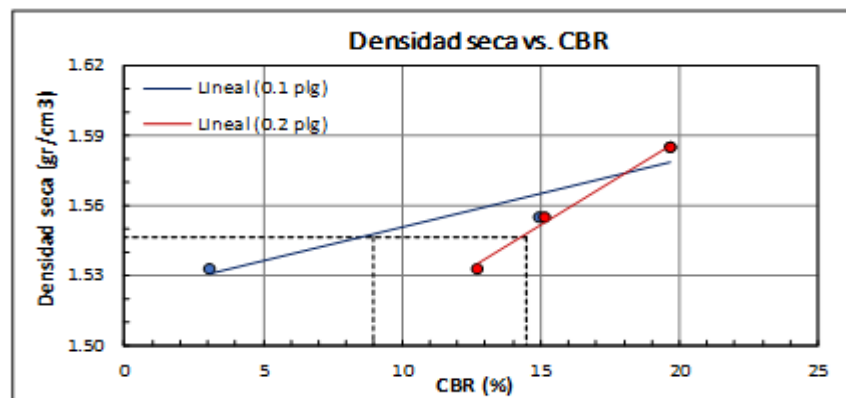
Recipiente N°	4-B	1-T	3-T	8-B	11-B	1-B	D-3	11-C	8-B	3-T	1-T	1-D
Peso del recipiente (gr)	31.60	30.32	28.08	32.19	26.91	33.03	27.44	26.90	32.18	28.09	30.30	33.03
Peso recipiente+S. Humedo (gr)	112.23	137.40	149.80	155.30	134.05	145.73	134.41	131.76	108.24	111.55	159.62	151.03
Peso recipiente+S. seco (gr)	101.03	122.56	129.20	135.22	121.73	133.50	116.23	113.55	99.64	102.26	136.21	129.11
Peso del suelo seco (gr)	69.43	92.24	101.12	103.03	94.82	100.47	88.79	86.65	67.46	74.17	105.91	96.08
Peso del agua (gr)	11.20	14.84	20.60	20.08	12.32	12.23	18.18	18.21	8.60	9.29	23.41	21.92
Cont. Humedad (W%)	16.13	16.09	20.37	19.49	12.99	12.17	20.48	21.02	12.75	12.53	22.10	22.81
Cont. Hum. Promedio (W%)	16.11		19.93		12.58		20.75		12.64		22.46	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN														
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga:				1.27 mm/min				Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)		
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)				
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	
Leída	Correg.		Leída	Correg.			Leída	Correg.						
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00			
0.64	25	34.3	25.21			58.9	43.27			6.2	4.55			
1.27	50	90.0	66.12			113.6	83.46			17.8	13.08			
1.91	75	165.4	121.51			160.3	117.77			25.1	18.44			
2.54	100	268.2	197.04	197.04	19.70	203.6	149.58	149.578	14.96	41.5	30.49	30.49	3.05	
3.81	150	304.8	223.93			248.5	182.56			105.6	77.58			
5.08	200	402.2	295.48	295.48	19.70	309.4	227.31	227.31	15.15	260.1	191.09	191.09	12.74	
6.35	250	676.7	497.15			332.7	244.42			418.0	307.09			
7.62	300	949.5	697.57			375.2	275.65			606.1	445.28			
10.16	400	1240.9	911.65			432.2	317.52			945.6	694.70			
12.70	500	1558.6	1145.05			493.5	362.56			1197.5	879.76			



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	19.70	14.96	3.05
	0.2 plg	19.70	15.15	12.74
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.585	1.555	1.533



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.628 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1 plg	% CBR - 0.2 plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.547	9	14.6 ≈ 15
NOTA : El valor de soporte CBR es = 15%			

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P3

**COORDENADAS:** E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
**NORMA:** AASHTO-T-193  
**FECHA:** 30/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 21.4%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

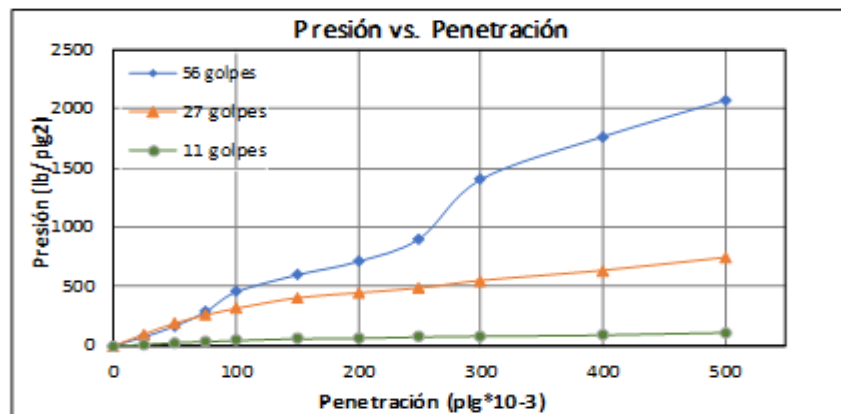
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	9943.9	10161.1	9925.1	10142.3	9353.5	9722.5
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4079	4297	3960	4177	3579	3948
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.773	1.867	1.720	1.815	1.555	1.715
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.466	1.447	1.424	1.408	1.299	1.310
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.456		1.416		1.304	
Agua absorbida (%)	5.32		5.49		10.31	
Esponjamiento	0.0236 plg		0.0144 plg		0.0516 plg	

**CONTENDOS DE HUMEDAD**

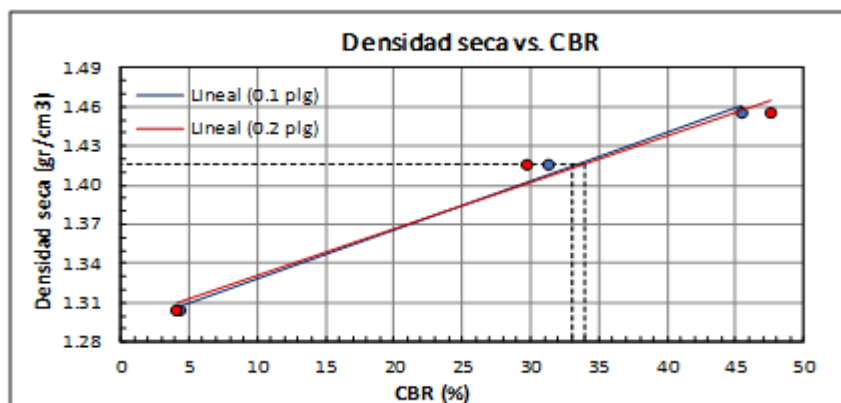
Recipiente N°	4-B	L-1	W-3	W-2	H-1	C-6	F-5	D-5	C-9	6-A	C-6	P-5
Peso del recipiente (gr)	31.57	23.52	53.29	53.08	43.44	41.86	53.81	65.58	43.21	38.26	41.82	39.81
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	125.49	125.41	221.92	206.27	206.14	212.15	279.81	289.19	207.87	176.88	201.70	209.47
Peso recipiente+S. seco (gr)	108.80	108.23	185.66	170.34	177.78	183.13	229.69	238.55	180.69	154.18	163.13	170.18
Peso del suelo seco (gr)	77.23	84.71	132.37	117.26	134.34	141.27	175.88	172.97	137.48	115.92	121.31	130.37
Peso del agua (gr)	16.69	17.18	36.26	35.93	28.36	29.02	50.12	50.64	27.18	22.70	38.57	39.29
Cont. Humedad (W%)	21.61	20.28	27.39	30.64	21.11	20.54	28.50	29.28	19.77	19.58	31.79	30.14
Cont. Hum. Promedio (W%)	20.95		29.02		20.83		28.89		19.68		30.97	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga:			1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)			
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
Leída	Correg.		Leída	Correg.			Leída	Correg.					
mm	p lg*10-3	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	104.2	76.59			133.4	98.00			15.6	11.46		
1.27	50	226.9	166.70			258.8	190.13			34.0	24.98		
1.91	75	387.2	284.46			351.7	258.38			47.6	34.97		
2.54	100	618.2	454.17	454.17	45.42	427.1	313.78	313.776	31.38	59.4	43.64	43.64	4.36
3.81	150	815.6	599.19			549.2	403.48			78.1	57.38		
5.08	200	970.2	712.77	712.77	47.52	606.5	445.58	445.58	29.71	82.4	60.54	60.54	4.04
6.35	250	1233.1	905.92			661.8	486.20			97.1	71.34		
7.62	300	1911.5	1404.32			746.8	548.65			106.2	78.02		
10.16	400	2405.6	1767.31			863.4	634.31			118.6	87.13		
12.70	500	2825.2	2075.58			1010.8	742.60			145.6	106.97		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	45.42	31.38	4.36
	0.2 plg	47.52	29.71	4.04
Densidad Seca (γd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.456	1.416	1.304



Densidad seca máxima (γd máx) = 1.491 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1plg	% CBR - 0.2plg	% CBR Mayor
95% γd máx=	1.416	33	34

NOTA : El valor de soporte CBR es = 34%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via El Rosario - Salasaca  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P4

**COORDENADAS:** E = 770690.96 m N = 9855937.38 m  
**NORMA:** A.ASHTO-T-193  
**FECHA:** 30/11/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 14.6%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

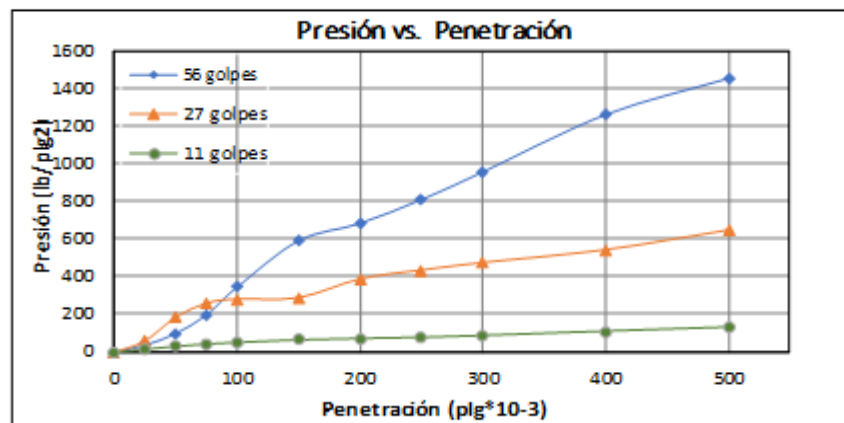
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10153.4	10339.2	10062.8	10332.6	9603.0	9955.2
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4289	4475	4097	4367	3828	4180
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.864	1.944	1.780	1.898	1.663	1.816
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.624	1.640	1.554	1.564	1.478	1.480
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.632		1.559		1.479	
Agua absorbida (%)	4.33		6.58		9.20	
Esponjamiento	0.0024 plg		0.0100 plg		0.0024 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

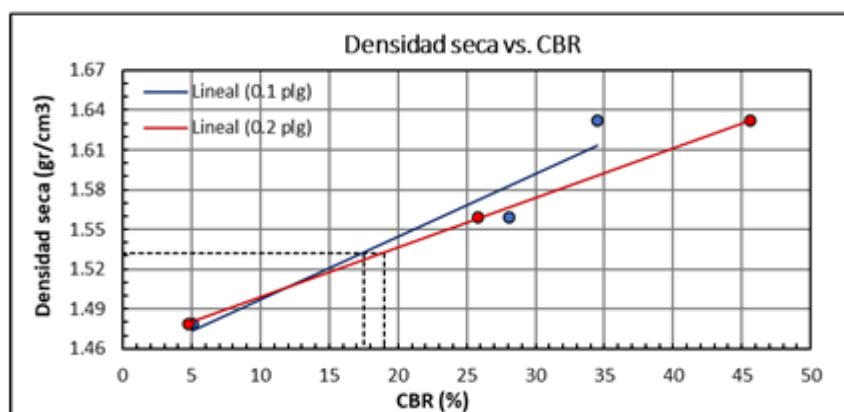
Recipiente N°	D-7	H-2	1-D	8-B	H-1	R-4	C-5	B-8	1-P	W-1	4-M	P-1
Peso del recipiente (gr)	46.46	43.24	33.10	32.19	43.38	42.89	46.50	41.82	52.93	53.52	23.62	23.04
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	202.54	206.85	166.90	179.31	167.41	185.91	207.54	211.10	222.63	215.69	141.36	143.81
Peso recipiente+S. seco (gr)	182.27	185.96	146.45	155.70	151.93	167.39	179.68	180.84	203.63	197.63	119.88	121.12
Peso del suelo seco (gr)	135.81	142.72	113.35	123.51	108.55	124.50	133.18	139.02	150.70	144.11	96.26	98.08
Peso del agua (gr)	20.27	20.89	20.45	23.61	15.48	18.52	27.86	30.26	19.00	18.06	21.48	22.69
Cont. Humedad (W%)	14.93	14.64	18.04	19.12	14.26	14.88	20.92	21.77	12.61	12.53	22.31	23.13
Cont. Hum. Promedio (W%)	14.78		18.58		14.57		21.34		12.57		22.72	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min				Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)					
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
Leida	Correg.		Leida	Correg.			Leida	Correg.					
mm	plg*10-3	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	50.7	37.26			80.7	59.29			21.6	15.87		
1.27	50	134.8	99.03			250.2	183.81			41.5	30.49		
1.91	75	268.5	197.26			352.3	258.82			57.9	42.54		
2.54	100	469.2	344.71	344.71	34.47	382.2	280.79	280.79	28.08	68.7	50.47	50.47	5.05
3.81	150	805.6	591.85			392.3	288.21			87.2	64.06		
5.08	200	931.7	684.49	684.49	45.63	526.6	386.88	386.88	25.79	97.2	71.41	71.41	4.76
6.35	250	1103.5	810.70			590.1	433.53			105.3	77.36		
7.62	300	1304.4	958.30			644.3	473.35			118.0	86.69		
10.16	400	1718.9	1262.82			737.1	541.52			148.1	108.80		
12.70	500	1980.1	1454.71			878.2	645.18			176.7	129.82		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	34.47	28.08	5.05
	0.2 plg	45.63	25.79	4.76
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.632	1.559	1.479



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.613 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1 plg	% CBR - 0.2 plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.532	17.4 ≈ 17	19
NOTA : El valor de soporte CBR es = 19%			

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez





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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Salasaca - Garcia Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P5

**COORDENADAS:** E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
**NORMA:** AASHTO-T-193  
**FECHA:** 02/12/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 18.8%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

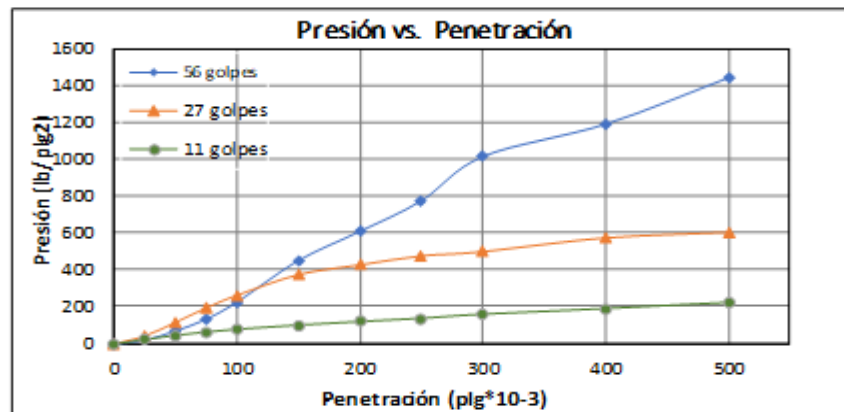
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	9962.0	10117.6	9765.2	10021.0	9430.2	9715.2
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4098	4253	3800	4056	3655	3940
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.780	1.848	1.651	1.762	1.588	1.712
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.541	1.563	1.431	1.435	1.375	1.362
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.552		1.433		1.368	
Agua absorbida (%)	3.80		6.73		7.80	
Esponjamiento	0.0255 plg		0.0156 plg		0.0088 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

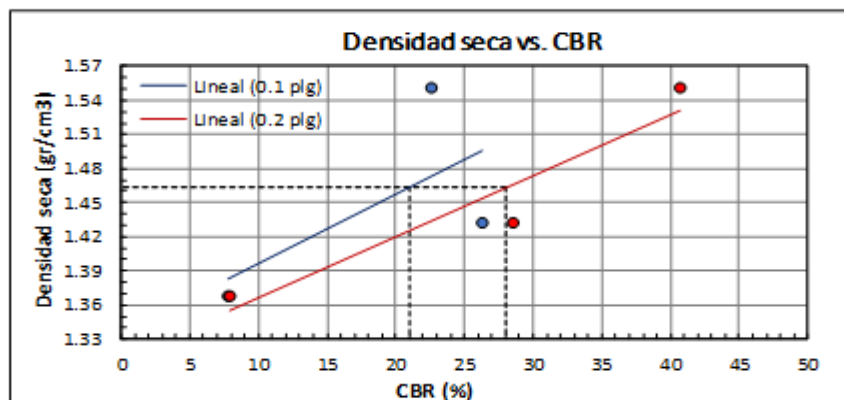
Recipiente N°	D-1	F-5	4-A	W-3	Y-1	R-4	R-6	D-1	W-3	C-A	W-2	6-A
Peso del recipiente (gr)	45.04	53.92	46.78	53.21	59.61	42.91	42.87	44.97	53.24	53.16	53.12	38.40
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	246.34	270.44	200.33	277.52	203.80	207.92	243.90	243.01	272.74	210.82	272.61	254.11
Peso recipiente+S. seco (gr)	219.30	241.39	176.30	243.34	184.16	186.47	208.04	204.92	243.17	189.77	228.65	208.99
Peso del suelo seco (gr)	174.26	187.47	129.52	190.13	124.55	143.56	165.17	159.95	189.93	136.61	175.53	170.59
Peso del agua (gr)	27.04	29.05	24.03	34.18	19.64	21.45	35.86	38.09	29.57	21.05	43.96	45.12
Cont. Humedad (W%)	15.52	15.50	18.55	17.98	15.77	14.94	21.71	23.81	15.57	15.41	25.04	26.45
Cont. Hum. Promedio (W%)	15.51		18.27		15.36		22.76		15.49		25.75	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min				Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)					
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
mm	plg*10 <sup>-3</sup>		kg	Leída			Correg.	lb/plg <sup>2</sup>			%	kg	
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	26.9	19.77			57.8	42.46			31.4	23.07		
1.27	50	95.0	69.79			158.2	116.22			62.0	45.55		
1.91	75	182.2	133.86			264.7	194.47			85.9	63.11		
2.54	100	308.5	226.64	226.64	22.66	357.2	262.42	262.423	26.24	105.3	77.36	77.36	7.74
3.81	150	615.5	452.19			510.1	374.75			135.8	99.77		
5.08	200	831.6	610.95	610.95	40.73	582.2	427.72	427.72	28.51	160.7	118.06	118.06	7.87
6.35	250	1057.7	777.06			648.3	476.28			184.7	135.69		
7.62	300	1384.2	1016.93			680.3	499.79			214.1	157.29		
10.16	400	1624.3	1193.32			781.4	574.07			254.8	187.19		
12.70	500	1968.3	1446.04			822.3	604.12			298.8	219.52		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	22.66	26.24	7.74
	0.2 plg	40.73	28.51	7.87
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.552	1.433	1.368



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.541 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1 plg	% CBR - 0.2 plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.464	21	28
NOTA : El valor de soporte CBR es = 28%			

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Garcia Moreno - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P6

**COORDENADAS:** E = 771437.83 m N = 9853349.69 m  
**NORMA:** AASHTO-T-193  
**FECHA:** 02/12/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 16.5%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 15	# 18	# 44
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

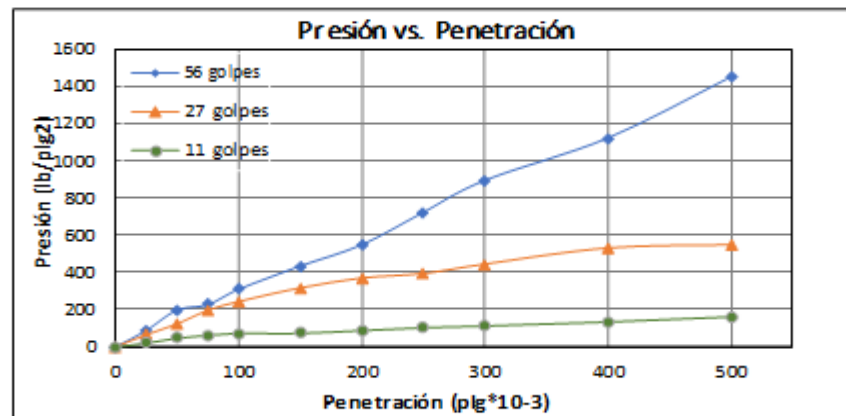
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10477.6	10645.2	10126.0	10411.0	9895.4	10265.6
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4613	4781	4161	4446	4120	4491
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.004	2.077	1.808	1.932	1.790	1.951
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.732	1.712	1.558	1.546	1.546	1.529
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.722		1.552		1.537	
Agua absorbida (%)	3.63		6.85		8.98	
Esporjamiento	0.0118 plg		0.0132 plg		0.0304 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

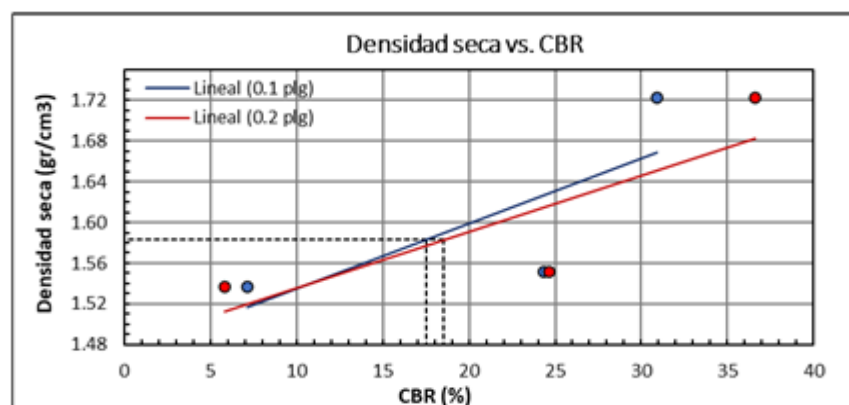
Recipiente N°	6-T	P-4	H-2	1-P	C-8	4-A	D-7	R-5	F-3	2-R	M-2	M-8
Peso del recipiente (gr)	45.75	49.04	43.25	52.94	42.76	46.78	46.42	43.70	55.73	43.45	98.25	94.22
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	232.46	253.98	234.40	307.23	231.66	220.66	219.34	247.05	257.00	193.64	373.03	334.58
Peso recipiente+S. seco (gr)	207.21	226.06	199.54	264.31	205.85	196.33	186.24	204.86	229.28	173.26	312.73	283.22
Peso del suelo seco (gr)	161.46	177.02	156.29	211.37	163.09	149.55	139.82	161.16	173.55	129.81	214.48	189.00
Peso del agua (gr)	25.25	27.92	34.86	42.92	25.81	24.33	33.10	42.19	27.72	20.38	60.30	51.36
Cont. Humedad (W%)	15.64	15.77	22.30	20.31	15.83	16.27	23.67	26.18	15.97	15.70	28.11	27.17
Cont. Hum. Promedio (W%)	15.71		21.31		16.05		24.93		15.84		27.64	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)						
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	119.6	87.91			90.0	66.12			27.5	20.20		
1.27	50	270.2	198.51			168.5	123.79			63.5	46.65		
1.91	75	309.5	227.38			267.9	196.82			83.2	61.12		
2.54	100	420.8	309.15	309.15	30.91	331.3	243.40	243.395	24.34	97.2	71.41	71.41	7.14
3.81	150	591.8	434.78			431.3	316.86			99.2	72.88		
5.08	200	747.2	548.94	548.94	36.60	503.5	369.90	369.90	24.66	119.2	87.57	87.57	5.84
6.35	250	985.1	723.72			536.5	394.15			139.3	102.34		
7.62	300	1218.6	895.26			604.5	444.11			152.4	111.96		
10.16	400	1528.3	1122.79			722.8	531.02			181.3	133.20		
12.70	500	1975.3	1451.19			745.6	547.77			217.7	159.94		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	30.91	24.34	7.14
	0.2 plg	36.60	24.66	5.84
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.722	1.552	1.537



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.666 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1plg	% CBR - 0.2plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.583	17.4 ≈ 17	18.6 ≈ 19

NOTA : El valor de soporte CBR es = 19%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



<b>PROYECTO:</b> Tesis de grado	<b>COORDENADAS:</b> E = 771437.83 m N = 9853349.69 m
<b>UBICACIÓN:</b> Via Salasaca - Garcia Moreno	<b>NORMA:</b> AASHTO-T-193
<b>MATERIAL:</b> Subrasante	<b>FECHA:</b> 05/12/2020
<b>MUESTRA:</b> P7	

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 17%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

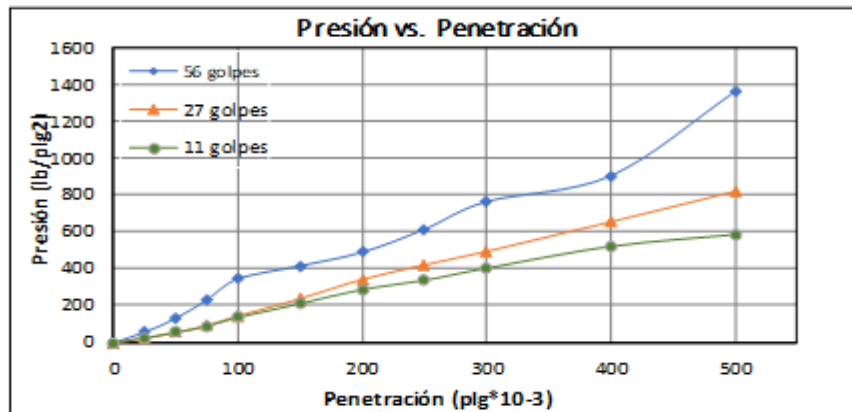
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10001.4	10111.8	9962.6	10149.4	9637.0	9837.2
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4137	4247	3997	4184	3862	4062
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.798	1.845	1.737	1.818	1.678	1.765
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.555	1.539	1.505	1.493	1.444	1.437
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.547		1.499		1.440	
Agua absorbida (%)	2.67		4.67		5.18	
Esponjamiento	0.0040 plg		0.0036 plg		0.0432 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

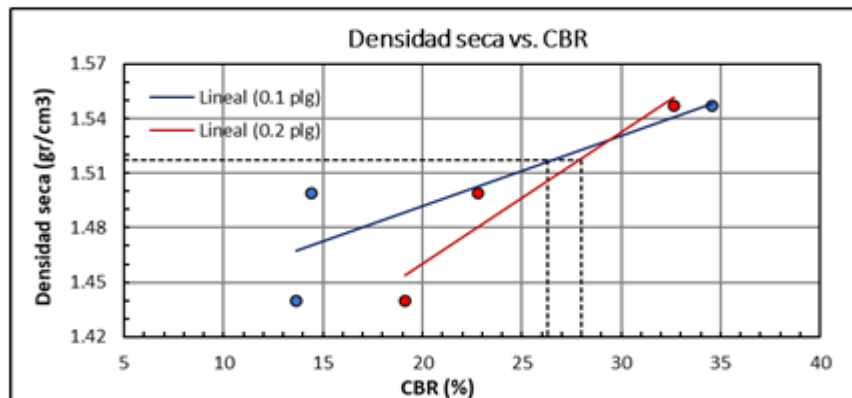
Recipiente N°	Y-1	W-1	C-7	H-1	C-8	C-9	W-5	H-2	D-8	H-1	D-7	2-R
Peso del recipiente (gr)	59.45	53.55	41.98	43.44	42.68	43.34	42.67	43.30	46.83	43.99	46.47	43.44
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	265.14	279.24	265.85	276.84	248.87	258.08	275.09	310.51	230.33	245.60	259.41	279.94
Peso recipiente+S. seco (gr)	237.22	249.05	227.95	238.94	220.99	229.75	231.20	265.46	205.12	217.00	221.54	234.08
Peso del suelo seco (gr)	177.77	195.50	185.97	195.50	178.31	186.41	188.53	222.16	158.29	173.01	175.07	190.64
Peso del agua (gr)	27.92	30.19	37.90	37.90	27.88	28.33	43.89	45.05	25.21	28.60	37.87	45.86
Cont. Humedad (W%)	15.71	15.44	20.38	19.39	15.64	15.20	23.28	20.28	15.93	16.53	21.63	24.06
Cont. Hum. Promedio (W%)	15.57		19.88		15.42		21.78		16.23		22.84	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón: 3 plg <sup>2</sup>			Velocidad de carga: 1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)							
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	78.1	57.40			33.1	24.32			34.6	25.42		
1.27	50	180.0	132.24			75.1	55.17			76.4	56.13		
1.91	75	314.6	231.13			126.2	92.71			122.7	90.14		
2.54	100	470.4	345.59	345.59	34.56	196.5	144.36	144.362	14.44	185.7	136.43	136.43	13.64
3.81	150	567.1	416.63			323.2	237.44			287.2	211.00		
5.08	200	667.2	490.17	490.17	32.68	465.2	341.77	341.77	22.78	390.6	286.96	286.96	19.13
6.35	250	836.2	614.33			571.2	419.64			458.6	336.92		
7.62	300	1040.4	764.35			671.2	493.11			547.6	402.30		
10.16	400	1231.6	904.82			888.2	652.53			707.1	519.48		
12.70	500	1852.8	1361.19			1111.2	816.36			793.3	582.81		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	34.56	14.44	13.64
	0.2 plg	32.68	22.78	19.13
Densidad Seca (γd)	g r/cm <sup>3</sup>	1.547	1.499	1.440



Densidad seca máxima (γd máx) = 1.597 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1plg	% CBR - 0.2plg	% CBR Mayor
95% γd máx=	1.517	26.3 ≈ 26	28

NOTA : El valor de soporte CBR es = 28%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado **COORDENADAS:** E = 773118.22 m N = 9857547.18 m  
**UBICACIÓN:** Via Garcia Moreno - Chiquicha **NORMA:** AASHTO-T-193  
**MATERIAL:** Subrasante **FECHA:** 05/12/2020  
**MUESTRA:** P8

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 29.5%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

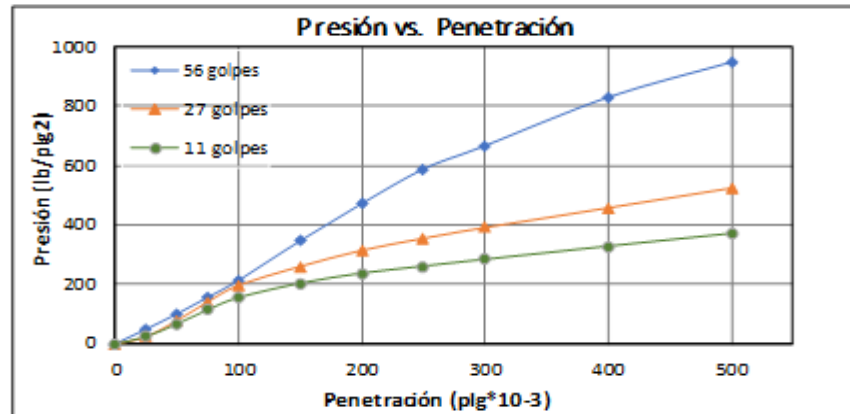
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10158.6	10238.0	9983.8	10159.4	9801.2	9966.2
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4294	4374	4018	4194	4026	4191
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.866	1.900	1.746	1.822	1.749	1.821
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.436	1.443	1.323	1.323	1.323	1.315
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.439		1.323		1.319	
Agua absorbida (%)	1.85		4.37		4.10	
Esponjamiento	0.0063 p/g		0.0040 p/g		0.0064 p/g	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

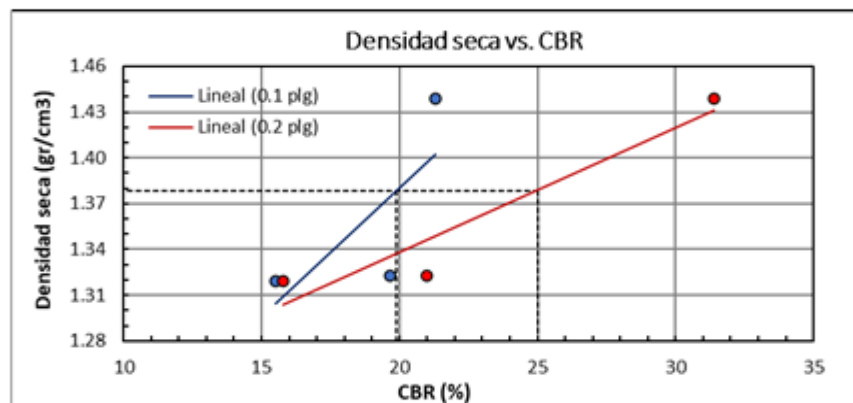
Recipiente N°	F-3	F-8	F-5	R-4	2-R	2-F	R-5	D-8	C-5	C-7	2-G	C-5
Peso del recipiente (gr)	55.63	53.90	53.90	42.95	43.43	47.34	43.26	46.75	46.40	42.04	47.30	46.23
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	311.53	278.16	344.44	232.30	196.83	200.72	281.88	260.96	211.04	231.83	261.32	213.54
Peso recipiente+S. seco (gr)	252.96	226.08	274.35	186.80	159.85	163.37	217.11	201.78	170.99	185.56	201.96	167.02
Peso del suelo seco (gr)	197.33	172.18	220.45	143.85	116.42	116.03	173.85	155.03	124.59	143.52	154.66	120.79
Peso del agua (gr)	58.57	52.08	70.09	45.50	36.98	37.35	64.77	59.18	40.05	46.27	59.36	46.52
Cont. Humedad (W%)	29.68	30.25	31.79	31.63	31.76	32.19	37.26	38.17	32.15	32.24	38.38	38.51
Cont. Hum. Promedio (W%)	29.96		31.71		31.98		37.71		32.19		38.45	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)						
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
Leída	Correg.		Leída	Correg.			Leída	Correg.					
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/p lg <sup>2</sup>		%	kg	lb/p lg <sup>2</sup>		%	kg	lb/p lg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	66.8	49.10			32.1	23.58			33.6	24.68		
1.27	50	136.5	100.28			106.5	78.24			91.2	67.00		
1.91	75	212.5	156.12			191.6	140.76			155.3	114.09		
2.54	100	290.1	213.13	213.13	21.31	267.7	196.67	196.67	19.67	211.0	155.01	155.01	15.50
3.81	150	470.8	345.88			354.7	260.59			276.8	203.36		
5.08	200	640.9	470.85	470.85	31.39	428.2	314.58	314.58	20.97	322.6	237.00	237.00	15.80
6.35	250	798.7	586.78			483.2	354.99			354.6	260.51		
7.62	300	905.6	665.31			532.3	391.06			385.6	283.29		
10.16	400	1127.2	828.12			622.7	457.48			445.6	327.37		
12.70	500	1287.3	945.74			713.5	524.18			503.4	369.83		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	21.31	19.67	15.50
	0.2 plg	31.39	20.97	15.80
Densidad Seca (γd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.439	1.323	1.319



Densidad seca máxima (γd máx) = 1.451 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1 plg	% CBR - 0.2 plg	% CBR Mayor
95% γd máx =	1.378	19.9 ≈ 20	25

NOTA : El valor de soporte CBR es = 25%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez





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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Chiquicha - El Rosario  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P9

**COORDENADAS:** E = 773091.58 m N = 9860275.53 m  
**NORMA:** AASHTO-T-193  
**FECHA:** 08/12/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 32.3%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

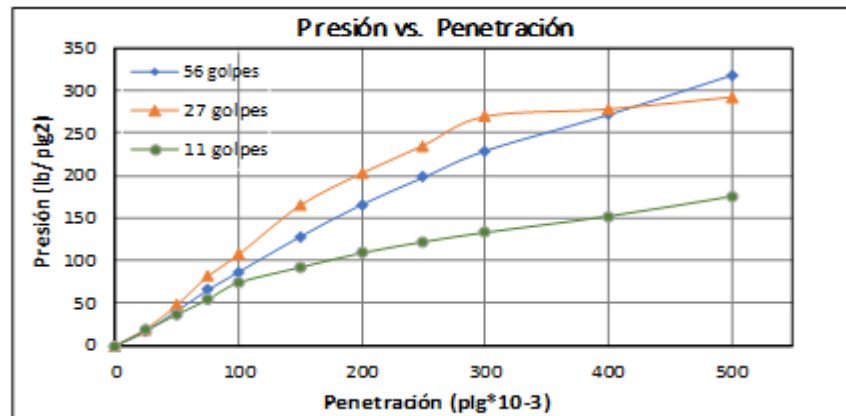
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10026.8	10137.4	10048.6	10200.8	9601.8	9894.4
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4162	4273	4083	4235	3827	4119
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.809	1.857	1.774	1.840	1.663	1.790
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.339	1.363	1.319	1.355	1.247	1.287
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.351		1.337		1.267	
Agua absorbida (%)	2.66		3.73		7.65	
Esponjamiento	0.0193 plg		0.0276 plg		0.0168 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

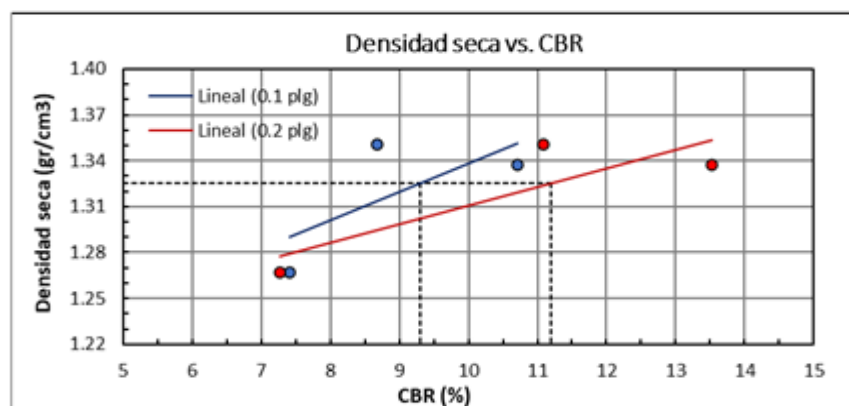
Recipiente N°	W-1	Y-1	H-1	F-3	W-2	1-P	D-1	D-7	C-9	D-5	W-5	R-4
Peso del recipiente (gr)	53.58	59.36	43.43	55.59	53.15	52.94	44.95	46.48	43.25	44.98	53.56	42.95
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	273.81	313.54	261.41	307.73	243.23	282.17	253.98	211.41	248.83	234.15	273.31	256.80
Peso recipiente+S. seco (gr)	216.24	248.04	205.45	238.52	194.05	223.82	199.22	167.65	197.21	187.03	210.77	197.56
Peso del suelo seco (gr)	162.66	188.68	162.02	182.93	140.90	170.88	154.27	121.17	153.96	142.05	157.21	154.61
Peso del agua (gr)	57.57	65.50	55.96	69.21	49.18	58.35	54.76	43.76	51.62	47.12	62.54	59.24
Cont. Humedad (W%)	35.39	34.71	34.54	37.83	34.90	34.15	35.50	36.11	33.53	33.17	39.78	38.32
Cont. Hum. Promedio (W%)	35.05		36.19		34.53		35.81		33.35		39.05	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)						
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	23.2	17.05			26.9	19.76			25.0	18.37		
1.27	50	55.9	41.07			65.3	47.97			50.2	36.88		
1.91	75	89.1	65.46			110.7	81.33			73.6	54.07		
2.54	100	118.0	86.69	86.69	8.67	145.8	107.11	107.114	10.71	100.9	74.13	74.13	7.41
3.81	150	175.0	128.57			224.6	165.01			125.5	92.20		
5.08	200	226.4	166.33	166.33	11.09	276.3	202.99	202.99	13.53	148.5	109.10	109.10	7.27
6.35	250	269.9	198.29			320.8	235.68			166.2	122.10		
7.62	300	312.3	229.44			367.2	269.77			181.3	133.20		
10.16	400	370.2	271.97			378.8	278.29			207.3	152.30		
12.70	500	433.6	318.55			398.2	292.54			238.9	175.51		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	8.67	10.71	7.41
	0.2 plg	11.09	13.53	7.27
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.351	1.337	1.267



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.395 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1 plg	% CBR - 0.2 plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.325	9.3 ≈ 9	11.2 ≈ 11

NOTA : El valor de soporte CBR es = 11%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía El Rosario - Chiquicha  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P10

**COORDENADAS:** E = 773298.76 m N = 9858855.09 m  
**NORMA:** AASHTO-T-193  
**FECHA:** 08/12/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: A.ASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Conterido de humedad óptimo: 28%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

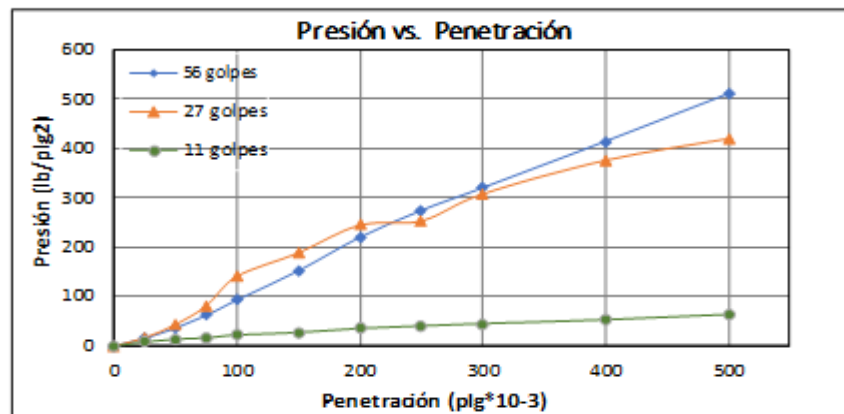
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10254.8	10362.4	10135.2	10329.8	9677.2	9959.8
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4390	4498	4170	4364	3902	4185
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.908	1.954	1.812	1.896	1.696	1.818
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.482	1.488	1.442	1.455	1.372	1.334
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.485		1.449		1.353	
Agua absorbida (%)	2.45		4.67		7.24	
Esponjamiento	0.0275 plg		0.0848 plg		0.0616 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

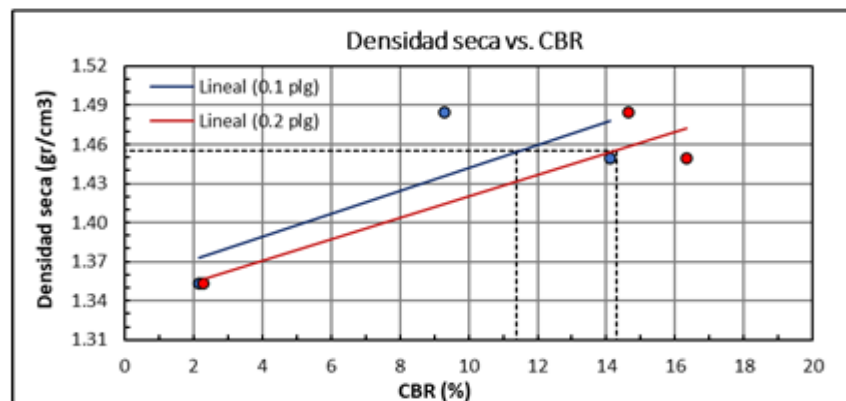
Recipiente N°	6-A	F-3	F-5	D-8	6-T	P-5	1-P	D-5	B-8	C-6	1-L	D-3
Peso del recipiente (gr)	38.39	55.60	53.89	46.79	45.76	40.07	52.94	65.74	41.92	42.08	30.31	27.46
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	178.28	231.59	257.94	236.48	250.88	227.51	282.41	254.17	229.58	213.68	173.83	156.93
Peso recipiente+S. seco (gr)	147.26	192.16	209.60	190.98	209.15	189.11	228.76	210.60	193.74	180.88	135.74	122.25
Peso del suelo seco (gr)	108.87	136.56	155.71	144.19	163.39	149.04	175.82	144.86	151.82	138.80	105.43	94.79
Peso del agua (gr)	31.02	39.43	48.34	45.50	41.73	38.40	53.65	43.57	35.84	32.80	38.09	34.68
Cont. Humedad (W%)	28.49	28.87	31.04	31.56	25.54	25.76	30.51	30.08	23.61	23.63	36.13	36.59
Cont. Hum. Promedio (W%)	28.68		31.30		25.65		30.30		23.62		36.36	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón: 3 plg <sup>2</sup>			Velocidad de carga: 1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)							
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	20.7	15.21			22.3	16.38			10.5	7.71		
1.27	50	49.0	36.00			58.9	43.27			18.3	13.44		
1.91	75	84.1	61.79			110.5	81.18			21.7	15.94		
2.54	100	126.3	92.79	92.79	9.28	192.2	141.20	141.203	14.12	29.5	21.67	21.67	2.17
3.81	150	206.9	152.00			257.2	188.96			35.9	26.37		
5.08	200	299.1	219.74	219.74	14.65	333.6	245.08	245.08	16.34	46.8	34.38	34.38	2.29
6.35	250	372.9	273.96			345.5	253.83			53.6	39.38		
7.62	300	435.6	320.02			420.1	308.63			59.7	43.86		
10.16	400	563.6	414.06			513.1	376.96			70.2	51.57		
12.70	500	694.6	510.30			573.0	420.96			84.3	61.93		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	9.28	14.12	2.17
	0.2 plg	14.65	16.34	2.29
Densidad Seca (γd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.485	1.449	1.353



Densidad seca máxima (γd máx) = 1.532 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1plg	% CBR - 0.2plg	% CBR Mayor
95% γd máx=	1.455	11.4 ≈ 11	14.3 ≈ 14

NOTA : El valor de soporte CBR es = 14%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado **COORDENADAS:** E = 774637.45 m N = 9859519.81 m  
**UBICACIÓN:** Via Chiquicha - Garcia Moreno **NORMA:** AASHTO-T-193  
**MATERIAL:** Subrasante **FECHA:** 11/12/2020  
**MUESTRA:** P11

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: A.ASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 26.3%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 15	# 18	# 44
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

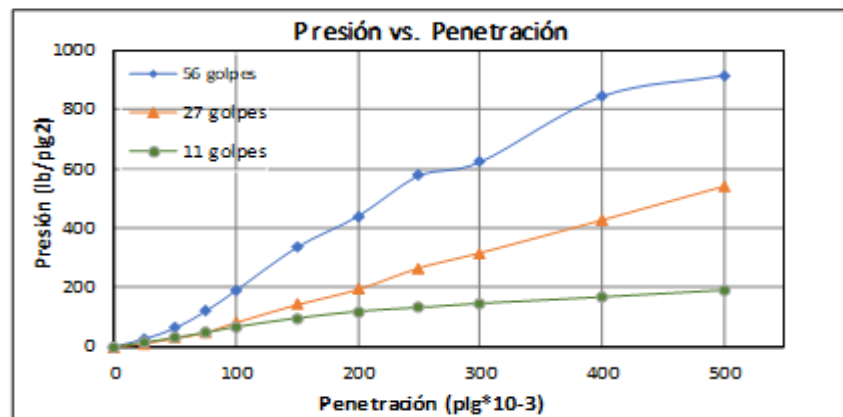
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	9992.2	10150.4	10089.6	10191.8	9585.8	9851.0
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4128	4286	4124	4226	3811	4076
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.794	1.862	1.792	1.836	1.656	1.771
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.495	1.457	1.464	1.393	1.347	1.344
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.476		1.429		1.345	
Agua absorbida (%)	3.83		2.48		6.96	
Esponjamiento	0.0129 plg		0.0120 plg		0.0256 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

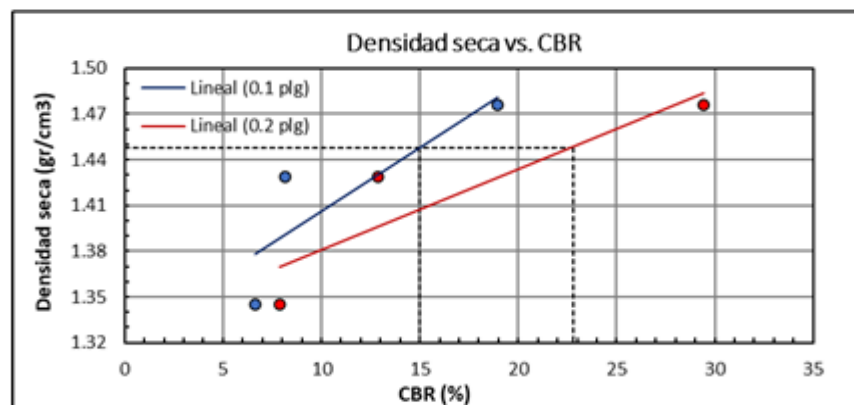
Recipiente N°	H-2	R-5	L-2	C-6	P-7	C-8	2-F	C-9	2-F	2-R	6-T	C-5
Peso del recipiente (gr)	43.28	43.20	43.27	41.90	41.95	42.70	47.11	43.28	47.33	43.45	45.53	46.07
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	242.67	247.68	207.53	206.59	244.21	248.48	183.46	168.62	230.32	225.35	161.80	193.31
Peso recipiente+S. seco (gr)	209.03	214.04	172.66	169.88	207.15	210.90	151.92	137.11	196.45	191.14	133.83	157.67
Peso del suelo seco (gr)	165.75	170.84	129.39	127.98	165.20	168.20	104.81	93.83	149.12	147.69	88.30	111.60
Peso del agua (gr)	33.64	33.64	34.87	36.71	37.06	37.58	31.54	31.51	33.87	34.21	27.97	35.64
Cont. Humedad (W%)	20.30	19.69	26.95	28.68	22.43	22.34	30.09	33.58	22.71	23.16	31.68	31.94
Cont. Hum. Promedio (W%)	19.99		27.82		22.39		31.84		22.94		31.81	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón:		3 plg <sup>2</sup>		Velocidad de carga: 1.27 mm/min			Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)						
Penetración		Molde N°1 (56 Golpes)				Molde N°2 (27 Golpes)				Molde N°3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
Leída	Correg.		Leída	Correg.			Leída	Correg.					
mm	plg*10-3	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	36.7	26.97			15.4	11.31			21.0	15.43		
1.27	50	85.6	62.89			39.1	28.73			41.6	30.56		
1.91	75	163.6	120.19			65.3	47.97			65.1	47.83		
2.54	100	258.2	189.69	189.69	18.97	111.1	81.62	81.6215	8.16	90.6	66.56	66.56	6.66
3.81	150	457.6	336.18			193.1	141.86			130.1	95.58		
5.08	200	600.5	441.17	441.17	29.41	263.4	193.51	193.51	12.90	160.7	118.06	118.06	7.87
6.35	250	786.4	577.74			362.3	266.17			177.6	130.48		
7.62	300	849.3	623.95			431.8	317.23			195.8	143.85		
10.16	400	1151.6	846.04			582.3	427.80			225.3	165.52		
12.70	500	1246.7	915.91			737.2	541.60			255.8	187.93		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	18.97	8.16	6.66
	0.2 plg	29.41	12.90	7.87
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.476	1.429	1.345



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.524 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1 plg	% CBR - 0.2 plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.448	15	22.8 ≈ 23

NOTA : El valor de soporte CBR es = 23%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos Núñez



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Chiquilla - García Moreno  
**MATERIAL:** Subrasante  
**MUESTRA:** P12

**COORDENADAS:** E = 774190.26 m N = 9854846.91 m  
**NORMA:** AASHTO-T-193  
**FECHA:** 11/12/2020

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR**

**ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO**

Tipo: Proctor modificado	Peso del martillo: 10 lb
Norma: AASHTO-T-180	Altura de caída: 18"
Peso de la muestra: 5000 (gr)	Contenido de humedad óptimo: 14%

**DATOS DEL MOLDE**

Molde N°	# 1	# 2	# 3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	27	11
Diámetro del molde (cm)	15.25	15.25	15.25
Altura del molde (cm)	12.60	12.60	12.60
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2301	2301	2301

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

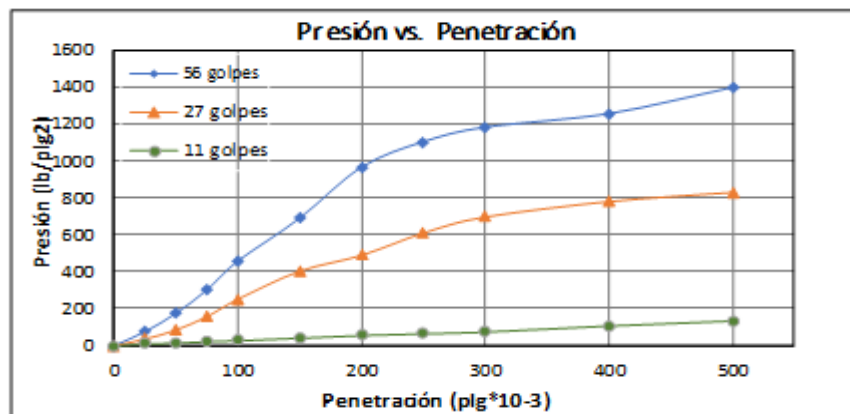
Condiciones	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso molde+S. húmedo (gr)	10231.4	10451.8	10142.8	10425.8	9810.3	10039.2
Peso del molde (gr)	5864.5	5864.5	5965.5	5965.5	5775.0	5775.0
Peso suelo húmedo (gr)	4367	4587	4177	4460	4035	4264
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.897	1.993	1.815	1.938	1.753	1.853
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.690	1.676	1.605	1.607	1.535	1.515
Densidad Seca Prom. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.683		1.606		1.525	
Agua absorbida (%)	5.05		6.77		5.67	
Esponjamiento	0.0388 plg		0.0092 plg		0.0028 plg	

**CONTENIDOS DE HUMEDAD**

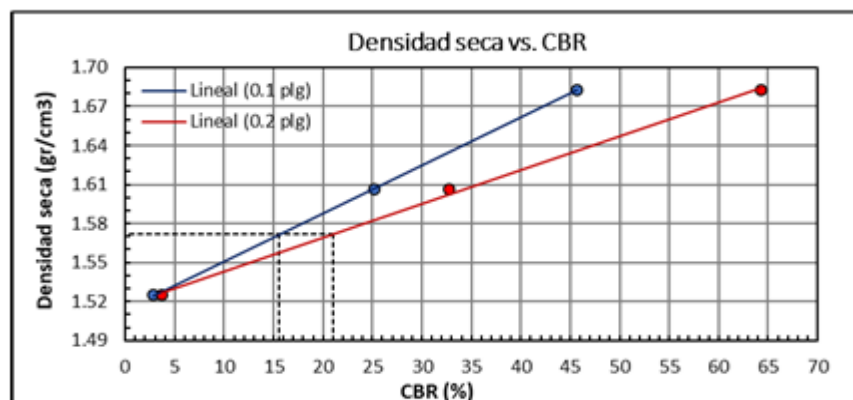
Recipiente N°	B-8	C-9	D-8	C-7	3-T	1-D	R-5	W-1	M-3	M-1	3-S	1-T
Peso del recipiente (gr)	41.83	43.25	46.79	41.99	28.08	33.07	43.20	53.58	23.81	23.85	28.07	30.32
Peso recipiente+S. Húmedo (gr)	245.14	259.01	194.74	228.52	160.85	169.12	208.96	215.77	147.05	149.89	186.97	208.97
Peso recipiente+S. seco (gr)	222.66	235.60	170.90	199.29	145.35	153.51	180.40	188.36	131.79	134.14	157.91	176.50
Peso del suelo seco (gr)	180.83	192.35	124.11	157.30	117.27	120.44	137.20	134.78	107.98	110.29	129.84	146.18
Peso del agua (gr)	22.48	23.41	23.84	29.23	15.50	15.61	28.56	27.41	15.26	15.75	29.06	32.47
Cont. Humedad (W%)	12.43	12.17	19.21	18.58	13.22	12.96	20.82	20.34	14.13	14.28	22.38	22.21
Cont. Hum Promedio (W%)	12.30		18.90		13.09		20.58		14.21		22.30	

**Elaborado por:** Luis Adrián Cevallos Núñez

CARGA DE PENETRACIÓN													
Área del pistón: 3 plg <sup>2</sup>			Velocidad de carga: 1.27 mm/min				Máquina de Compresión Simple (MATRIX WALL)						
Penetración		Molde N° 1 (56 Golpes)				Molde N° 2 (27 Golpes)				Molde N° 3 (11 golpes)			
		Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR	Q carga	Presiones		CBR
			Leída	Correg.			Leída	Correg.			Leída	Correg.	
mm	plg*10 <sup>-3</sup>	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%	kg	lb/plg <sup>2</sup>		%
0.00	0	0.0	0.00			0.0	0.00			0.0	0.00		
0.64	25	103.5	76.07			50.4	37.03			13.9	10.21		
1.27	50	238.6	175.29			116.8	85.81			20.6	15.13		
1.91	75	410.4	301.51			214.6	157.66			30.5	22.41		
2.54	100	621.8	456.82	456.82	45.68	342.8	251.84	251.844	25.18	38.1	27.99	27.99	2.80
3.81	150	938.0	689.12			550.2	404.21			57.5	42.24		
5.08	200	1313.6	965.06	965.06	64.34	668.3	490.98	490.98	32.73	76.3	56.06	56.06	3.74
6.35	250	1500.8	1102.59			832.5	611.61			88.8	65.24		
7.62	300	1606.8	1180.46			950.3	698.15			102.5	75.30		
10.16	400	1707.6	1254.52			1064.3	781.91			147.1	108.07		
12.70	500	1900.5	1396.23			1132.3	831.86			184.4	135.47		



MOLDE N°		# 1	# 2	# 3
CBR (%)	0.1 plg	45.68	25.18	2.80
	0.2 plg	64.34	32.73	3.74
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	1.683	1.606	1.525



Densidad seca máxima (γ<sub>d</sub> máx) = 1.655 g/cm<sup>3</sup>

95% de la densidad seca máxima	% CBR - 0.1plg	% CBR - 0.2plg	% CBR Mayor
95% γ <sub>d</sub> máx =	1.572	15.4 ≈ 15	21

NOTA : El valor de soporte CBR es = 21%

Elaborado por: Luis Adrián Cevallos



**ANEXO C**

**CONTEO VEHICULAR**



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario - Chiquicha

**SENTIDO:** Ambos sentidos  
**FECHA:** Lunes 14 de diciembre de 2020

**CONTEO DE TRÁFICO**

Hora	Livianos	Buses	Camiones				Total veh. 15 min.	Total acumulado	
			2DA	2DB	3-A	Total			
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15	24	0	1	0	0	1	25	23
	7:15 - 7:30	21	1	3	0	0	3	25	48
	7:30 - 7:45	41	0	3	0	1	4	45	93
	7:45 - 8:00	43	1	2	2	0	4	48	141
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15	39	0	3	0	0	3	42	183
	8:15 - 8:30	24	1	4	0	0	4	29	212
	8:30 - 8:45	36	0	2	0	0	2	38	250
	8:45 - 9:00	34	1	1	1	0	2	37	287
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15	23	0	2	0	0	2	25	312
	9:15 - 9:30	38	1	1	0	0	1	40	352
	9:30 - 9:45	26	0	1	2	0	3	29	381
	9:45 - 10:00	33	1	3	1	0	4	38	419
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15	34	0	2	1	1	4	38	457
	10:15 - 10:30	32	1	5	0	0	5	38	495
	10:30 - 10:45	35	0	1	0	0	1	36	531
	10:45 - 11:00	29	1	3	0	0	3	33	564
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15	28	0	1	3	0	4	32	596
	11:15 - 11:30	21	1	3	0	0	3	25	621
	11:30 - 11:45	29	0	2	1	0	3	32	653
	11:45 - 12:00	26	1	1	1	0	2	29	682
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15	31	0	1	0	0	1	32	714
	12:15 - 12:30	36	1	2	0	0	2	39	753
	12:30 - 12:45	37	0	1	1	0	2	39	792
	12:45 - 13:00	30	1	0	0	0	0	31	823
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15	31	0	4	0	0	4	35	858
	13:15 - 13:30	27	1	0	1	0	1	29	887
	13:30 - 13:45	29	0	1	0	0	1	30	917
	13:45 - 14:00	31	1	2	1	0	3	35	952
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15	36	0	1	1	0	2	38	990
	14:15 - 14:30	39	1	0	2	0	2	42	1032
	14:30 - 14:45	28	0	1	1	1	3	31	1063
	14:45 - 15:00	32	1	1	0	0	1	34	1097
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15	34	0	2	3	0	5	39	1136
	15:15 - 15:30	37	1	0	0	0	0	38	1174
	15:30 - 15:45	40	0	2	1	0	3	43	1217
	15:45 - 16:00	38	1	6	0	0	6	45	1262
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15	31	0	3	0	1	4	35	1297
	16:15 - 16:30	36	1	4	0	0	4	41	1338
	16:30 - 16:45	38	0	0	0	0	0	38	1376
	16:45 - 17:00	48	1	1	0	0	1	50	1426
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15	47	0	2	1	0	3	50	1476
	17:15 - 17:30	49	1	0	0	0	0	50	1526
	17:30 - 17:45	51	0	2	1	0	3	54	1580
	17:45 - 18:00	47	1	4	0	0	4	52	1632
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15	39	0	1	0	0	1	40	1672
	18:15 - 18:30	38	1	3	2	1	6	45	1717
	18:30 - 18:45	42	0	0	3	0	3	45	1762
	18:45 - 19:00	43	1	3	0	0	3	47	1809
<b>TOTAL</b>	<b>1661</b>	<b>24</b>	<b>91</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>126</b>	<b>1811</b>	<b>41578</b>	

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos**



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario - Chiquicha

**SENTIDO:** Ambos sentidos  
**FECHA:** Martes 15 de diciembre de 2020

**CONTEO DE TRÁFICO**

Hora	Livianos	Buses	Camiones				Total veh. 15 min.	Total acumulado	
			2DA	2DB	3-A	Total			
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15	27	0	2	1	0	3	30	23
	7:15 - 7:30	21	1	3	0	0	3	25	48
	7:30 - 7:45	36	0	6	0	0	6	42	90
	7:45 - 8:00	39	1	1	2	0	3	43	133
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15	41	0	2	1	0	3	44	177
	8:15 - 8:30	31	1	3	0	1	4	36	213
	8:30 - 8:45	34	0	1	0	0	1	35	248
	8:45 - 9:00	38	2	1	0	0	1	41	289
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15	38	0	2	0	0	2	40	329
	9:15 - 9:30	36	1	1	0	0	1	38	367
	9:30 - 9:45	30	0	2	1	0	3	33	400
	9:45 - 10:00	36	1	4	0	0	4	41	441
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15	27	0	2	1	0	3	30	471
	10:15 - 10:30	24	1	2	0	0	2	27	498
	10:30 - 10:45	39	0	1	0	0	1	40	538
	10:45 - 11:00	25	2	1	0	1	2	29	567
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15	22	0	2	1	0	3	25	592
	11:15 - 11:30	27	1	1	1	0	2	30	622
	11:30 - 11:45	33	0	1	0	0	1	34	656
	11:45 - 12:00	36	1	0	0	0	0	37	693
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15	34	0	3	0	0	3	37	730
	12:15 - 12:30	27	1	1	0	0	1	29	759
	12:30 - 12:45	32	0	1	1	0	2	34	793
	12:45 - 13:00	29	2	0	0	0	0	31	824
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15	35	0	2	0	0	2	37	861
	13:15 - 13:30	21	1	1	0	0	1	23	884
	13:30 - 13:45	26	0	1	0	1	2	28	912
	13:45 - 14:00	34	1	2	0	0	2	37	949
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15	38	0	1	1	0	2	40	989
	14:15 - 14:30	28	1	4	1	0	5	34	1023
	14:30 - 14:45	31	0	1	1	0	2	33	1056
	14:45 - 15:00	23	1	1	0	0	1	25	1081
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15	27	0	1	1	0	2	29	1110
	15:15 - 15:30	31	2	0	0	0	0	33	1143
	15:30 - 15:45	38	0	3	1	0	4	42	1185
	15:45 - 16:00	36	1	2	0	0	2	39	1224
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15	32	0	2	0	1	3	35	1259
	16:15 - 16:30	41	2	2	0	0	2	45	1304
	16:30 - 16:45	38	0	1	0	0	1	39	1343
	16:45 - 17:00	44	2	0	0	0	0	46	1389
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15	39	0	4	1	0	5	44	1433
	17:15 - 17:30	42	2	0	0	0	0	44	1477
	17:30 - 17:45	48	0	1	0	1	2	50	1527
	17:45 - 18:00	40	1	3	1	0	4	45	1572
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15	34	0	1	0	0	1	35	1607
	18:15 - 18:30	38	2	1	2	0	3	43	1650
	18:30 - 18:45	42	0	2	1	0	3	45	1695
	18:45 - 19:00	34	1	1	0	0	1	36	1731
<b>TOTAL</b>		<b>1602</b>	<b>32</b>	<b>80</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>104</b>	<b>1738</b>	<b>40905</b>

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos**



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosano - Chiquicha

**SENTIDO:** Ambos sentidos  
**FECHA:** Miércoles 16 de diciembre de 2020

**CONTEO DE TRÁFICO**

Hora	Livianos	Buses	Camiones				Total veh. 15 min.	Total acumulado	
			2DA	2DB	3-A	Total			
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15	22	0	3	0	0	3	25	23
	7:15 - 7:30	20	0	2	2	0	4	24	47
	7:30 - 7:45	37	0	0	0	0	0	37	84
	7:45 - 8:00	42	1	2	0	0	2	45	129
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15	33	0	4	0	0	4	37	166
	8:15 - 8:30	24	1	1	1	0	2	27	193
	8:30 - 8:45	27	0	2	2	0	4	31	224
	8:45 - 9:00	22	1	3	0	1	4	27	251
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15	31	0	2	0	0	2	33	284
	9:15 - 9:30	30	1	0	0	0	0	31	315
	9:30 - 9:45	23	0	0	1	0	1	24	339
	9:45 - 10:00	30	1	0	0	0	0	31	370
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15	32	0	2	2	0	4	36	406
	10:15 - 10:30	34	2	4	1	1	6	42	448
	10:30 - 10:45	31	0	1	0	0	1	32	480
	10:45 - 11:00	28	1	4	0	0	4	33	513
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15	32	0	2	2	0	4	36	549
	11:15 - 11:30	27	1	1	0	0	1	29	578
	11:30 - 11:45	25	0	2	1	0	3	28	606
	11:45 - 12:00	29	1	4	0	0	4	34	640
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15	30	0	2	0	0	2	32	672
	12:15 - 12:30	33	1	1	0	0	1	35	707
	12:30 - 12:45	32	0	4	0	0	4	36	743
	12:45 - 13:00	29	1	0	1	0	1	31	774
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15	31	0	0	0	0	0	31	805
	13:15 - 13:30	23	1	3	1	0	4	28	833
	13:30 - 13:45	25	0	2	0	0	2	27	860
	13:45 - 14:00	28	2	2	0	0	2	32	892
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15	33	0	3	2	0	5	38	930
	14:15 - 14:30	36	1	4	0	1	5	42	972
	14:30 - 14:45	30	0	2	0	0	2	32	1004
	14:45 - 15:00	32	1	3	1	0	4	37	1041
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15	27	0	3	0	0	3	30	1071
	15:15 - 15:30	31	1	4	0	0	4	36	1107
	15:30 - 15:45	29	0	2	1	1	4	33	1140
	15:45 - 16:00	32	3	4	0	0	4	39	1179
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15	36	0	3	0	0	3	39	1218
	16:15 - 16:30	38	1	4	0	0	4	43	1261
	16:30 - 16:45	40	0	2	2	0	4	44	1305
	16:45 - 17:00	42	1	3	0	0	3	46	1351
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15	44	0	3	0	1	4	48	1399
	17:15 - 17:30	43	2	4	0	0	4	49	1448
	17:30 - 17:45	41	0	3	0	0	3	44	1492
	17:45 - 18:00	38	1	2	2	0	4	43	1535
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15	36	0	0	0	0	0	36	1571
	18:15 - 18:30	41	0	0	2	0	2	43	1614
	18:30 - 18:45	44	0	3	0	0	3	47	1661
	18:45 - 19:00	37	1	2	1	0	3	41	1702
<b>TOTAL</b>		<b>1540</b>	<b>27</b>	<b>107</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>137</b>	<b>1704</b>	<b>38932</b>

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos**



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosano - Chiquicha

**SENTIDO:** Ambos sentidos  
**FECHA:** Jueves 17 de diciembre de 2020

**CONTEO DE TRÁFICO**

Hora	Livianos	Buses	Camiones				Total veh. 15 min.	Total acumulado	
			2DA	2DB	3-A	Total			
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15	25	1	0	0	0	0	26	23
	7:15 - 7:30	22	0	0	1	0	1	23	46
	7:30 - 7:45	41	0	1	0	0	1	42	88
	7:45 - 8:00	52	1	2	0	0	2	55	143
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15	39	0	1	1	0	2	41	184
	8:15 - 8:30	25	1	2	1	0	3	29	213
	8:30 - 8:45	36	0	0	0	0	0	36	249
	8:45 - 9:00	28	1	0	0	0	0	29	278
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15	34	0	2	0	0	2	36	314
	9:15 - 9:30	36	1	1	1	0	2	39	353
	9:30 - 9:45	26	0	2	1	0	3	29	382
	9:45 - 10:00	33	1	0	1	0	1	35	417
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15	32	0	0	1	0	1	33	450
	10:15 - 10:30	37	1	3	1	0	4	42	492
	10:30 - 10:45	34	0	0	0	0	0	34	526
	10:45 - 11:00	31	1	1	1	0	2	34	560
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15	32	0	2	0	0	2	34	594
	11:15 - 11:30	28	1	0	0	0	0	29	623
	11:30 - 11:45	30	0	1	1	0	2	32	655
	11:45 - 12:00	30	1	1	0	0	1	32	687
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15	34	0	2	1	0	3	37	724
	12:15 - 12:30	35	1	1	0	0	1	37	761
	12:30 - 12:45	34	0	0	0	0	0	34	795
	12:45 - 13:00	26	1	2	1	1	4	31	826
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15	30	0	0	0	0	0	30	856
	13:15 - 13:30	25	1	1	0	0	1	27	883
	13:30 - 13:45	27	0	3	1	0	4	31	914
	13:45 - 14:00	29	2	0	0	0	0	31	945
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15	34	0	2	0	0	2	36	981
	14:15 - 14:30	40	1	0	0	0	0	41	1022
	14:30 - 14:45	31	0	0	0	0	0	31	1053
	14:45 - 15:00	34	1	1	0	1	2	37	1090
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15	30	0	2	0	0	2	32	1122
	15:15 - 15:30	33	1	2	1	1	4	38	1160
	15:30 - 15:45	39	0	3	0	0	3	42	1202
	15:45 - 16:00	36	1	1	0	0	1	38	1240
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15	38	0	0	0	0	0	38	1278
	16:15 - 16:30	39	1	3	1	0	4	44	1322
	16:30 - 16:45	37	0	0	0	0	0	37	1359
	16:45 - 17:00	52	1	1	0	0	1	54	1413
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15	49	0	2	1	0	3	52	1465
	17:15 - 17:30	51	1	2	0	0	2	54	1519
	17:30 - 17:45	46	0	1	1	0	2	48	1567
	17:45 - 18:00	43	1	2	0	1	3	47	1614
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15	40	0	1	0	0	1	41	1655
	18:15 - 18:30	39	1	2	0	0	2	42	1697
	18:30 - 18:45	36	0	2	0	0	2	38	1735
	18:45 - 19:00	33	1	1	1	0	2	36	1771
<b>TOTAL</b>	<b>1671</b>	<b>25</b>	<b>56</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>78</b>	<b>1774</b>	<b>41246</b>	

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos**



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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Via Salasaca - El Rosario - Chiquicha

**SENTIDO:** Ambos sentidos  
**FECHA:** Viernes 18 de diciembre de 2020

**CONTEO DE TRÁFICO**

Hora	Livianos	Buses	Camiones				Total veh. 15 min.	Total acumulado	
			2DA	2DB	3-A	Total			
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15	20	2	0	0	0	22	23	
	7:15 - 7:30	28	0	2	1	0	31	54	
	7:30 - 7:45	43	0	2	0	0	45	99	
	7:45 - 8:00	48	1	2	0	0	51	150	
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15	46	0	4	0	0	50	200	
	8:15 - 8:30	21	1	4	0	0	26	226	
	8:30 - 8:45	27	0	3	0	0	30	256	
	8:45 - 9:00	33	1	3	0	0	37	293	
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15	28	0	2	0	0	30	323	
	9:15 - 9:30	38	1	1	0	0	40	363	
	9:30 - 9:45	23	0	1	1	0	25	388	
	9:45 - 10:00	31	1	0	1	0	33	421	
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15	30	0	2	1	0	33	454	
	10:15 - 10:30	38	1	6	0	1	46	500	
	10:30 - 10:45	36	0	1	0	0	37	537	
	10:45 - 11:00	26	1	3	2	0	32	569	
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15	34	0	1	1	0	36	605	
	11:15 - 11:30	21	1	3	0	0	25	630	
	11:30 - 11:45	28	0	3	1	0	32	662	
	11:45 - 12:00	34	1	1	1	0	37	699	
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15	37	0	3	0	0	40	739	
	12:15 - 12:30	39	2	2	0	0	43	782	
	12:30 - 12:45	30	0	1	0	0	31	813	
	12:45 - 13:00	21	2	0	0	0	23	836	
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15	29	0	0	0	0	29	865	
	13:15 - 13:30	24	1	0	1	0	26	891	
	13:30 - 13:45	23	0	1	0	0	24	915	
	13:45 - 14:00	31	1	2	1	0	35	950	
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15	34	0	1	1	0	36	986	
	14:15 - 14:30	45	1	3	2	1	52	1038	
	14:30 - 14:45	31	0	1	1	0	33	1071	
	14:45 - 15:00	29	1	1	0	0	31	1102	
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15	26	0	2	0	0	28	1130	
	15:15 - 15:30	31	1	1	0	0	33	1163	
	15:30 - 15:45	32	0	2	1	0	35	1198	
	15:45 - 16:00	33	1	4	0	0	38	1236	
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15	36	0	3	0	0	39	1275	
	16:15 - 16:30	41	1	7	0	0	49	1324	
	16:30 - 16:45	38	0	1	0	0	39	1363	
	16:45 - 17:00	44	1	1	0	0	46	1409	
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15	47	0	2	1	0	50	1459	
	17:15 - 17:30	48	2	1	0	0	51	1510	
	17:30 - 17:45	40	0	2	1	0	43	1553	
	17:45 - 18:00	39	1	3	0	0	43	1596	
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15	33	0	1	0	0	34	1630	
	18:15 - 18:30	37	1	4	2	1	45	1675	
	18:30 - 18:45	41	0	1	0	0	42	1717	
	18:45 - 19:00	42	1	2	0	0	45	1762	
<b>TOTAL</b>		1614	28	96	20	3	119	1761	41440

**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos**





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



**PROYECTO:** Tesis de grado  
**UBICACIÓN:** Vía Salasaca - El Rosario - Chiquicha

**SENTIDO:** Ambos sentidos  
**FECHA:** Domingo 20 de diciembre de 2020

**CONTEO DE TRÁFICO**

Hora	Livianos	Buses	Camiones				Total veh. 15 min.	Total acumulado	
			2DA	2DB	3-A	Total			
7:00 - 8:00	7:00 - 7:15	29	0	1	1	0	2	31	23
	7:15 - 7:30	15	1	1	0	0	1	17	40
	7:30 - 7:45	39	0	1	0	0	1	40	80
	7:45 - 8:00	55	1	2	2	0	4	60	140
8:00 - 9:00	8:00 - 8:15	30	0	1	1	1	3	33	173
	8:15 - 8:30	28	0	2	0	0	2	30	203
	8:30 - 8:45	37	0	0	0	0	0	37	240
	8:45 - 9:00	21	1	0	0	0	0	22	262
9:00 - 10:00	9:00 - 9:15	39	0	2	0	0	2	41	303
	9:15 - 9:30	32	1	0	0	0	0	33	336
	9:30 - 9:45	25	0	0	2	0	2	27	363
	9:45 - 10:00	34	1	1	0	0	1	36	399
10:00 - 11:00	10:00 - 10:15	34	0	2	1	0	3	37	436
	10:15 - 10:30	36	1	2	1	0	3	40	476
	10:30 - 10:45	32	0	2	1	0	3	35	511
	10:45 - 11:00	35	1	1	1	1	3	39	550
11:00 - 12:00	11:00 - 11:15	29	0	1	0	0	1	30	580
	11:15 - 11:30	35	1	1	1	0	2	38	618
	11:30 - 11:45	32	0	2	0	0	2	34	652
	11:45 - 12:00	27	1	1	0	0	1	29	681
12:00 - 13:00	12:00 - 12:15	29	0	4	1	0	5	34	715
	12:15 - 12:30	29	1	2	0	0	2	32	747
	12:30 - 12:45	37	0	1	1	0	2	39	786
	12:45 - 13:00	31	1	4	0	0	4	36	822
13:00 - 14:00	13:00 - 13:15	31	0	1	0	0	1	32	854
	13:15 - 13:30	25	1	0	0	0	0	26	880
	13:30 - 13:45	29	0	1	0	0	1	30	910
	13:45 - 14:00	28	1	1	1	0	2	31	941
14:00 - 15:00	14:00 - 14:15	36	0	1	0	0	1	37	978
	14:15 - 14:30	34	1	0	1	0	1	36	1014
	14:30 - 14:45	33	0	0	0	1	1	34	1048
	14:45 - 15:00	37	1	3	1	0	4	42	1090
15:00 - 16:00	15:00 - 15:15	35	0	2	0	0	2	37	1127
	15:15 - 15:30	37	1	2	0	0	2	40	1167
	15:30 - 15:45	46	1	2	1	0	3	50	1217
	15:45 - 16:00	39	0	0	2	0	2	41	1258
16:00 - 17:00	16:00 - 16:15	40	0	1	0	0	1	41	1299
	16:15 - 16:30	37	1	4	0	0	4	42	1341
	16:30 - 16:45	41	0	4	0	0	4	45	1386
	16:45 - 17:00	52	1	1	0	0	1	54	1440
17:00 - 18:00	17:00 - 17:15	56	0	0	1	0	1	57	1497
	17:15 - 17:30	51	1	1	1	0	2	54	1551
	17:30 - 17:45	49	1	2	1	0	3	53	1604
	17:45 - 18:00	53	1	1	0	0	1	55	1659
18:00 - 19:00	18:00 - 18:15	49	0	1	0	0	1	50	1709
	18:15 - 18:30	46	1	4	2	1	7	54	1763
	18:30 - 18:45	39	0	1	0	0	1	40	1803
	18:45 - 19:00	36	1	2	0	0	2	39	1842
<b>TOTAL</b>		<b>1729</b>	<b>24</b>	<b>69</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>97</b>	<b>1850</b>	<b>41514</b>







































**Elaborado por: Luis Adrián Cevallos**



**ANEXO D**

**PESOS Y DIMENSIONES DE**

**VEHÍCULOS**

CUADRO DEMOSTRATIVOS DE TIPO DE VEHICULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
				Largo	Ancho	Alto	
2 D			7	5,00	2,60	3,00	
2DA			10	7,50	2,60	3,50	
2DB			18	12,20	2,60	4,10	
3-A			27	12,20	2,60	4,10	
4-C			31	12,20	2,60	4,10	
4-0			32	12,20	2,60	4,10	
V2DB			18	12,20	2,60	4,10	
V3A			27	12,20	2,60	4,10	
VZS			27	12,20	2,60	4,10	
T2			18	8,50	2,60	4,10	
T3			27	8,50	2,60	4,10	
S3			24	13,00	3,00	4,30	
S2			20	13,00	3,00	4,30	
S1			11	13,00	3,00	4,30	
R2			22	10,00	3,00	4,30	
R3			31	10,00	3,00	4,30	
B1			11	10,00	3,00	4,30	
B2			20	10,00	3,00	4,30	
B3			24	10,00	3,00	4,30	

Fuente: Norma para Estudios y Diseño Viales NEVI-12-MTOP

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	>20,50	3,00	4,30

Fuente: Norma para Estudios y Diseño Viales NEVI-12-MTOP

**ANEXO E**

**ARCHIVO FOTOGRAFICO**



Pozo a cielo abierto



Densidad de campo in situ



Penetración Dinámica de Cono (DCP)



Análisis granulométrico



Contenido de humedad



Límite líquido



Límite plástico



Densidad específica de sólidos



Compactación Proctor modificado tipo B



Relación de Soporte de California (CBR)



Conteo vehicular