

**VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS EN LOS MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE
GRANULAR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**LIZETH CAROLINA PLATA BOHÓRQUEZ
JOHANA LICETH DÍAZ OSORIO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA – SANTANDER
2019**

**VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS EN LOS MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE
GRANULAR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**LIZETH CAROLINA PLATA BOHÓRQUEZ
JOHANA LICETH DÍAZ OSORIO**

**Proyecto de grado para obtener el título de
INGENIERO CIVIL**


DIRECTOR: *Julián Andrés Galvis Flórez*
ING. JULIÁN ANDRÉ GALVIS FLÓREZ *Julio 16/2019*

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA – SANTANDER
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Agosto 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado especialmente a mi madre y a mi padre, quienes fueron un apoyo incondicional durante todo mi proceso académico al siempre creer en mí.

Carolina Plata Bohórquez

Este proyecto de grado va a dedicado a la mujer que siempre ha estado durante todos los altos y bajos en mi vida y siempre me ha apoyado en todos mis sueños, mi madre.

Johana Diaz Osorio

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a nuestros padres quienes fueron siempre un apoyo incondicional durante todo nuestro proceso académico, a nuestros docentes por contribuir enormemente a nuestra formación como profesionales, al personal del laboratorio y personal administrativo por brindarnos siempre su guía y ayuda y a nuestros amigos y compañeros.

Por ultimo queremos agradecer profundamente a nuestro director de trabajo de grado Julián Andre Galvis Flórez por toda su dedicación y apoyo durante todo este proceso, por su guía y contribución a nuestra formación, por su disposición siempre, su amabilidad y su cariño.

Carolina Plata Bohórquez – Johana Díaz Osorio

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	5
LISTA DE ILUSTRACIONES	5
LISTA DE GRAFICAS	6
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE ANEXOS	8
1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GENERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. ALCANCE	12
5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	13
6. ANTECEDENTES	13
7. MARCO TEÓRICO	15
7.1. PAVIMENTO.....	15
7.1.1. TIPOS DE PAVIMENTOS.....	16
7.2. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	18
7.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	19
7.3.1. BASE GRANULAR.....	19
7.3.2. SUB BASE GRANULAR.....	20
7.4. CONTROL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE BASES Y SUB-BASES	21
7.5. PERMEABILIDAD	22
8. METODOLOGÍA	24
8.1. GRANULOMETRÍA.....	25
8.2. CARAS FRACTURADAS.....	27
8.3. LÍMITES DE ATTERBERG.....	28
8.4. PROCTOR MODIFICADO	30
8.5. GRAVEDAD ESPECIFICA	31
8.6. RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO (CBR)	32
8.7. PERMEABILIDAD	33
8.7.1. PERMEÁMETRO DE CABEZA CONSTANTE.....	33
8.7.2. PERMEÁMETRO DE CABEZA VARIABLE.....	34
8.8. DISEÑO DE PAVIMENTO	35
8.8.1. AASHTO – 93	37
8.8.2. STREETPAVE 12.....	41
9. RESULTADOS	42
9.1. GRANULOMETRÍA.....	42

9.1.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	42
9.1.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	44
9.1.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	45
9.1.4.	<i>RÍO SURATÁ</i>	47
9.2.	LIMITES DE ATTERBERG.....	49
9.2.1.	<i>SUB-BASE RÍO DE ORO</i>	49
9.3.	CARAS FRACTURADAS.....	49
9.3.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	49
9.3.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	50
9.3.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	51
9.3.4.	<i>RÍO SURATÁ</i>	52
9.4.	PROCTOR MODIFICADO.....	53
9.4.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	54
9.4.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	55
9.4.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	57
9.4.4.	<i>RÍO SURATÁ</i>	58
9.5.	GRAVEDAD ESPECIFICA.....	60
9.5.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	60
9.5.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	60
9.5.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	61
9.5.4.	<i>RÍO SURATÁ</i>	61
9.6.	RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO (CBR).....	62
9.6.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	62
9.6.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	63
9.6.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	64
9.6.4.	<i>RÍO SURATÁ</i>	65
9.7.	PERMEABILIDAD.....	66
9.7.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	67
9.7.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	67
9.7.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	68
9.7.4.	<i>RÍO SURATÁ</i>	69
9.8.	RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO.....	69
9.9.	DISEÑO DE PAVIMENTO.....	70
9.9.1.	<i>AASHTO – 93</i>	70
9.9.1.1.	<i>RÍO DE ORO</i>	76
9.9.1.2.	<i>RÍO CHICAMOCHA 1</i>	77
9.9.1.3.	<i>RÍO CHICAMOCHA 2</i>	78
9.9.2.	<i>STREETPAVE 12</i>	78
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
11.	CONCLUSIONES.....	89
12.	RECOMENDACIONES.....	92
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	ANEXOS.....	94

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Cuarteo del material para granulometría	26
Fotografía 2. Lavado del material para granulometría	26
Fotografía 3. Grupo de tamices empleados para la sub-base.....	27
Fotografía 4. Grupo de tamices empleados para base	27
Fotografía 5. Porciones del material retenido en cada tamiz	27
Fotografía 6. Clasificación de caras fracturadas	28
Fotografía 7. Muestras para el ensayo de límite líquido y plástico.....	29
Fotografía 8. Muestra sobre la cazuela de Casa Grande	29
Fotografía 9. Muestra separada por el tamiz 3/4.....	30
Fotografía 10. Proceso de compactación mecánico	31
Fotografía 11. Proceso de compactación manual.....	32
Fotografía 12. Molde de CBR sumergidos en agua	32
Fotografía 13. Equipo para el ensayo de CBR.....	33

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estructura del pavimento flexible	19
Ilustración 2. TPD Floridablanca – Bucaramanga	36
Ilustración 3. Variación de coeficiente a2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular.....	38
Ilustración 4. Variación del coeficiente a3 con diferentes parámetros de resistencia de la sub-base.....	39
Ilustración 5. Determinar el coeficiente estructural al del concreto asfáltico.....	39
Ilustración 6. Determinación del volumen estructural del pavimento (SN).....	40
Ilustración 7. Variación de coeficiente a2 con los diferentes CBR de Base granular	72
Ilustración 8. Variación de coeficiente a2 con los diferentes CBR de la sub-base granular	73
Ilustración 9. Coeficiente estructural a1 del concreto asfáltico	74
Ilustración 10. Volumen estructural de la sub-rasante (SN).....	75
Ilustración 11. Datos de transito StreetPave 12	79
Ilustración 12. Datos globales del diseño	79
Ilustración 13. Datos Río de Oro StreetPave 12	80
Ilustración 14. Datos río Chicamocha 1 StreetPave 12.....	80
Ilustración 15. Datos del río Chicamocha 2 StreetPave 12	81
Ilustración 16. Datos temperatura StreetPave 12.....	82
Ilustración 17. Resultados generados por el Software StreetPave 12	83
Ilustración 18. Resultados generados por StreetPave 12 para el Río de Oro.	84
Ilustración 19. Resultados generados por StreetPave 12 para el río Chicamocha 1.	84
Ilustración 20. Resultados generados por StreetPave 12 para el río Chicamocha 2.	85

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Curva granulométrica sub-base de Rio de Oro.....	43
Gráfica 2. Curva granulométrica de la Base de Rio de Oro	43
Gráfica 3. Curva granulométrica de la Sub-base del río Chicamocha 1	44
Gráfica 4. Curva granulométrica de la Base del río Chicamocha 1	45
Gráfica 5. Curva granulométrica de la Sub-base del río Chicamocha 2	46
Gráfica 6. Curva granulométrica de la Base del río Chicamocha 2	46
Gráfica 7. Curva granulométrica de la Sub-base del río Suratá.....	47
Gráfica 8. Curva granulométrica de la Base del río Suratá	48
Gráfica 9. Curva de compactación de la Sub-base del Río de Oro	54
Gráfica 10. Curva de compactación de la Base del Río de Oro.....	55
Gráfica 11. Curva de compactación de la Sub-base del río Chicamocha 1	56
Gráfica 12. Curva de compactación de la Base del río Chicamocha 1.....	56
Gráfica 13. Curva de compactación de la Sub-base del río Chicamocha 2.....	57
Gráfica 14. Curva de compactación de la Base del río Chicamocha 2.....	58
Gráfica 15. Curva de compactación de la Sub-base del río Suratá	59
Gráfica 16. Curva de compactación de la Base del río Suratá.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Intervalo de valores del coeficiente de permeabilidad.....	24
Tabla 2. Niveles de confiabilidad sugerido para diferentes carreteras.....	36
Tabla 3. Valores recomendados de módulo resiliente (E) para capas de rodadura de una mezcla asfáltica en caliente	37
Tabla 4. Determinación del mi	41
Tabla 5. Clasificación de la Sub-base de Rio de Oro.....	42
Tabla 6. Clasificación de la Base de Rio de Oro	43
Tabla 7. Clasificación de la Sub-base del río Chicamocha 1.....	44
Tabla 8. Clasificación de la Base del río Chicamocha 1	45
Tabla 9. Clasificación de la Sub-base del río Chicamocha 2.....	45
Tabla 10. Clasificación de la Base del río Chicamocha 2	46
Tabla 11. Clasificación de la Sub-base del río Suratá.....	47
Tabla 12. Clasificación de la Base del río Suratá	47
Tabla 13. Límites de Atterberg de la Sub-base de Río de Oro	49
Tabla 14. Caras fracturadas de la Sub-base del Río de Oro	49
Tabla 15. Caras fracturadas de la Base del Río de Oro.....	50
Tabla 16. Caras fracturadas de la Sub-base del río Chicamocha 1	50
Tabla 17. Caras fracturadas de la Base del río Chicamocha 1	51
Tabla 18. Caras fracturadas de la Sub-base del río Chicamocha 2	51
Tabla 19. Caras fracturadas de la Base del río Chicamocha 2.....	52
Tabla 20. Caras fracturadas de la Sub-base del río Suratá	52
Tabla 21. Caras fracturadas de la Base del río Suratá.....	53
Tabla 22. Proctor modificado de la Sub-base del río de Oro.....	54
Tabla 23. Proctor modificado de la Base de Río de Oro	54
Tabla 24. Proctor modificado de la Sub-base del río Chicamocha 1	55

Tabla 25. Proctor modificado de la Base del río Chicamocha 1.....	56
Tabla 26. Proctor modificado de la Sub-base del río Chicamocha 2.....	57
Tabla 27. Proctor modificado de la Base del río Chicamocha 2.....	58
Tabla 28. Proctor modificado de la Sub-base del río Suratá.....	58
Tabla 29. Proctor modificado de la Base del río Suratá.....	59
Tabla 30. Gravedad específica de la Sub-base de Río de Oro.....	60
Tabla 31. Gravedad específica de la Base de Río de Oro.....	60
Tabla 32. Gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 1.....	60
Tabla 33. Gravedad específica de la Base de río Chicamocha 1.....	61
Tabla 34. Gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 2.....	61
Tabla 35. Gravedad específica de la Base de río Chicamocha 2.....	61
Tabla 36. Gravedad específica de la Sub-base de río Suratá.....	61
Tabla 37. Gravedad específica de la Base de río Suratá.....	62
Tabla 38. CBR de la Sub-base del Río de Oro.....	62
Tabla 39. CBR de la Base del Río de Oro.....	63
Tabla 40. CBR de la Sub-base del río Chicamocha 1.....	63
Tabla 41. CBR de la Base del río Chicamocha 1.....	64
Tabla 42. CBR de la Sub-base del río Chicamocha 2.....	64
Tabla 43. CBR de la Base del río Chicamocha 2.....	65
Tabla 44. CBR de la Sub-base del río Suratá.....	65
Tabla 45. CBR de la Base del río Suratá.....	66
Tabla 46. Viscosidad dinámica para la corrección del k.....	66
Tabla 47. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del Río de Oro.....	67
Tabla 48. Coeficiente de permeabilidad de la Base del Río de Oro.....	67
Tabla 49. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Chicamocha 1.....	67
Tabla 50. Coeficiente de permeabilidad de la Base del río Chicamocha 1.....	68
Tabla 51. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Chicamocha 2.....	68
Tabla 52. Coeficiente de permeabilidad de la Base del río Chicamocha 2.....	68
Tabla 53. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Suratá.....	69
Tabla 54. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Suratá.....	69
Tabla 55. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio.....	70
Tabla 56. Distribución de los vehículos pesados en el TPD.....	70
Tabla 57. Valores de SN.....	75
Tabla 58. Diseño de pavimento del Río de Oro.....	76
Tabla 59. Estructura propuesta del Río de Oro.....	76
Tabla 60. Diseño de pavimento del río Chicamocha 1.....	77
Tabla 61. Estructura propuesta del río Chicamocha 1.....	77
Tabla 62. Diseño de pavimento del río Chicamocha 2.....	78
Tabla 63. Estructura propuesta del río Chicamocha 2.....	78
Tabla 64. Valores de creciente de permeabilidad (k).....	88

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Datos granulometría de la Sub-base de Río de Oro	94
Anexo 2. Datos de granulometría de la Base de Río de Oro	94
Anexo 3. Datos de granulometría de la Sub-base de río Chicamocha 1	95
Anexo 4. Datos de granulometría de la Base de río Chicamocha 1	95
Anexo 5. Datos de granulometría de la Sub-base de río Chicamocha 2	96
Anexo 6. Datos de granulometría de la Base de río Chicamocha 2	96
Anexo 7. Datos de granulometría de la Sub-base de río Suratá.....	97
Anexo 8. Datos de granulometría de la Base de río Suratá	97
Anexo 9. Gráfica del porcentaje de humedad	98
Anexo 10. Datos de proctor modificado de la Sub-base Río de Oro	98
Anexo 11. Datos de proctor modificado de la Base Río de Oro	99
Anexo 12. Datos de proctor modificado de la Sub-base río Chicamocha 1	100
Anexo 13. Datos de proctor modificado de la Base río Chicamocha 1.....	101
Anexo 14. Datos de proctor modificado de la Sub-base río Chicamocha 2	102
Anexo 15. Datos de proctor modificado de la Base río Chicamocha 2.....	103
Anexo 16. Datos de proctor modificado de la Sub-base río Suratá	104
Anexo 17. Datos de proctor modificado de la Base río Suratá.....	105
Anexo 18. Datos de gravedad específica de la Sub-base de Río de Oro.....	105
Anexo 19. Datos de gravedad específica de la Base de Río de Oro	106
Anexo 20. Datos de gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 1.....	106
Anexo 21. Datos de gravedad específica de la Base de río Chicamocha 1	107
Anexo 22. Datos de gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 2.....	107
Anexo 23. Datos de gravedad específica de la Base de río Chicamocha 2	108
Anexo 24. Datos de gravedad específica de la Sub-base de río Suratá.....	108
Anexo 25. Datos de gravedad específica de la Base de río Suratá	109
Anexo 26. Datos de CBR de la Sub-base de Río de Oro	109
Anexo 27. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de Río de Oro.....	110
Anexo 28. Datos de CBR de la Base de Río de Oro	110
Anexo 29. Datos de penetración de CBR de la Base de Río de Oro.....	111
Anexo 30. Datos de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 1	111
Anexo 31. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 1.....	112
Anexo 32. Datos de CBR de la Base de río Chicamocha 1	112
Anexo 33. Datos de penetración de CBR de la Base de río Chicamocha 1	113
Anexo 34. Datos de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 2	113
Anexo 35. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 2.....	114
Anexo 36. Datos de CBR de la Base de río Chicamocha 2.....	114
Anexo 37. Datos de penetración de CBR de la Base de río Chicamocha 2	115
Anexo 38. Datos de CBR de la Sub-base de río Suratá	115
Anexo 39. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de río Suratá.....	116
Anexo 40. Datos de CBR de la Base de río Suratá.....	116
Anexo 41. Datos de penetración de CBR de la Base de río Suratá.....	117
Anexo 42. Datos de permeabilidad de la Sub-base de Río de Oro	117
Anexo 43. Datos de permeabilidad de la Base de Río de Oro.....	118

Anexo 44. Datos de permeabilidad de la Sub-base de río Chicamocha 1.....	118
Anexo 45. Datos de permeabilidad de la Base de río Chicamocha 1	119
Anexo 46. Datos de permeabilidad de la Sub-base de río Chicamocha 2.....	119
Anexo 47. Datos de permeabilidad de la Base de río Chicamocha 2	120
Anexo 48. Datos de permeabilidad de la Sub-base de río Suratá.....	120
Anexo 49. Datos de permeabilidad de la Base de río Suratá.....	121
Anexo 50. Datos de diseño de pavimentos Río de Oro.....	121
Anexo 51. Datos de diseño de pavimentos río Chicamocha 1	122
Anexo 52. Datos de diseño de pavimentos río Chicamocha 2	122

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LOS MATERIALES DE BASE Y SUB BASE GRANULAR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

AUTOR(ES): Lizeth Carolina Plata Bohórquez - Johana Liceth Díaz Osorio

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Ing. MSc. Julián Andre Galvis Flórez

RESUMEN

En este proyecto de grado se determinaron las propiedades físicas, mecánicas y drenantes en los materiales de base y sub-base granular que fueron suministrados por distintas empresas que operan en el área metropolitana de Bucaramanga, por medio de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, porcentajes de partículas fracturadas, gravedad específica, proctor modificado, relación de soporte del suelo (CBR) y permeabilidad, realizados en el laboratorio. Adicionalmente se evaluó si los parámetros de base y sub-base granular obtenidos en el laboratorio, cumplían con los requerimientos mínimos establecidos por la Norma Colombiana INVÍAS 2013 y con ellos se realizaron diseños de pavimentos flexibles mediante el método manual AASHTO – 93 y por medio del software StreetPave 12.

PALABRAS CLAVE:

Diseño de pavimentos propiedades físicas base sub base

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: VERIFICATION OF PARAMETERS IN GRANULAR BASE AND SUB BASE MATERIALS IN THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA

AUTHOR(S): Lizeth Carolina Plata Bohórquez - Johana Liceth Díaz Osorio

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. MSc. Julián Andre Galvis Flórez

ABSTRACT

In this degree project the physical, mechanical and draining properties in the granular base and sub-base materials that were supplied by different companies operating in the metropolitan area of Bucaramanga were determined, with granulometry tests, Atterberg limits, fractured particle percentages, specific gravity, modified proctor, soil support ratio (CBR) and permeability, performed in the laboratory. Additionally, it was evaluated whether the granular base and sub-base parameters obtained in the laboratory met the minimum requirements established by the Colombian Standard INVÍAS 2013 and flexible pavement designs were made using the AASHTO - 93 manual method and StreetPave 12 software

KEYWORDS:

base sub base physical properties pavement design

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Al momento de construir un pavimento, es necesario tener en cuenta las condiciones presentes en el material; de esta forma podemos asegurar que cumpla con la vida útil del diseño y que su comportamiento sea óptimo. Para conocer estas condiciones de la estructura, es preciso verificar mediante ensayos de caracterización y pruebas mecánicas. Además, los resultados obtenidos deben cumplir con lo establecido por la Norma Colombiana INVÍAS 2013.

De manera que el principal objetivo de este proyecto es caracterizar y verificar las propiedades mecánicas de la base y sub-base granular empleada en la estructura del pavimento. Para lo cual se usará material granular extraído de ríos aledaños al área metropolitana de Bucaramanga, como lo son: río de oro, río Chicamocha y río Suratá; pues estos son los materiales que procesan las empresas que operan en la zona.

Por otra parte, los resultados obtenidos en los ensayos, nos permitirán realizar un diseño de pavimento apto para las muestras extraídas de cada río.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Verificar por medio de ensayos de laboratorio las propiedades presentes en los materiales de base y sub-base granular empleados por un grupo de empresas que operan en el área metropolitana de Bucaramanga, para así, realizar un diseño de pavimentos utilizando estos parámetros.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener diferentes muestras de material de base y sub-base granular de un grupo de empresas que operan dentro del área metropolitana de Bucaramanga.
- Conocer las propiedades de la muestra de material de base y sub-base granular adquiridas, efectuando ensayos en el laboratorio de caracterización, pruebas mecánicas y de permeabilidad de acuerdo a las especificaciones presentes en la Norma Colombiana INVÍAS 2013.
- Realizar un diseño de pavimentos empleando la metodología AASTHO93 y por medio del software StreetPave 12, utilizando los valores obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio.

3. JUSTIFICACIÓN

Con la finalidad de diseñar pavimentos, se requiere conocer los parámetros de caracterización y las propiedades mecánicas de los materiales de base y sub-base granular, para así poder garantizar la vida útil del pavimento realizado.

Hay que mencionar además, el mal estado en que se encuentran muchas vías del área metropolitana de Bucaramanga, por ello es necesario proveer datos concretos sobre las propiedades de los materiales que están siendo utilizados en la zona; de esa forma los futuros diseños de pavimentos que se realicen en el sector, tendrán más referencias que les permitan mejorar en gran medida, los problemas presentes dentro de la estructura del pavimento.

4. ALCANCE

Este proyecto pretende determinar las propiedades físicas, mecánicas y drenantes en los materiales de base y sub-base granular que son suministrados por distintas empresas que operan en el área metropolitana de Bucaramanga, por medio de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, porcentajes de partículas fracturadas, gravedad específica, proctor modificado, relación de soporte del suelo (CBR) y permeabilidad, realizados en el laboratorio.

Adicionalmente se pretende evaluar si los parámetros de base y sub-base granular obtenidos en el laboratorio, cumplen con los requerimientos establecidos por la Norma Colombiana INVÍAS 2013 y con ellos realizar diseños de pavimento mediante el método manual AASTHO – 93 y por medio del software StreetPave12.

5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de grado será realizado en el área metropolitana de Bucaramanga, con base en el material empleado por empresas de la zona; la duración de este es variable, puesto que se requiere ejecutar: los ensayos de caracterización del material como granulometría y límites de Atterberg, y las pruebas mecánicas como proctor modificado, CBR y permeabilidad.

Tiene como propósito, ampliar los datos actuales a cerca de las características del material usado como base y sub-base granular, en los proyectos viales del área metropolitana; por tal razón, se enfocará en la verificación de las propiedades de la muestra, que nos lleven a tener más precisión en las obras requeridas.

6. ANTECEDENTES

TITULO	AUTORES	RESUMEN	TIPO
CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y PETROGRÁFICA DE MATERIALES DE BASE GRANULAR BG-25 A PARTIR DE NORMAS IDU E INVÍAS [1]	<ul style="list-style-type: none"> • Eduardo Antonio Delgadillo Vargas • Álvaro francisco Gómez García 	<p>El objetivo fue analizar la respuesta mecánica de los materiales granulares de Base usados en la ciudad de Bogotá.</p> <p>Se realizaron los siguientes ensayos en el material: Análisis granulométrico del agregado, ensayo de desgaste en la maquina los ángeles, ensayo de resistencia usando el aparato micro - deval, determinación del 10% de finos, Proctor INV. 142 y ensayo de CBR. Se concluyó que los materiales meteorizados tienen un comportamiento no adecuado, ya que son rocas prácticamente degradadas, lo ideal sería tener</p>	<p>Trabajo De Grado– Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, 2015.</p>

		la mayoría de los materiales con poca meteorización.	
CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA Y MINERALÓGICA DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DEL DEPÓSITO ACOPIOS EN SOPÓ CUNDINAMARCA PARA SU USO EN PAVIMENTOS [2]	<ul style="list-style-type: none"> • Andrés Mateo Suárez Piñeros • Jonathan Andrés Vera Castro 	<p>El objetivo fue realizar una investigación que permita conocer las propiedades de los agregados, grava y arena extraídas del depósito Acopios.</p> <p>Se realizaron ensayos de laboratorio: Análisis granulométrico, Límites de Atterberg, equivalente de arena de suelos y agregados finos, determinación de la resistencia de agregado grueso (Micro-Deval), resistencia a la degradación de finos (Maquina de los Ángeles), caracterización mineralógica de los agregados.</p> <p>Se concluyó que la poca humedad retenida por los materiales, confirma las adecuadas capacidades drenantes de la mezcla para Sub-base.</p>	Trabajo de Grado – Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2017.
ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) CON LAS PROPIEDADES INDICÉ DE LAS SUB-BASES, CASO: PESCADERO [3]	<ul style="list-style-type: none"> • German Ricardo Cely Blanco • Julián Ricardo Pacagui Pérez 	Se hizo una investigación del material de sub-bases granulares, las propiedades de indicie y capacidad de CBR, así como la correlación entre estos parámetros. Se seleccionó el lugar de obtención del material (proveedor en pescadero), se prepararon las muestras para la caracterización mecánica de los mismos, tales como: humedad natural, análisis granulométrico, ensayos de limite líquido y limite plástico. Se determinó la humedad optima y densidad máxima por medio de	Trabajo de grado – Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2014.

		Proctor Modificado que sirvió de base para los ensayos de CBR. Una vez realizados los ensayos, se continuó con el análisis de resultados para la determinación de las correlaciones entre las propiedades índices y el CBR.	
EFFECTOS DEL FLUJO DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES. [4]	<ul style="list-style-type: none"> • Fernando Alberto Báez Pastrana • Jessica Melissa Garzón Rodríguez 	Los pavimentos flexibles permiten que el agua ingrese a la estructura del pavimento y se acumule debajo de la interfaz de la capa de rodadura y la base granular ocasionando una reducción de la resistencia del material conduciendo a daños significativos en los pavimentos flexibles	Artículo, Universidad La Gran Colombia, 2015.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. PAVIMENTO

Las primeras civilizaciones vieron la necesidad de comunicarse con las demás civilizaciones por lo tanto debían establecer vías de comunicación para poder generar el comercio entre ellas, pero con la aparición del automóvil era necesario contar con caminos uniformes que facilitara el paso de estos; los primeros caminos eran elaborados con piedras ya que son resistentes, posteriormente utilizaban la cal para la fijación de estas. En Estados Unidos se dieron los grandes avances del pavimento rígido, pero a principios de siglo XIX un ingeniero escocés inventa el “macadam” que consistía en pequeñas gramillas de piedra y capas de roca, lo cual permitían un buen drenaje de las aguas lluvias y en 1830 se construyó la primera vía con estas características. A partir de 1905 se empieza a utilizar el concreto como material de la construcción de carreteras dando lugar a grades proyectos de obras públicas, pero el desarrollo del petróleo impulsa la utilización de betunes

asfálticos para la fabricación de carreteras viales y pistas de aterrizaje. A finales del siglo XX se encuentran nuevas técnicas en el desarrollo de nuevas carreteras las cuáles mejoran la adherencia y la capacidad de drenaje ante los cambios climáticos. [5]

Actualmente se conoce como pavimento a la estructura vial, que está conformada por un conjunto de capas horizontales fijadas sobre el terreno natural; dichas capas son constituidas por materiales granulares, los cuales deben ser compactadas apropiadamente para que resistan las cargas producidas por los vehículos y a la vez proveerles una capa de rodadura uniforme para que el tránsito de estos sea cómodo, seguro y confortable. El pavimentos asfáltico y el pavimento de hormigón, son los más utilizados en todo el mundo para la construcción del pavimento urbano, ya que poseen un buen soporte a las deformaciones y permiten el paso frecuente de tránsito vehicular sin sufrir grandes daños. [6]

7.1.1. TIPOS DE PAVIMENTOS

- **Pavimento Flexible:** Son constituidos por materiales granulares y asfálticos; los cuáles están conformado por tres capas horizontales (carpeta asfáltica , base y sub-base) las cuáles se apoyan sobre la sub-rasante.

Carpeta asfáltica: Es la capa que soporta los máximos esfuerzos y las condiciones más duras impuestas por el clima y el tráfico. Tienen un espesor entre 5 y 10 centímetros.

Capa de base: Tiene como función de soportar y distribuir las cargas aplicadas a la sub-base. Pueden tener un espesor entre 10 y 30 centímetros.

Capa de sub-base: Posee la misma función que la base granular de soportar y transmitir las cargas a la sub-rasante y en algunas ocasiones colaboran con el drenaje de las aguas del sub-suelo. Tienen un espesor entre 20 y 50 centímetros.

Resiste grandes deformaciones producidas por el tránsito vehicular y transfiere las cargas por medio de disipación de tensiones, es decir, disminuye puntualmente con la profundidad. En su construcción son más económicos que un pavimento rígido, pero requieren un mantenimiento constante para poder cumplir con su periodo de vida, el cual varía entre 10 y 15 años. [7] [8]

- **Pavimento Rígido**: Son constituidos por materiales granulares y hormigón; los cuáles están conformado por dos capas horizontales (carpeta de hormigón y base o sub-base) las cuáles se apoyan sobre la sub-rasante.

Este tipo de pavimento requiere de juntas transversales y longitudinales, las cuáles permiten controlar la formación de fisuras y brindar la transferencia de cargas entre losas, para que la transferencia de cargas sea optima se acude a pasadores los cuáles son barras de acero lisas que se ubican en las juntas.

Resiste pequeñas deformaciones producidas por el tránsito vehicular y transmite las cargas por repartición, es decir, distribuyéndolas en áreas muy amplias. Tiene un costo elevado en su construcción comparado con el pavimento flexible, pero el mantenimiento es mínimo y comúnmente se realizan en las juntas de las losas; su periodo de vida útil varía entre 20 y 40 años [7] [8]

- **Pavimento Semi-rígido**: Este tipo de pavimento es una mezcla entre el pavimento flexible y el pavimento rígido; el cual está conformado por tres capas horizontales (carpeta asfáltica, base tratada con cementantes hidráulicos y sub-base) las cuáles se apoyan sobre

la sub-rasante. Como es una mezcla entre el pavimento flexible y el pavimento rígido, por ende transmite las cargas producidas por los vehículos una parte por disipación y otro tanto por repartición. [7]

- **Pavimento Articulado:** Está constituido por tres capas horizontales (adoquines (elementos prefabricados), capa de arena y base) las cuáles se apoyan sobre la sub-rasante. Transfiere las cargas semejante al pavimento flexible, es decir, por medio de disipación de tensiones. [7]

7.2. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

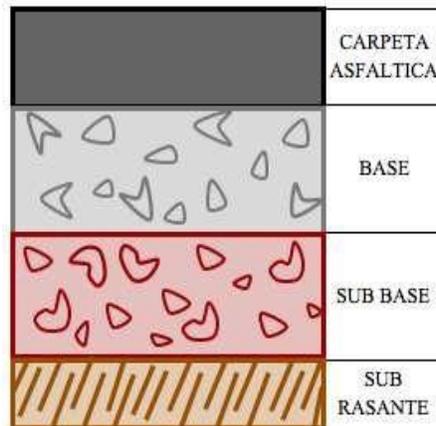
En general los métodos como AASHTO 93 para el diseño de pavimentos flexibles, basan su análisis enfocado en que las deformaciones permanentes se ven reflejadas especialmente en la sub rasante. Para un correcto diseño de pavimentos se debe tener en cuenta que estas deformaciones ocurren en todas las capas de la estructura, especialmente si es una vía con poco volumen de tránsito, en donde las deformaciones permanentes por lo general alcanzan valores muy elevados puesto que los esfuerzos se ven reflejados en las capas granulares.

En Colombia se utiliza comúnmente un método de diseño de pavimentos empírico (INVÍAS 1998), lo cual genera una cierta de falta en la confiabilidad del diseño puesto que los métodos empíricos dependen directamente de las condiciones del clima presentes en la zona a lo largo del año y las características del tránsito, estos dos factores varían en gran medida según la zona del país en donde se requiera la vía, puesto que durante el transcurso del año se pueden presentar fenómenos climáticos que alteren la temperatura regular de la zona y adicional a esto, comúnmente los conductores suelen exceder el valor máximo permitido de carga. Los métodos empíricos se apoyan principalmente en la afirmación que al realizar pruebas de calidad a sus materiales granulares y

obtener resultados favorables, estos van a tener un comportamiento mecánico óptimo frente a las cargas cíclicas, lo cual en algunos casos puede no ser de ese modo.

7.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

La estructura del pavimento flexible está conformada por tres capas horizontales las cuáles transmiten y soportan las cargas producidas por el tránsito vehicular, estas capas son; la carpeta de rodadura o capa asfáltica, la capa de base granular y la capa de sub-base granular, las cuáles van apoyadas sobre la sub-rasante; como se muestra en la ilustración 1.



*Ilustración 1. Estructura del pavimento flexible
Fuente: Elaboración propia*

7.3.1. BASE GRANULAR

Es un material granular, el cual es extraído de ríos o de aluviales, que deben pasar por un proceso de trituración para poder garantizar que el tamaño máximo de las partículas no sea mayor a 1^{1/2} pulgada. Este material dentro de la estructura del pavimento se encuentra debajo de la carpeta asfáltica y sobre la capa de la sub-base y tiene como función principal transferir las cargas de los vehículos a la sub-base y a la vez a la sub-rasante, también debe ayudar al drenaje interno de la

estructura del pavimento. El espesor de la capa compactada de la base varia en un rango de diez y treinta centímetros (cm), esto depende del diseño del pavimento. [9]

En Colombia la Norma INVÍAS 2013 clasifica la base granular en el artículo 330, este artículo las especifica como BG-25, BG-38 , BG-27 y BG-40, donde las dos primeras son catalogadas como de gradación fina y las siguientes dos como de gradación gruesa. Estas bases deben cumplir unos requisitos mínimos de calidad como el límite líquido de 25% máximo, índice de plasticidad de 3% máximo, caras fracturadas entre 50% y 100 % mínimo y relación de soporte de suelo (CBR) entre 80% y 95% mínimo. [10]

En el momento de elaboración del pavimento la colocación de la base granular va sobre el nivel de la sub-base ya compactada, está se extiende mecánicamente en el ancho especificado por la obra, en espesores de capa compactada entre 10 y 20 centímetros, si el espesor de la base supera los 20 centímetros se deberá realizar varias capas donde el espesor entre ellas sea relativamente igual pero nunca por debajo de los 10 centímetros y se compactara longitudinalmente de bordes al centro cuando esta posea la humedad óptima para alcanzar el nivel de densidad requerido; se realizara sucesivamente este proceso hasta obtener el espesor requerido y cotas indicadas en los planos de la construcción. La capa de base granular al estar ya terminada no deberá mostrar agrietamientos, baches y debe ser una superficie uniforme bien consolidada. [10]

7.3.2. SUB BASE GRANULAR

Es un material granular, el cual es extraído de ríos o de aluviales, que deben pasar por un proceso de trituración para poder garantizar que el tamaño máximo de las partículas no sea mayor a 2 pulgadas y el porcentaje de finos sea mayor al 4%. Este material dentro de la estructura del pavimento se encuentra debajo de la capa de base granular y sobre la sub-rasante y tiene como

función principal transferir las cargas de los vehículos a la sub-rasante, también debe ayudar al drenaje interno de la estructura del pavimento, en algunas ocasiones esta capa compensa los cambios volumétricos que sufren las sub-rasantes de material expansivo. El espesor de la capa compactada de la sub-base varía en un rango de diez y cincuenta centímetros, esto depende del diseño del pavimento. [9]

En Colombia la Norma INVÍAS 2013 clasifica la sub-base granular en el artículo 320, este artículo las especifica como SBG-38 y SBG-50. Estas bases deben cumplir unos requisitos mínimos de calidad como el límite líquido de 25% máximo, índice de plasticidad de 6% máximo y relación de soporte de suelo (CBR) entre 30% y 40% mínimo. [11]

En el momento de elaboración del pavimento la colocación de la base granular va sobre el nivel de la sub-base ya compactada, ésta se extiende mecánicamente en el ancho especificado por la obra, en espesores de capa compactada entre 10 y 20 centímetros, si el espesor de la base supera los 20 centímetros se deberá realizar varias capas donde el espesor entre ellas sea relativamente igual pero nunca por debajo de los 10 centímetros y se compactará longitudinalmente de bordes al centro cuando esta posea la humedad óptima para alcanzar el nivel de densidad requerido; se realizará sucesivamente este proceso hasta obtener el espesor requerido y cotas indicadas en los planos de la construcción. La capa de sub-base granular al estar ya terminada no deberá mostrar agrietamientos, baches y debe ser una superficie uniforme bien consolidada. [11]

7.4. CONTROL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE BASES Y SUB-BASES

Se debe tener en cuenta el grado de compactación de los materiales a utilizar para la construcción de capas de Base y Sub-Base, es necesario que las capas de Base posean un 98% de grado de

compactación al igual que en los ensayos realizados en el laboratorio y que las capas de Sub-Base posea un 95% de grado de compactación.

Posteriormente a la compactación de las capas, es necesario realizar un control sobre la diferencia entre las cotas de la superficie, puesto que una variación de 2cm entre ellas puede representar un costo extra para el constructor, ya que deberá asumir la totalidad en gastos extra para lograr completar uniformidad en las capas. Adicionalmente a esto, es necesario extender una regla sobre la vía una vez todo el proceso haya terminado para verificar dicha uniformidad.

El clima es un factor muy importante dentro de la construcción de las capas granulares, por lo que se debe tener en cuenta no realizar el proceso constructivo si la temperatura < de la zona es inferior a 2°C o si hay lluvia presente en ese momento.

7.5. PERMEABILIDAD

Antiguamente las bases y sub-bases granulares de los pavimentos tenían como función principal proveer un soporte uniforme, pero el aumento del peso de los camiones hizo buscar materiales fuertes y libres de erosión, pero estos materiales tenían altos contenidos de finos generando en ellos una baja capacidad de drenaje, por lo tanto la humedad infiltrada en la estructura del pavimento es causa fundamental de las fallas, y también rebaja la capacidad de soporte de la estructura, provocando que la vida útil de la misma estructura se disminuya. En busca de solucionar este problema se empezaron a utilizar las base y sub-bases permeables, las cuáles drenan rápidamente a los sistemas longitudinales de recolección de agua que llevan los pavimentos; se habla que al utilizar las bases y sub-bases permeables la vida útil del pavimento se incrementa hasta en un 50%. [12]

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material o suelo para que el agua la atraviese, generalmente conocida con la letra “k” (coeficiente de permeabilidad), varía respecto al tipo de suelo; se expresa como una tasa de permeabilidad en centímetros por segundos (cm/seg). Existen diferentes métodos para su determinación, uno de ellos es por ensayos de laboratorio, el cual se realiza dependiendo del material, es decir, para suelos granulares se realiza por el permeámetro de cabeza constante y para suelos finos por el permeámetro de cabeza variable. La permeabilidad depende de varios factores, la viscosidad del fluido, distribución del tamaño de los poros, granulometría, relación de vacíos y grado de saturación del suelo. [13]

En los diseños de los pavimentos se asume que la carpeta asfáltica es impermeable, pero en realidad deja infiltrar entre 30% y 67% del agua precipitada. El agua que traspasa la capa asfáltica puede inundar la base y sub-base granular del pavimento y esto conduce al deterioro acelerado del mismo, ya que es necesario que la estructura se encuentre seca para que pueda transferir las cargas por medio de disipación de tensiones, pero si se encuentra inundada las tensiones viajan a través de la agua transmitiéndolas sin ningún alivio a la sub-rasante y esta necesariamente se deforma y se ve reflejada por medio de grietas en la carpeta asfáltica. Según la AASHTO la estructura del pavimento inundada se deteriora entre diez (10) y cuarenta (40) veces más que un pavimento seco. [14]

Un buen diseño y buena compactación de la base y sub-base garantiza un efectivo sistema de drenaje interno en la estructura del pavimento. Existen tablas con intervalos del coeficiente de permeabilidad (k) para diferentes clases de suelos y la posible condición de drenaje de ese suelo; como lo es la tabla 1. [15]

Tabla 1. Intervalo de valores del coeficiente de permeabilidad

10 ²			
10 ¹	Gravas limpias		
1			Muy buen drenaje
10 ⁻¹			
10 ⁻²			
10 ⁻³	Arenas limpias	Arcillas	Buen drenaje
10 ⁻⁴	Mezclas grava-arena	fisuradas y	
10 ⁻⁵	Arenas muy finas	alteradas	
10 ⁻⁶	Limos y arenas limosas		Mal drenaje
10 ⁻⁷			
10 ⁻⁸	Limos arcillosos (>20% arcilla)		
10 ⁻⁹	Arcillas sin fisuras		Practicamente impermeables

Fuente: W. Roy, *Fundamentos de mecánica de suelos*, 1994.

8. METODOLOGÍA

Inicialmente se implementó la búsqueda del material que fuera proveniente de diferentes ríos y diferentes empresas que operan dentro del área metropolitana de Bucaramanga. Buscar y llevar el material hasta los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana no fue fácil, debido a que algunas empresas pedían carta de la universidad, donde se informara que tipo de ensayos se realizaría al material. Otras canteras son retiradas del área metropolitana pero como la cantidad de material no era estimada, no lo hacían llegar a la universidad; por lo tanto se utilizó el carro personal para el transporte de los diferentes materiales de base y sub-bases granular, como es un automóvil no resiste mucho peso por lo cual fueron necesarios varios viajes a la misma trituradora para así poder trasladar el material suficiente para los ensayos. Los materiales obtenidos fueron, una muestra de base de AGREMESA proveniente del río Rio de Oro, una muestra de sub-base de ATRISAN proveniente del río Rio de Oro, muestras de base y sub-base de AGREGADOS LOS

PINOS provenientes del río Chicamocha 1, muestras de base y sub-base de ARENAS Y TRITURADOS CHICAMOCHA provenientes del río Chicamocha 2 y muestras de base y sub-base de TRITURADOS LA FORTUNA provenientes del río Suratá.

A cada muestra de base y sub-base se le realizó un análisis granulométrico, se determinó el porcentaje de partículas fracturadas, el límite líquido y límite plástico para una correcta caracterización del material. Adicionalmente se realizaron pruebas de gravedad específica y pruebas mecánicas de compactación como proctor modificado y relación de soporte de suelo (CBR). Después de adquirir en su totalidad los resultados de las pruebas, se compararon los datos obtenidos en el laboratorio de cada muestra de base y sub-base con los valores presentados para cada material por la Norma Colombiana INVÍAS 2013 establecidos para cada uno de los ensayos, las que cumplían se seleccionaron para realizar el ensayo de permeabilidad y así obtener el coeficiente de permeabilidad (k) de cada una de las muestras.

Posteriormente al ensayo de permeabilidad, se realizaron diseños de pavimento flexible por medio de la metodología AASHTO de 1993, y por el software StreetPave 12, utilizando la base y sub-base pertenecientes al mismo río.

8.1. GRANULOMETRÍA

Para los ensayos de granulometría basados en la norma INVE-213-13 (Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos) se tuvo en cuenta el tamaño nominal máximo de las partículas de base y sub-base para obtener el tamaño de la muestra a utilizar para el tamizado. En el caso de las sub-bases cuyo tamaño nominal de las partículas era de 2 pulgadas, se emplearon muestras de alrededor de 20,000 gramos, mientras que en el caso de las bases el tamaño nominal de las

partículas era de 1^{1/2} pulgadas, por lo tanto, se emplearon muestras de alrededor de 15,000 gramos. Todas las muestras fueron reducidas al peso deseado por medio de cuarteos.



Fotografía 1. Cuarteo del material para granulometría

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un lavado previo del material utilizando el tamiz #200 para descartar las partículas que pasan dicho tamiz y facilitar el tamizado. Después del lavado, el material fue secado al horno y pesado nuevamente.



Fotografía 2. Lavado del material para granulometría

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el artículo 320 y 330 de la norma INVÍAS 2013, se seleccionaron los dos grupos de tamices a utilizar para efectuar el ensayo en las muestras de base y sub-base granular. En el caso de las muestras de sub-base, se utilizaron los tamices 2", 1^{1/2}", 1", 1/2", 3/8", #4, #10,

#40 y #200 y para las muestras de base se utilizaron los tamices 1^{1/2}”, 1”, 3/4”, 3/8”, #4, #10, #40 y #200.



*Fotografía 3. Grupo de tamices empleados para la sub-base
Fuente: Elaboración propia*



*Fotografía 4. Grupo de tamices empleados para base
Fuente: Elaboración propia*

El tamizado se realizó por secciones pequeñas debido al gran tamaño de las muestras, una vez ejecutado el tamizado, se separó y pesó el material retenido en cada tamiz. A partir de ahí se determinó el porcentaje de material que pasa cada tamiz para poder clasificar el tipo de base y sub-base.



*Fotografía 5. Porciones del material retenido en cada tamiz
Fuente: Elaboración propia*

El procedimiento fue el mismo para todas las muestras.

8.2. CARAS FRACTURADAS

Para efectuar el ensayo de caras fracturadas basado en la norma INVE-277-13 (Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso), se seleccionó una muestra de cada tipo de base y

sub-base basado en el tamaño nominal de las partículas. Para el caso de las muestras de base se empleó una porción de 7,500 gramos pues el tamaño nominal de las partículas era de 1^{1/2}", mientras que para las muestras de sub-base se empleó una porción de 15,000 gramos puesto que el tamaño nominal de las partículas era de 2".

Se separó el material utilizando el tamiz 3/8" y se descartó la porción pasante pues solo es necesaria la muestra retenida en dicho tamiz para efectuar el ensayo. Una vez separado el material, se clasificaron por método manual las partículas que tuvieran una o más caras fracturadas de las que fueran completamente lisas, posteriormente se pesaron las dos secciones y se obtuvo el porcentaje de partículas fracturadas en cada base y sub-base granular.



*Fotografía 6. Clasificación de caras fracturadas
Fuente: Elaboración propia*

El procedimiento fue el mismo para todas las muestras.

8.3. LÍMITES DE ATTERBERG

Al realizar el ensayo de límite líquido basado en la norma INVE-125-13 (Determinación del límite líquido de los suelos) se sometió a cada muestras de base y sub-base a un tamizado utilizando el

tamiz #40 para obtener una pequeña porción de material pasante de aproximadamente 500 gramos, esta porción fue la utilizada para el ensayo.

De cada muestra de aproximadamente 500 gramos de material fino, se separó en otro recipiente una muestra de aproximadamente 200 gramos con el fin de adicionarle agua para dejar húmedo el material hasta realizar el ensayo.



*Fotografía 7. Muestras para el ensayo de límite líquido y plástico
Fuente: Elaboración propia*

Al día siguiente se realizó el ensayo utilizando la porción de muestra previamente humedecida, la cual se espació sobre la cazuela de Casa Grande y se separó en dos con un ranurador con el fin de dejar fluir libremente la muestra con los golpes generados por la cazuela. El procedimiento se repitió 3 veces con diferentes humedades seleccionadas por tanteo en cada muestra.



*Fotografía 8. Muestra sobre la cazuela de Casa Grande
Fuente: Elaboración propia*

Para el ensayo de límite plástico basado en la norma INVE-126-13 (Límite plástico e índice de plasticidad en los suelos) se utilizó una muestra muy pequeña de aproximadamente 20 gramos, se verificó que tuviera una consistencia plástica y se procedió a amasar pequeños rollitos hasta que fuera muy delgados y se quebraran, una vez quebrados, se mezclaron todos los rollitos y se separaron en dos muestras diferentes para obtener un procedimiento de humedad.

El procedimiento fue el mismo para todas las muestras.

8.4. PROCTOR MODIFICADO

Para realizar el ensayo de Proctor Modificado utilizando el método C basado en la norma INVE-142-13 (Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)) se utilizó una muestra de 6,000 gramos, la cual se separó en dos porciones utilizando el tamiz $\frac{3}{4}$, debido a que la porción retenida en el tamiz $\frac{3}{4}$ superaba el 5% del total de la muestra se realizó una corrección por sobre tamaños reemplazando el peso del material descartado, por material que pasara el tamiz $\frac{3}{4}$ y quedara retenido en el tamiz #4. El material que fue descartado para el ensayo se utilizó para realizar el ensayo de Gravedad Específica y poder realizar la corrección de humedad y peso específico por sobre tamaño.



*Fotografía 9. Muestra separada por el tamiz $\frac{3}{4}$
Fuente: Elaboración propia*

Después de secar en el horno la muestra, se extendió sobre una bandeja y se dejó reposar hasta que estuviera fresca la muestra y se comenzó por adicionar 180 ml de agua lo que equivale al 3%

humedad, se determinaron los porcentajes por tanteo teniendo en cuenta los ensayos previos de límite líquido y se aumentó cada 3% la humedad hasta un final del 12%. Una vez añadida el agua, se mezcló uniformemente la muestra y se separó en cinco pequeñas porciones relativamente iguales por el número de capas para proceder a llenar el molde. Debido a que el método C describe un procedimiento de compactación de 5 capas con 56 golpes, los ensayos se realizaron mecánicamente.



*Fotografía 10. Proceso de compactación mecánico
Fuente: Elaboración propia*

El proceso fue el mismo para todas las muestras.

8.5. GRAVEDAD ESPECIFICA

Se efectuó el ensayo basado en la norma INVE-223-13 (Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso). Se utilizó la porción retenida en el tamiz $\frac{3}{4}$ que fue descartada del ensayo de proctor modificado, la muestra fue dejada 24 horas sumergida y al día siguiente se secó superficialmente con toallas para registrar su peso superficialmente seco, posteriormente se depositó la muestra en una canasta sostenida de una balanza y se sumergió en un recipiente lleno de agua para registrar el peso sumergido, por último, se secó al horno el material para obtener el peso seco.

8.6. RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO (CBR)

Se efectuó el ensayo basado en la norma INVE-148-13 (CBR de los compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada). Se separaron 3 muestras diferentes de 6,000 gramos de cada tipo de base y sub-base empleando el mismo método de reemplazo de material utilizado para las muestras de Proctor Modificado y manteniendo las mismas proporciones de sobre tamaños.

A diferencia del ensayo de Proctor Modificado, las muestras se compactaron en cinco capas de forma manual y utilizando una cantidad diferente de golpes por capa en cada muestra, se compacto una muestra a 56 golpes por capa, otra a 25 golpes por capa y la última a 10 golpes por capa.



*Fotografía 11. Proceso de compactación manual
Fuente: Elaboración propia*

Posteriormente se le colocó a cada muestra una base con dos pesas para medir la expansión, se midió la expansión inicial fuera del agua y se llevaron a inmersión durante 4 días en los cuáles se midió la expansión una vez al día.



Fotografía 12. Molde de CBR sumergidos en agua

Fuente: Elaboración propia

Después del proceso de inmersión, se sacaron los moldes del agua y se dejaron reposar unos 15 minutos afuera de la pileta para que liberaran el exceso de agua acumulado en la probeta, posteriormente se fallaron las probetas utilizando el equipo del laboratorio y manteniendo las dos pesas sobre la muestra.



*Fotografía 13. Equipo para el ensayo de CBR
Fuente: Elaboración propia*

El proceso fue el mismo para todas las muestras.

8.7. PERMEABILIDAD

Para el ensayo de permeabilidad se pensó utilizar para todas las muestras el permeámetro de cabeza constante, debido a que las muestras a utilizar para este ensayo deben tener un contenido igual o menor al 10% de material que pasa el tamiz #200, se utilizó el ensayo de permeabilidad de cabeza variable para dos (2) muestras de Bases que no cumplían con ese requisito.

8.7.1. PERMEÁMETRO DE CABEZA CONSTANTE

Se realizó el ensayo basado en la norma I.N.V.E-130 (Permeabilidad de suelos granulares (Cabeza constante)), se sometió cada muestra a un tamizado por el tamiz $\frac{3}{4}$ para obtener la muestra del

material pasante de aproximadamente de 30,000g. Se extendió en una bandeja y se dejó secar al aire libre.

Al día siguiente se realizó el llenado de la cámara del permeámetro por medio de capas de 2cm de altas y debidamente compactadas; hasta completar la cámara, posteriormente se selló y se conectó la bomba de vacíos, para aspirar la muestra durante 15 minutos, luego se continuó aspirando y suministrando agua de abajo hacia arriba para la saturación de la misma. Después de saturado todo el espécimen y que el permeámetro se encontrara lleno de agua, se inició la circulación del agua desde el tanque de carga constante de arriba hacia abajo, así dejando que saliera el aire, luego se conectaron los manómetros y se dejó pasar agua hacia ellos, posteriormente se cerró la válvula de salida para que los manómetros se estabilizaran bajo cabeza cero.

Por último, se abre la válvula de salida y se dejó circular por 5 minutos, para luego tomar las medidas de los manómetros y el caudal saliente en un tiempo determinado (60 segundos); se realizaron 5 lecturas para cada muestra.

8.7.2. PERMEÁMETRO DE CABEZA VARIABLE

Se realizó el ensayo No. 12 del manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil de Joseph E. Bowles (Coeficiente de permeabilidad – Método de cabeza variable), se sometió cada muestra a un tamizado por tamiz #4 y obtener 3,000g para posteriormente realizar un proctor estándar (5 capas de 25 golpes) con la humedad óptima de la muestra, luego se procedió a sacar la muestra del molde y de la misma obtener una pastilla para ser utilizada en el permeámetro.

Posteriormente se procede a insertar la pastilla del material en la cámara del permeámetro sobre la piedra porosa y sobre esta se coloca la otra piedra porosa, luego se llena de agua el permeámetro. Para tomar los datos se procede a tomar el tiempo que dura el agua en pasar de un punto determinado a otro; se realizaron 8 lecturas por cada muestra.

8.8. DISEÑO DE PAVIMENTO

Para realizar los diseños de pavimento flexible de una vía colectora en el sector urbano con temperatura promedio de la zona de 23°C (los datos del clima fueron facilitados por los estudios de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, encabezados por el ingeniero Juan Carlos Forero) y un periodo de diseño de 10 años, para esto se utilizaron las bases y sub bases que cumplieron con los parámetros especificados en la Norma Colombiana INVÍAS 2013 a las cuales se les realizaron los ensayos anteriormente descritos.

Los diseños de pavimentos flexibles se realizaron de forma manual mediante la metodología de la AASHTO-93. Para esto se utilizaron los parámetros obtenidos de los ensayos de la base y sub-base pertenecientes al mismo río, es decir, se realizaron 3 diseños.

Para los datos de la sub-rasante se tomaron los resultados del material del parqueadero de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, los cuáles indicaban que el suelo se clasificaba como A-2-5 por el método AASHTO, con una relación de soporte (CBR) de 15% [16].

El módulo resiliente (M_r) de la sub-rasante se obtuvo con la fórmula para materiales granulares:

$$M_r = 4326 * \left(\frac{CBR}{100} \right)^{0.78} + 241$$

Los datos del tránsito fueron obtenidos por la estación 637 (Floridablanca – Bucaramanga) proveniente de la página web de INVÍAS, los cuáles se muestran en la ilustración 2, teniendo un TPD de 81,254 vehículos, de los cuáles 2% son buses, 12% son camiones y el restante son automóviles [17]. Para el crecimiento del tránsito, se tomaron como base los datos provenientes de la Dirección de Transito de Bucaramanga acerca del crecimiento del parque automotor en el área metropolitana, se tomaron específicamente los datos de crecimiento de Floridablanca, dando como resultado un crecimiento de 0,7% anual [18]. Posteriormente se halló el factor camión del tránsito mediante la siguiente ecuación:

$$F.C. = \frac{\sum(F.D. * \% \text{ camión})}{\% \text{ camión}}$$

Donde:

F.C. = factor camión

F.D. = factor de daño

Estación	637
Territorial	SANTANDER
Sector	FLORIDABLANCA - BUCARAMANGA
Conteo total	81,254
% automóviles	68
% buses	2
% camiones	12
Total de camiones	8944
C3	1018
C4	940
C5	111
C6	6874
C7	1

Ilustración 2. TPD Floridablanca – Bucaramanga
Fuente: Página web del INVÍAS 2018

La desviación estándar (S_0) para un pavimento flexible es de 0,45. Y el valor del nivel de confiabilidad se basa en la tabla 2 para una vía colectora en el sector urbano, por lo tanto, se obtuvo un porcentaje de confiabilidad del 90%, para la vía a diseñar.

Tabla 2. Niveles de confiabilidad sugerido para diferentes carreteras

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de Tránsitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 1998. Posteriormente para determinar el módulo resiliente para la carpeta asfáltica, se realizó una interpolación de la tabla 3, con el fin de obtener el valor del módulo para la temperatura de la zona (23°C). Por la cual se determinó que el módulo resiliente de la capa asfáltica es de 478,625 Psi para una mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 3. Valores recomendados de módulo resiliente (E) para capas de rodadura de una mezcla asfáltica en caliente

Capa	T [°C]	f [Hz]	v [km/h]	E [Mpa]
Rodadura	10	2,5	15-25	7000
		5,0	35-45	8500
		10,0	70-80	9500
	15	2,5	15-25	5000
		5,0	35-45	6000
		10,0	70-80	7200
	20	2,5	15-25	3000
		5,0	35-45	4000
		10,0	70-80	5000
	25	2,5	15-25	2200
		5,0	35-45	2700
		10,0	70-80	3500
	30	2,5	15-25	1200
		5,0	35-45	1600
		10,0	70-80	2000

Fuente: H. A. R. Quintana y F. A. Reyes Lizcano, PAVIMENTOS- Materiales, construcción y diseño, Bogotá: ECOE Ediciones, 2015.

8.8.1. AASHTO – 93

La metodología AASHTO – 93 indica que se debe tener un índice de servicio presente (PSI), para el cual el índice de servicio final (P_f) es de 2,0 para una vía colectora y el inicial (P₀) es de 4,2 para pavimentos flexibles según pruebas de la AASHTO. [6]

Para especificar el cambio del índice de servicio se utiliza la siguiente fórmula:

$$\Delta \text{PSI} = \text{PSI}_K - \text{PSI}_M$$

Posteriormente se realiza la determinación del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en la vía a diseñar, el cual se efectuó por medio de la siguiente ecuación.

$$N \text{ ó } N_{QR} = \frac{N_{TR}}{100} * \frac{A}{100} * 365 * \frac{(1 + r)^n - 1}{r(1 + r)} * \dots$$

Donde:

TPD = tránsito promedio diario.

A = porcentaje estimado de vehículos pesados.

B = porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño.

r = rata anual de crecimiento del tránsito.
 n = periodo de diseño.
 F.C. = factor camión.

Los resultados de las dos ecuaciones anteriores son valores generales, es decir se utiliza el mismo valor para todos los diseños empleados en este proyecto de grado.

Subsiguientemente se determina los coeficientes estructurales y los módulos resilientes de la base y la sub-base, teniendo en cuenta las ilustraciones 3 y 4 respectivamente. En la cuáles se traza una línea horizontal partiendo del valor del CBR de cada material.

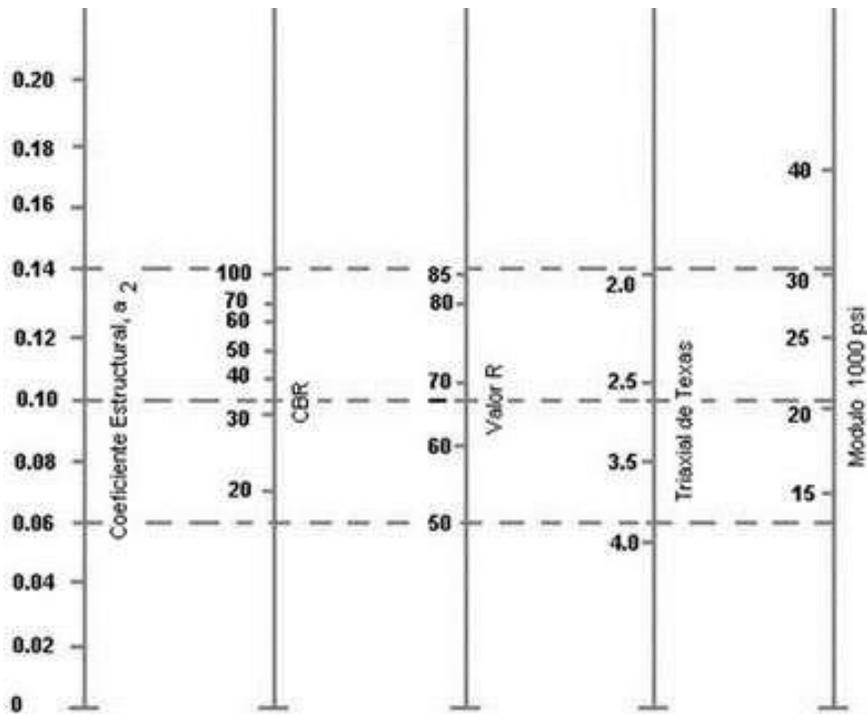


Ilustración 3. Variación de coeficiente a_2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular
 Fuente: A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 1998.

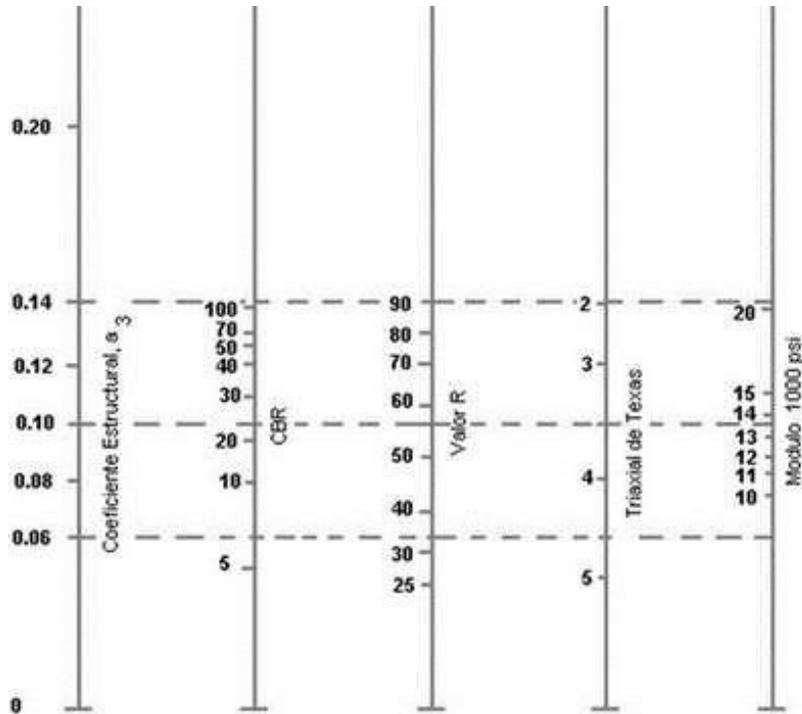


Ilustración 4. Variación del coeficiente a_3 con diferentes parámetros de resistencia de la sub-base.
 Fuente: A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 1998.

Consecutivamente se determina el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica mediante la ilustración 5, cortando la línea con el modulo elástico del concreto asfáltico.

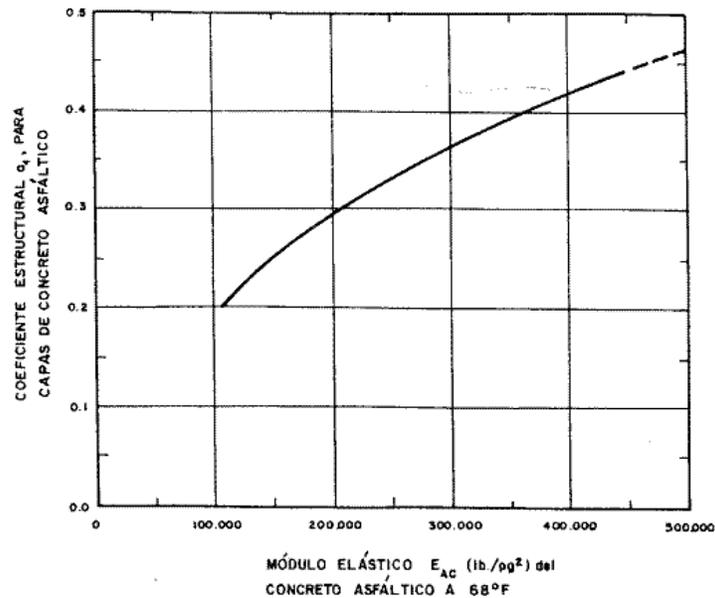


Ilustración 5. Determinar el coeficiente estructural al del concreto asfáltico
 Fuente: A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 1998.

Luego de obtener los tres (3) coeficientes estructurales (a_1 , a_2 y a_3) y los módulos resilientes de cada uno, se hallan los volúmenes estructurales del pavimento a partir de la ilustración 6; donde también se tienen en cuenta como valores de entrada los datos básicos del problema.

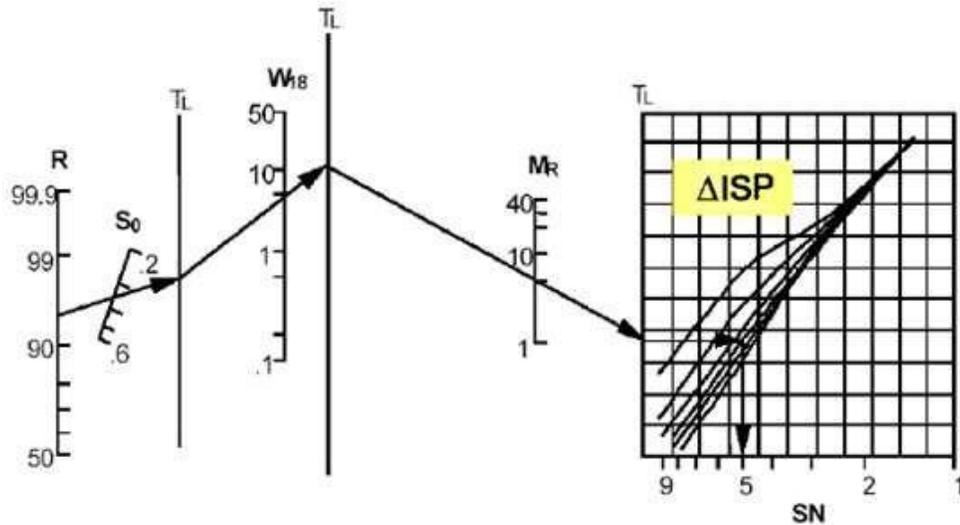


Ilustración 6. Determinación del volumen estructural del pavimento (SN)

Fuente: A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 1998.

Posteriormente se determinaron los espesores de la estructura del pavimento utilizando las siguientes ecuaciones

- Espesor del concreto asfáltico

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Donde:

SN_1 = volumen estructural sobre la base

a_1 = coeficiente estructural de la carpeta asfáltica

- Espesor de la base granular

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2}$$

Donde:

SN_2 = volumen estructural sobre la sub-base

$SN_1^* = a_1 * D_1$ = volumen estructural sobre la base corregido

a_2 = coeficiente estructural de la base

m_2 = relación del drenaje

- Espesor de la sub-base granular

$$D_z = \frac{SN_z - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 * m_3}$$

Donde:

SN₃ = volumen estructural sobre la sub-rasante

SN₁^{*} = a₁ * D₁ = volumen estructural sobre la base corregido

SN₂^{*} = a₂ * D₂ * m₂ = volumen estructural sobre la sub-base corregido

a₃ = coeficiente estructural de la sub-base

m₃ = relación del drenaje

El m_i se obtiene de la tabla 4 donde se clasifica la permeabilidad de la base o la sub base, para luego entrar en la tabla 4 teniendo en cuenta el porcentaje en que la estructura está expuesta a precipitaciones.

Tabla 4. Determinación del m_i

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más de 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 malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: H. A. R. Quintana y F. A. Reyes Lizcano, PAVIMENTOS- Materiales, construcción y diseño, Bogotá: ECOE Ediciones, 2015.

Por último, se genera un ajuste sobre los espesores de la estructura del pavimento para no sobre diseñar teniendo en cuenta la ecuación empírica del AASHTO ROAD TEST.

8.8.2. STREETPAVE 12

El software StreetPave 12 se enfoca especialmente en el espesor de la carpeta asfáltica, para esto requiere que se ingrese los datos del tránsito promedio diario, la tasa de crecimiento anual de vehículos, porcentaje estimado de vehículos pesados, porcentaje de vehículos pesados que

emplean el carril de diseño, el periodo de diseño, la confiabilidad, índice de servicio, temperatura de la zona y los módulos resilientes de la sub-rasante, sub-base granular y base granular.

Después de haber ingresado todos los datos solicitados por el software, se da clic en ejecutar diseño y este genera una hoja de resultados donde se evidencia el espesor mínimo requerido de la capa asfáltica para dicho diseño.

9. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados durante la ejecución del trabajo de grado, estos resultados representan las propiedades mecánicas de los materiales que se emplearon y enunciados en el numeral 8.

9.1. GRANULOMETRÍA

En las gráficas granulométricas la curva de color gris claro y color gris oscuro representan los límites inferiores y límites superiores tomados de las especificaciones de la base y sub-base granular dadas por la norma colombiana INVÍAS 2013.

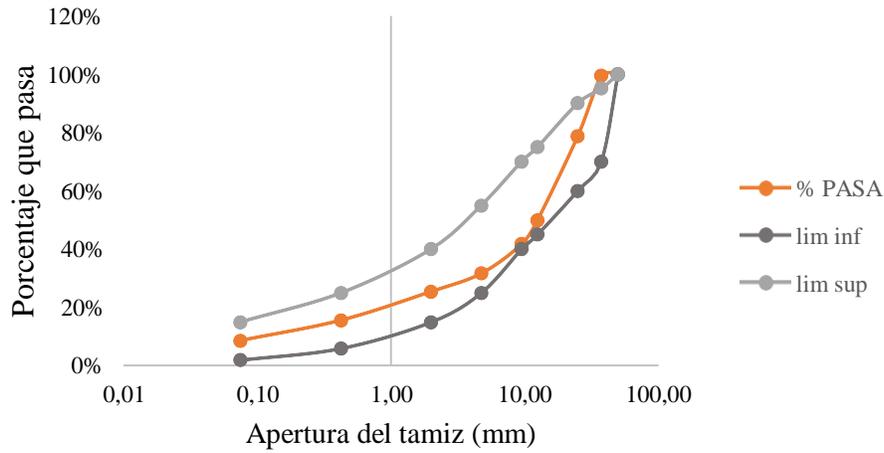
9.1.1. RIO DE ORO

Tabla 5. Clasificación de la Sub-base de Rio de Oro

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL									
TIPO DE GRADACIÓN	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	#4	#10	#40	#200
% PASA									
SBG-50	100%	70%	60%	45%	40%	25%	15%	6%	2%
	100%	95%	90%	75%	70%	55%	40%	25%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



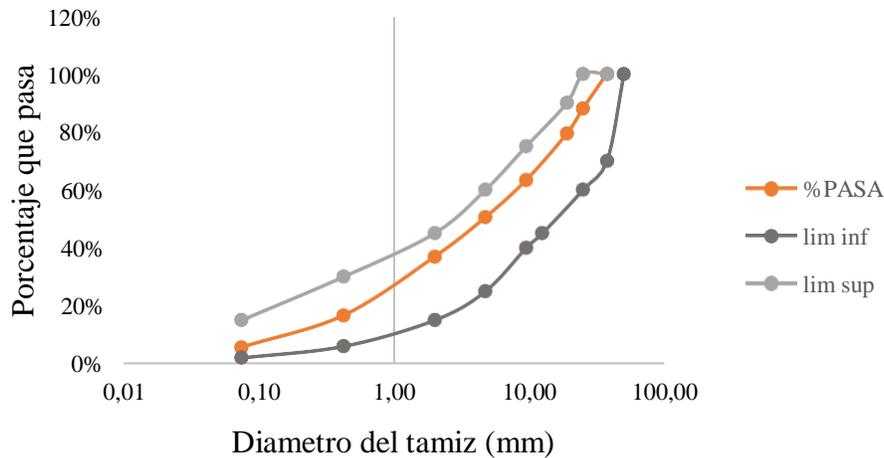
Gráfica 1. Curva granulométrica sub-base de Rio de Oro
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Clasificación de la Base de Rio de Oro

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL								
TIPO DE GRADACIÓN	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200
BASE DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100%	70%	60%	45%	30%	20%	10%	5%
	100%	100%	90%	75%	60%	45%	30%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



Gráfica 2. Curva granulométrica de la Base de Rio de Oro
Fuente: Elaboración propia

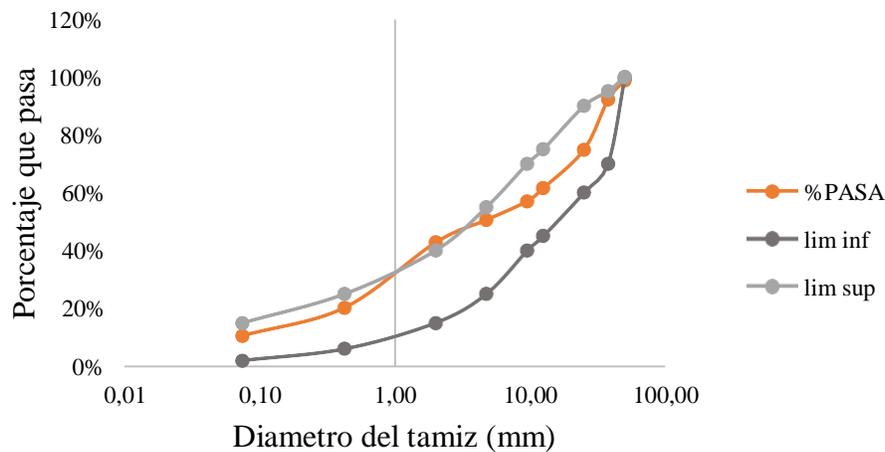
9.1.2. RIO CHICAMOCHA 1

Tabla 7. Clasificación de la Sub-base del río Chicamocha 1

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL									
TIPO DE GRADACIÓN	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	#4	#10	#40	#200
	% PASA								
SBG-50	100%	70%	60%	45%	40%	25%	15%	6%	2%
	100%	95%	90%	75%	70%	55%	40%	25%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



Gráfica 3. Curva granulométrica de la Sub-base del río Chicamocha 1

Fuente: Elaboración propia

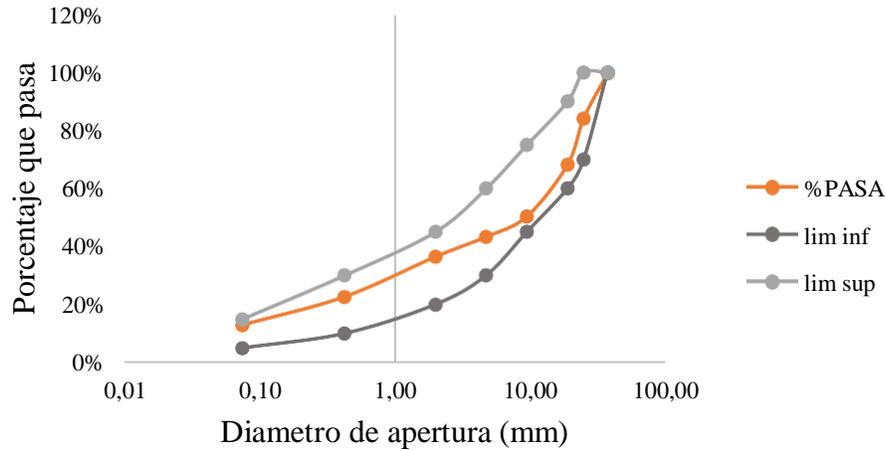
La curva granulométrica del material de Sub-Base del río Chicamocha 1 presenta una desviación por sobre el límite superior máximo de la franja granulométrica de una Sub-Base (SBG-50), a pesar de esto se considera aceptable para ser clasificada de este modo, puesto que el material solo excede en un 3% el límite máximo, es decir, la franja granulométrica acepta hasta un 40% del material pase el tamiz #10 y en este caso el 43% del material pasa el tamiz #10.

Tabla 8. Clasificación de la Base del río Chicamocha 1

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL								
TIPO DE GRADACIÓN	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200
BASE DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100%	70%	60%	45%	30%	20%	10%	5%
	100%	100%	90%	75%	60%	45%	30%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



Gráfica 4. Curva granulométrica de la Base del río Chicamocha 1

Fuente: Elaboración propia

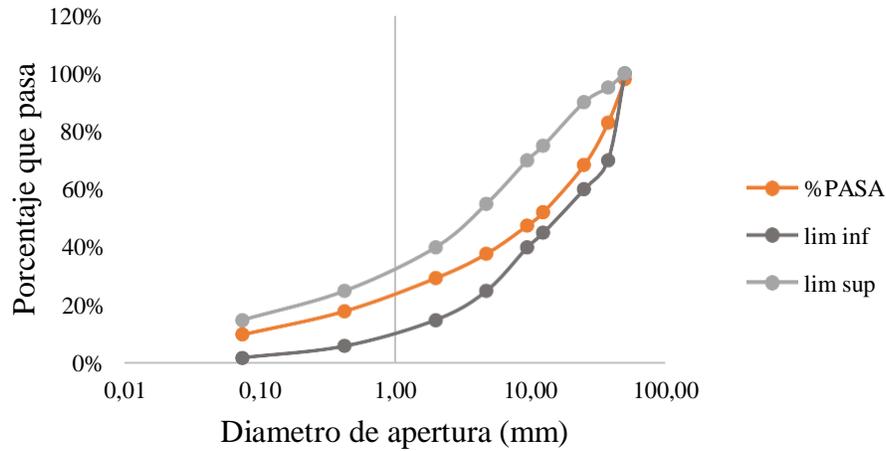
9.1.3. RIO CHICAMOCHA 2

Tabla 9. Clasificación de la Sub-base del río Chicamocha 2

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL									
TIPO DE GRADACIÓN	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	#4	#10	#40	#200
% PASA									
SBG-50	100%	70%	60%	45%	40%	25%	15%	6%	2%
	100%	95%	90%	75%	70%	55%	40%	25%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



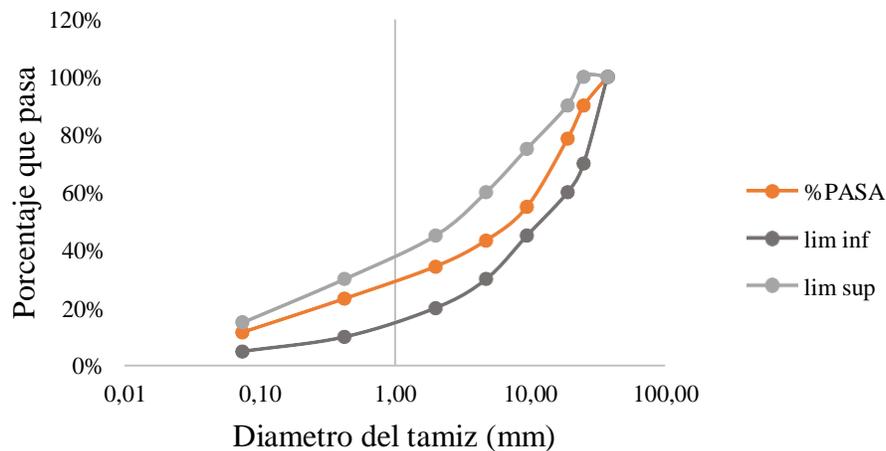
Gráfica 5. Curva granulométrica de la Sub-base del río Chicamocha 2
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Clasificación de la Base del río Chicamocha 2

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL								
TIPO DE GRADACIÓN	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200
BASE DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100%	70%	60%	45%	30%	20%	10%	5%
	100%	100%	90%	75%	60%	45%	30%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



Gráfica 6. Curva granulométrica de la Base del río Chicamocha 2
Fuente: Elaboración propia

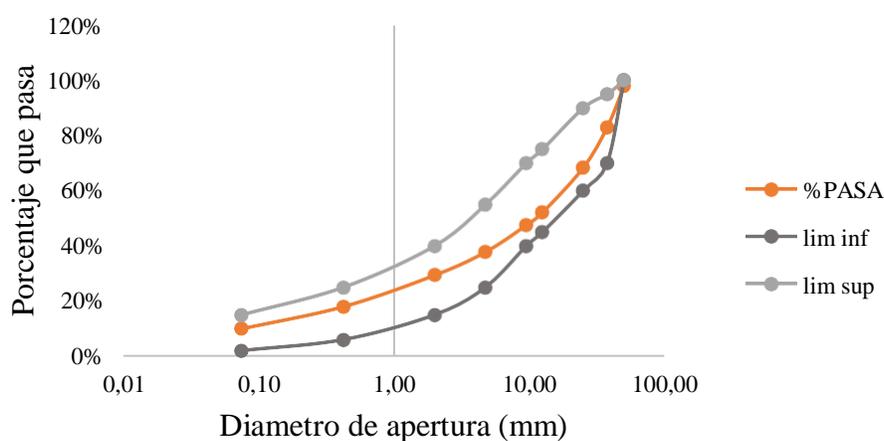
9.1.4. RIO SURATÁ

Tabla 11. Clasificación de la Sub-base del río Suratá

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL									
TIPO DE GRADACIÓN	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	#4	#10	#40	#200
% PASA									
SBG-50	100%	70%	60%	45%	40%	25%	15%	6%	2%
	100%	95%	90%	75%	70%	55%	40%	25%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



Gráfica 7. Curva granulométrica de la Sub-base del río Suratá

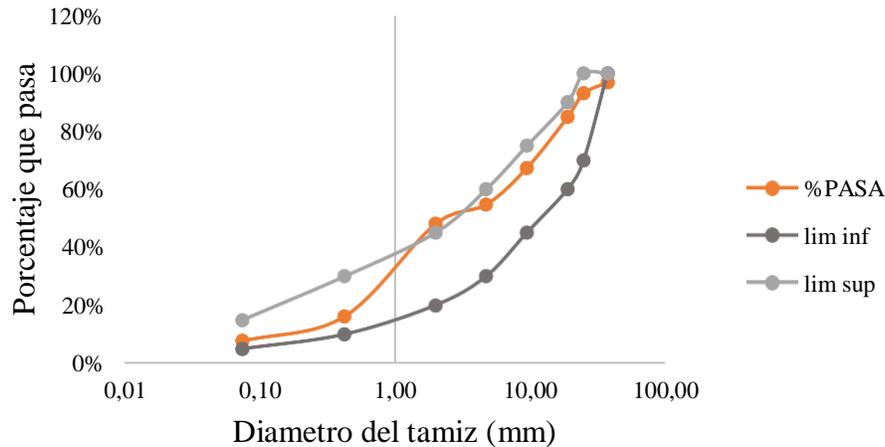
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Clasificación de la Base del río Suratá

FRANJAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL								
TIPO DE GRADACIÓN	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200
BASE DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100%	70%	60%	45%	30%	20%	10%	5%
	100%	100%	90%	75%	60%	45%	30%	15%

Fuente: norma técnica colombiana INVÍAS 2013

CUMPLIMIENTO CRUVA GRANULOMETRICA



Gráfica 8. Curva granulométrica de la Base del río Suratá
Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica del material del río Suratá al igual que la curva del material de Sub-Base del río Chicamocha 1 presenta una desviación por sobre el límite superior máximo de la franja granulométrica, en este caso de una Base (BG-38), a pesar de esto se considera aceptable para ser clasificada de este modo, puesto que el material al igual que la anterior Sub-Base mencionada solo excede en un 3% el límite máximo, es decir, la franja granulométrica acepta hasta un 45% del material pase el tamiz #10 y en este caso el 48% del material pasa el tamiz #10.

En los valores donde la granulometría del material supera el límite superior se recomienda hacer un ajuste a ese tamiz en particular, este trabajo de grado se elaboró tomando los materiales dados por las diferentes fuentes (canteras) con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico del material crudo.

9.2. LIMITES DE ATTERBERG

Al realizar el ensayo de límite líquido en todas las muestras a excepción de la sub-base del río Río de Oro, se dio como resultado que eran no líquidas y no plásticas, puesto que la abertura del material en la cazuela de Casa Grande se cerraba alrededor de los 10 golpes o menos.

9.2.1. SUB-BASE RÍO DE ORO

Tabla 13. Límites de Atterberg de la Sub-base de Río de Oro

		ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG SUB-BASE RIO DE ORO INV.E - 125 - 13 / INV.E - 126 - 13
LL	23%	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE
LP	17%	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA
IP	6,5%	

Fuente: Elaboración propia

9.3. CARAS FRACTURADAS

9.3.1. RÍO DE ORO

Tabla 14. Caras fracturadas de la Sub-base del Río de Oro

		ENSAYO CARAS FRACTURADAS SUB-BASE RIO DE ORO
		RESULTADOS DE LABORATORIO INV.E - 227 - 13
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE
		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA
Peso total de la muestra (g)	7500	
Porcion retenida en 3/8" (g)	4500	
Particulas fracturadas (g)	3400	Particulas lisas (g) 1100
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		76%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Caras fracturadas de la Base del Río de Oro

	ENSAYO CARAS FRACTURADAS BASE RIO DE ORO	
	RESULTADOS DE LABORATORIO INV.E - 227 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Peso total de la muestra (g)	3000
Porcion retenida en 3/8" (g)	1120	
Particulas fracturadas (g)	Particulas lisas (g)	
887	233	
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		
<i>Fuente: Elaboración propia</i>		

9.3.2. RÍO CHICAMOCHA 1

Tabla 16. Caras fracturadas de la Sub-base del río Chicamocha 1

	ENSAYO CARAS FRACTURADAS SUB-BASE CHICAMOCHA 1	
	RESULTADOS DE LABORATORIO INV.E - 227 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Peso total de la muestra (g)	15000
Porcion retenida en 3/8" (g)	7130	
Particulas fracturadas (g)	Particulas lisas (g)	
5309	1821	
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS: 74%		
<i>Fuente: Elaboración propia</i>		

Tabla 17. Caras fracturadas de la Base del río Chicamocha 1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana</p>	ENSAYO CARAS FRACTURADAS	
	BASE CHICAMOCHA 1	
	RESULTADOS DE LABORATORIO	
	INV.E - 227 - 13	
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE		
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
Peso total de la muestra (g)	7500	
Porción retenida en 3/8" (g)	4241	
Partículas fracturadas (g)	3514	Partículas lisas (g)
		727
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		83%

Fuente: Elaboración propia

9.3.3. RÍO CHICAMOCHA 2

Tabla 18. Caras fracturadas de la Sub-base del río Chicamocha 2

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana</p>	ENSAYO CARAS FRACTURADAS	
	SUB-BASE CHICAMOCHA 2	
	RESULTADOS DE LABORATORIO	
	INV.E - 227 - 13	
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE		
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
Peso total de la muestra (g)	15000	
Porción retenida en 3/8" (g)	8035	
Partículas fracturadas (g)	7449	Partículas lisas (g)
		586
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		93%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Caras fracturadas de la Base del río Chicamocha 2

	ENSAYO CARAS FRACTURADAS BASE CHICAMOCHA 2	
	RESULTADOS DE LABORATORIO INV.E - 227 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Peso total de la muestra (g)	7500
Porción retenida en 3/8" (g)	3393	
Partículas fracturadas (g)	3133	
Partículas lisas (g)	261	
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		92%

Fuente: Elaboración propia

9.3.4. RÍO SURATÁ

Tabla 20. Caras fracturadas de la Sub-base del río Suratá

	ENSAYO CARAS FRACTURADAS SUB-BASE SURATÁ	
	RESULTADOS DE LABORATORIO INV.E - 227 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Peso total de la muestra (g)	7500
Porción retenida en 3/8" (g)	3027	
Partículas fracturadas (g)	1574	
Partículas lisas (g)	1453	
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		52%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Caras fracturadas de la Base del río Suratá

	ENSAYO CARAS FRACTURADAS BASE SURATÁ		
	RESULTADOS DE LABORATORIO INV.E - 227 - 13 PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	Peso total de la muestra (g)	7500	
Porción retenida en 3/8" (g)	2475		
Partículas fracturadas (g)	1311	Partículas lisas (g)	1164
PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS:		53%	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los requisitos mínimos de calidad exigidos para los agregados en el artículo 320 del Instituto Nacional De Vías, el material de Base proveniente del río Suratá a pesar de tener un bajo porcentaje de caras fracturadas, cumple por sobre el límite de un mínimo de 50% de partículas fracturadas a una cara para ser empleada como Clase C para un nivel de tránsito NT1. Las demás muestras de Base según sus porcentajes de caras fracturadas pueden ser empleadas como Clase B para un nivel de tránsito NT2, ya que cumplen el requerimiento mínimo de 70% de partículas fracturadas a una cara.

En el caso de las Sub-Bases, no se especifica el porcentaje que partículas fracturadas como un requerimiento de calidad para el recibo del material.

9.4. PROCTOR MODIFICADO

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de Proctor Modificado efectuado en las 4 muestras de Base y las 4 muestras de Sub-Base de los diferentes ríos evaluados.

Inicialmente se partió de 3 puntos de compactación a diferentes humedades teniendo en cuenta el peso unitario seco, a partir de ahí se añadieron puntos adicionales de compactación para lograr una

curva en la que se pudiera apreciar de manera clara el porcentaje de humedad optima de cada material.

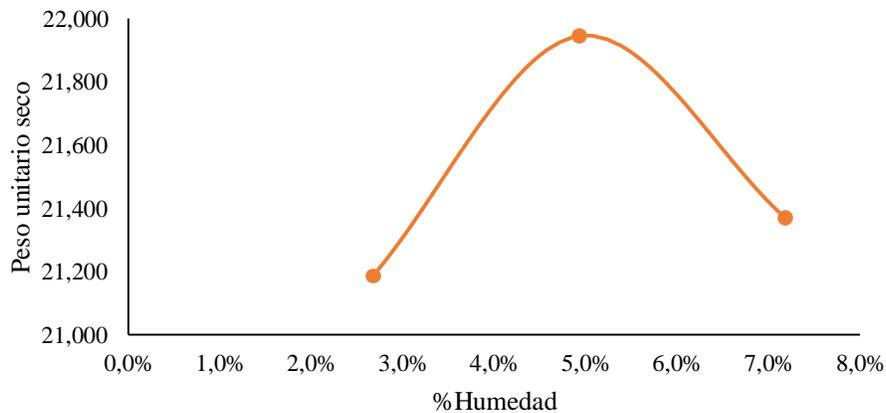
9.4.1. RÍO DE ORO

Tabla 22. Proctor modificado de la Sub-base del río de Oro

	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE RIO DE ORO INV E -142 - 13	
	Humedad Optima 4,9% Densidad seca max 2,153 g/cm ³	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: Elaboración propia

CURVA DE COMPACTACIÓN
Sub-Base Río de Oro



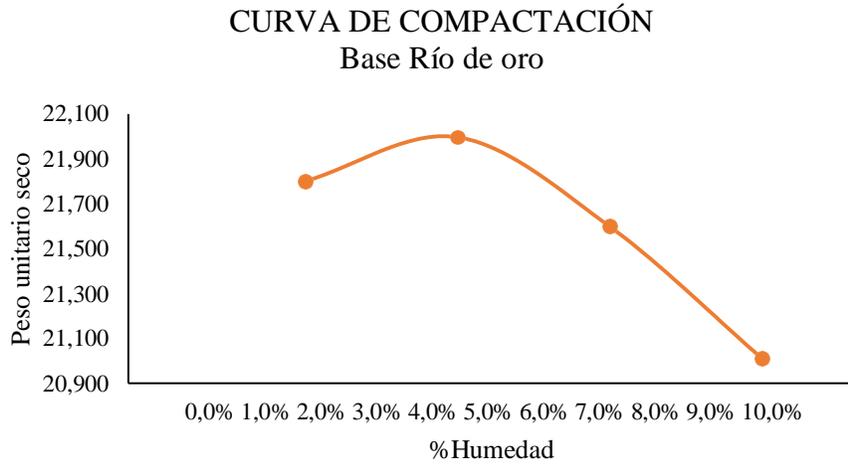
Gráfica 9. Curva de compactación de la Sub-base del Río de Oro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Proctor modificado de la Base de Río de Oro

	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO BASE RIO DE ORO INV E -142 - 13	
	Humedad Optima 4,3% Densidad seca max 2,120 g/cm ³	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 10. Curva de compactación de la Base del Río de Oro
Fuente: Elaboración propia

Se realizó un punto de compactación adicional para el material de Base de río de Oro a pesar de que en el tercer punto de compactación el peso unitario seco ya había disminuido con respecto al punto anterior, con el fin de identificar de mejor manera el porcentaje de humedad óptima.

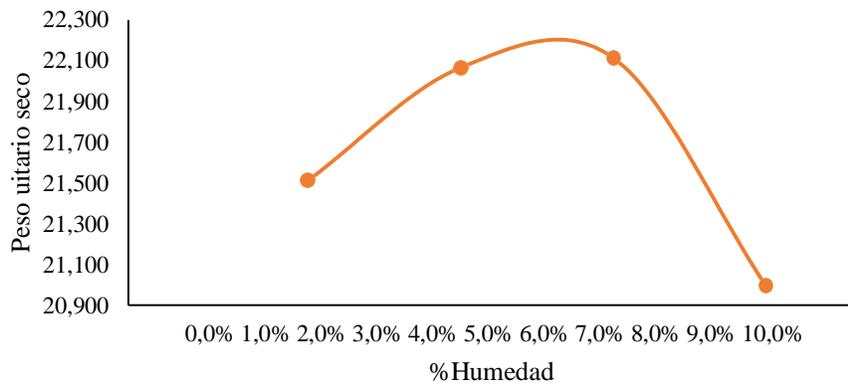
9.4.2. RÍO CHICAMOCHA 1

Tabla 24. Proctor modificado de la Sub-base del río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE CHICAMOCHA 1 INV E -142 - 13	
	Humedad Óptima 6,0%	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE
Densidad seca max 2,149 g/cm ³	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	

Fuente: Elaboración propia

**CURVA DE COMPACTACIÓN
Sub-Base Chicamocha 1**



Gráfica 11. Curva de compactación de la Sub-base del río Chicamocha 1

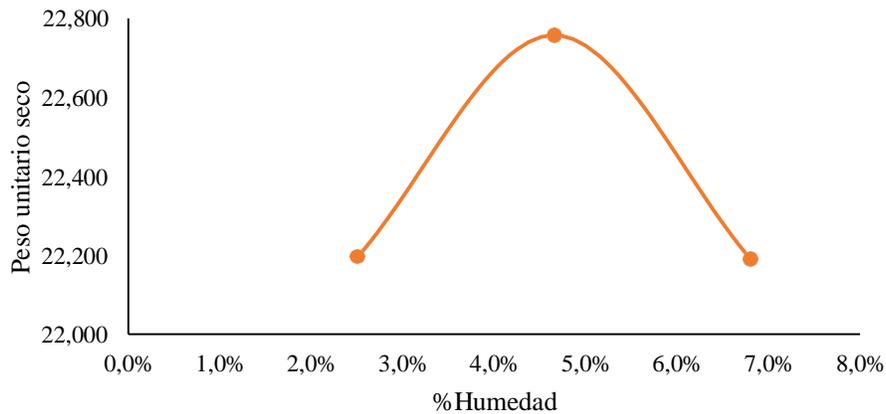
Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Proctor modificado de la Base del río Chicamocha 1

	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO BASE CHICAMOCHA 1	
	INV E -142 - 13	
Humedad Optima 4,7%	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE	
Densidad seca max 2,215 g/cm³	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	

Fuente: Elaboración propia

**CURVA DE COMPACTACIÓN
Base Chicamocha 1**



Gráfica 12. Curva de compactación de la Base del río Chicamocha 1

Fuente: Elaboración propia

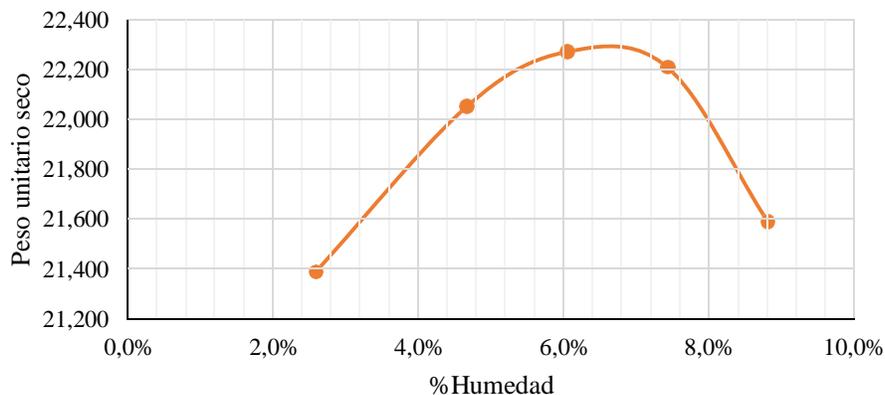
9.4.3. RÍO CHICAMOCHA 2

Tabla 26. Proctor modificado de la Sub-base del río Chicamocha 2

	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E -142 - 13	
	Humedad Optima 6,6% Densidad seca max 2,147 g/cm ³	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: Elaboración propia

CURVA DE COMPACTACIÓN Sub-Base Chicamocha 2



Gráfica 13. Curva de compactación de la Sub-base del río Chicamocha 2

Fuente: Elaboración propia

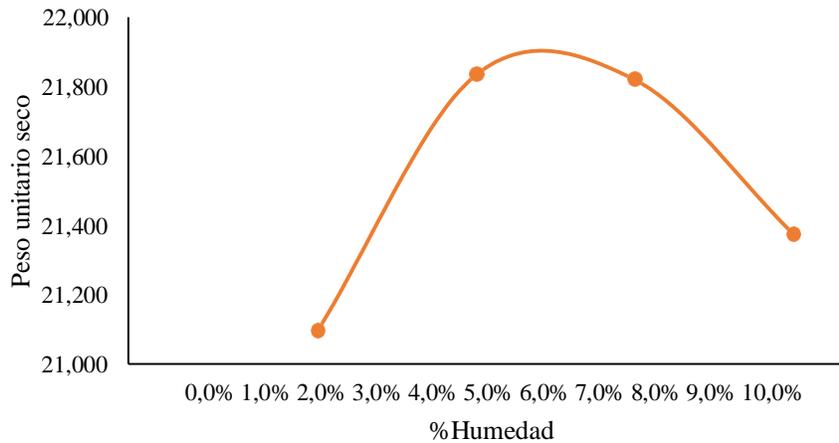
Se presentan 5 puntos de compactación en la muestra de Sub-Base del río Chicamocha puesto que esta muestra fue la primera en ser evaluada, es decir, se comenzó con un tanteo de humedades de 3%, 6%, 8%, 10% y 12%, en el cuarto punto el peso unitario seco logra disminuir con respecto al punto anterior pero no genera una curva lo suficientemente definida para determinar el porcentaje de humedad optima, así que se decidió realizar un punto adicional para darle mejor continuidad a la curva. A partir de estos resultados, se decidió un intervalo en el tanteo de humedades para las demás muestras partiendo del 3% y aumentando 3% adicional en cada punto de compactación.

Tabla 27. Proctor modificado de la Base del río Chicamocha 2

	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO BASE CHICAMOCHA 2 INV E -142 - 13	
	Humedad Optima 5,6% Densidad seca max 2,136 g/cm ³	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: Elaboración propia

Título del gráfico



Gráfica 14. Curva de compactación de la Base del río Chicamocha 2

Fuente: Elaboración propia

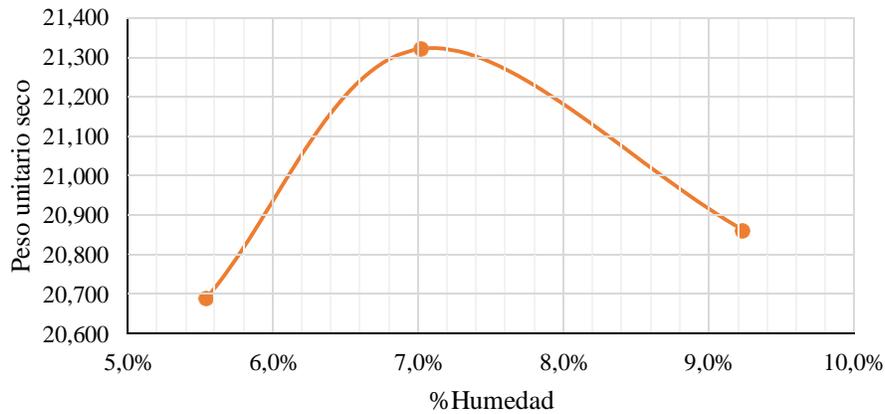
9.4.4. RÍO SURATÁ

Tabla 28. Proctor modificado de la Sub-base del río Suratá

	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE SURATÁ INV E -142 - 13	
	Humedad Optima 7,0% Densidad seca max 2,057 g/cm ³	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: Elaboración propia

CURVA DE COMPACTACIÓN Sub-Base Suratá



Gráfica 15. Curva de compactación de la Sub-base del río Suratá

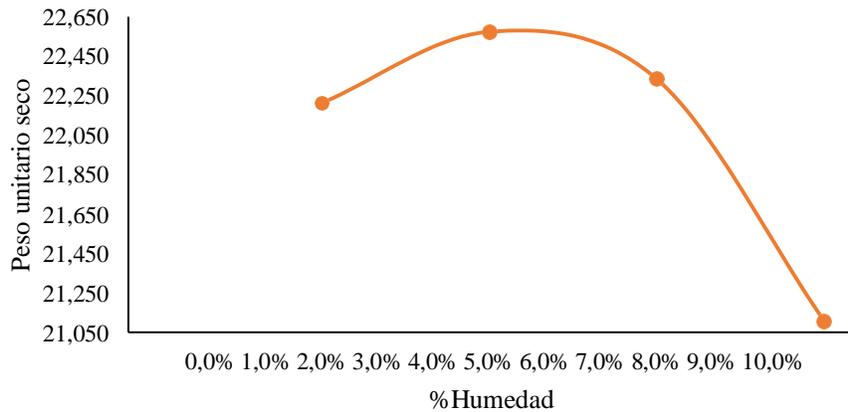
Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Proctor modificado de la Base del río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO BASE SURATÁ INV E -142 - 13	
	Humedad Óptima 5,0% Densidad seca max 2,239 g/cm ³	PROYECTO: PERMEABILIDAD EN BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: Elaboración propia

CURVA DE COMPACTACIÓN Base Suratá



Gráfica 16. Curva de compactación de la Base del río Suratá

Fuente: Elaboración propia

Los materiales evaluados que poseen curvas de compactación con solo tres puntos dentro de la gráfica se deben a que no era necesario realizar un punto adicional puesto que con tres puntos se logra apreciar de manera clara dentro de la curva el porcentaje de humedad óptima.

9.5. GRAVEDAD ESPECIFICA

9.5.1. RÍO DE ORO

Tabla 30. Gravedad específica de la Sub-base de Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana		CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS	
		SUB-BASE RÍO DE ORO	
		INV E - 223 - 13	
GE. Secada al horno	2,522	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE	
GE. Superficialmente seca	2,539	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
GE. Aparente	2,566		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Gravedad específica de la Base de Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana		CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS	
		BASE RÍO DE ORO	
		INV E - 223 - 13	
GE. Secada al horno	2,519	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE	
GE. Superficialmente seca	2,595	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
GE. Aparente	2,726		

Fuente: Elaboración propia

9.5.2. RÍO CHICAMOCHA 1

Tabla 32. Gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana		CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS	
		SUB-BASE CHICAMOCHA 1	
		INV E - 223 - 13	
GE. Secada al horno	2,537	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE	
GE. Superficialmente seca	2,552	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
GE. Aparente	2,574		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Gravedad específica de la Base de río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS BASE CHICAMOCHA 1 INV E - 223 - 13	
	GE. Secada al horno	2,621
GE. Superficialmente seca	2,640	LOCALIZACIÓN:UPBSECCIONALBUCARAMANGA
GE. Aparente	2,671	

Fuente: Elaboración propia

9.5.3. RÍO CHICAMOCHA 2

Tabla 34. Gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E - 223 - 13	
	GE. Secada al horno	2,591
GE. Superficialmente seca	2,610	LOCALIZACIÓN:UPBSECCIONALBUCARAMANGA
GE. Aparente	2,640	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Gravedad específica de la Base de río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS BASE CHICAMOCHA 2 INV E - 223 - 13	
	GE. Secada al horno	2,498
GE. Superficialmente seca	2,516	LOCALIZACIÓN:UPBSECCIONALBUCARAMANGA
GE. Aparente	2,542	

Fuente: Elaboración propia

9.5.4. RÍO SURATÁ

Tabla 36. Gravedad específica de la Sub-base de río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana	CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS SUB-BASE SURATÁ INV E - 223 - 13	
	GE. Secada al horno	2,575
GE. Superficialmente seca	2,597	LOCALIZACIÓN:UPBSECCIONALBUCARAMANGA
GE. Aparente	2,632	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Gravedad específica de la Base de río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana		CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS	
		BASE SURATÁ INVE - 143 - 13	
GE. Secada al horno	2,518	PROYECTO: PERMEABILIDAD EN BASE Y SUB BASE	
GE. Superficialmente seca	2,540	LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
GE. Aparente	2,575		

Fuente: Elaboración propia

9.6. RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELO (CBR)

9.6.1. RÍO DE ORO

Tabla 38. CBR de la Sub-base del Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE CBR	
		SUB-BASE RÍO DE ORO INV E -148 - 13	
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE	
		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
CBR			
Densidad seca (g/cm ³)	2,005	2,079	2,618
CBR 0,1"	25,1	46,1	97,0
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca máxima	2,153	58	
Densidad seca 98%	2,110	50	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. CBR de la Base del Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR BASE RÍO DE ORO INVE-148-13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	CBR		
Densidad seca (g/cm ³)	2,016	2,043	2,082
CBR 0,1"	34,4	76,7	86,6
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,120	98	
Densidad seca 98%	2,078	86	

Fuente: Elaboración propia

9.6.2. RÍO CHICAMOCHA 1

Tabla 40. CBR de la Sub-base del río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR BASE RÍO DE ORO INVE-148-13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	CBR		
Densidad seca (g/cm ³)	2,016	2,043	2,082
CBR 0,1"	34,4	76,7	86,6
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,120	98	
Densidad seca 98%	2,078	86	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. CBR de la Base del río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR BASE CHICAMOCHA 1 INVE-148 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	CBR		
Densidad seca (g/cm ³)	2,087	2,148	2,211
CBR 0,1"	22,3	62,5	98,0
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,215	99	
Densidad seca 98%	2,171	90	

Fuente: Elaboración propia

9.6.3. RÍO CHICAMOCHA 2

Tabla 42. CBR de la Sub-base del río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E -148 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	CBR		
Densidad seca (g/cm ³)	2,030	2,108	2,219
CBR 0,1"	29,5	62,8	98,0
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,147	94	
Densidad seca 98%	2,104	60	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. CBR de la Base del río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR BASE CHICAMOCHA 2 INVE-148 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	CBR		
Densidad seca (g/cm ³)	2,010	2,078	2,139
CBR 0,1"	41,3	91,7	98,0
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,136	98	
Densidad seca 98%	2,093	97	

Fuente: Elaboración propia

9.6.4. RÍO SURATÁ

Tabla 44. CBR de la Sub-base del río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR SUB-BASE SURATÁ INVE-148 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
	CBR		
Densidad seca (g/cm ³)	1,872	1,957	2,039
CBR 0,1"	21,7	24,5	36,8
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,057	37	
Densidad seca 98%	2,016	33	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. CBR de la Base del río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE CBR BASE SURATÁ INV E -148 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
CBR			
Densidad seca (g/cm ³)	2,126	2,219	2,301
CBR 0,1"	12,3	26,2	63,1
PROCTOR		CBR (%)	
Densidad seca maxima	2,282	64	
Densidad seca 98%	2,236	43	

Fuente: Elaboración propia

9.7. PERMEABILIDAD

A los resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad, se les ejecutó una corrección de temperatura, realizando una relación entre la viscosidad de la temperatura del ensayo y la viscosidad de la temperatura a 20°C. Esta corrección se efectúa para el permeámetro de cabeza constante y el permeámetro de cabeza variable con la siguiente tabla.

Tabla 46. Viscosidad dinámica para la corrección del k

TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD DINÁMICA kg/m.s
20,00	0,0001003
21,00	0,000979
22,00	0,000955
23,00	0,000933
24,00	0,000911
25,00	0,000891
26,00	0,000871

Fuente: Elaboración propia

9.7.1. RÍO DE ORO

Tabla 47. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" SUB-BASE RIO DE ORO INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
Coeficiente de permeabilidad (K):	0,00483	cm/seg
Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000889	Kg/m.s
Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003	Kg/m.s
Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,004285457	cm/seg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Coeficiente de permeabilidad de la Base del Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" BASE RIO DE ORO INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
Coeficiente de permeabilidad (K):	0,02564	cm/seg
Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000881	Kg/m.s
Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003	Kg/m.s
Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,022525423	cm/seg

Fuente: Elaboración propia

9.7.2. RÍO CHICAMOCHA 1

Tabla 49. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" SUB-BASE CHICAMOCHA 1 INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
Coeficiente de permeabilidad (K):	0,01464	cm/seg
Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000885	Kg/m.s
Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003	Kg/m.s
Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,012915045	cm/seg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Coeficiente de permeabilidad de la Base del río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" SUB-BASE CHICAMOCHA 1 INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Coeficiente de permeabilidad (K):	0,01464 cm/seg
	Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000885 Kg/m.s
	Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003 Kg/m.s
	Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,012915045 cm/seg

Fuente: Elaboración propia

9.7.3. RÍO CHICAMOCHA 2

Tabla 51. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Coeficiente de permeabilidad (K):	0,04356 cm/seg
	Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000893 Kg/m.s
	Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003 Kg/m.s
	Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,038783135 cm/seg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Coeficiente de permeabilidad de la Base del río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA VARIABLE" BASE CHICAMOCHA 2 ENSAYO No. 12 MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
	Coeficiente de permeabilidad (K):	0,00082 cm/seg
	Viscosidad Dinámica:	0,8873
	Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,00073019 cm/seg

Fuente: Elaboración propia

9.7.4. RÍO SURATÁ

Tabla 53. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" SUB-BASE SURATÁ INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
Coeficiente de permeabilidad (K):	0,03740	cm/seg
Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000899	Kg/m.s
Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003	Kg/m.s
Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,033522572	cm/seg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Coeficiente de permeabilidad de la Sub-base del río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" BASE SURATÁ INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
Coeficiente de permeabilidad (K):	0,01923	cm/seg
Viscosidad Dinámica temperatura del ensayo:	0,000899	Kg/m.s
Viscosidad Dinámica temperatura 20°C:	0,001003	Kg/m.s
Coeficiente de permeabilidad corregido:	0,017235864	cm/seg

Fuente: Elaboración propia

9.8. RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, donde se observan las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la ejecución de este proyecto de grado.

Tabla 55. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

												
ENSAYO DE GRANULOMETRIA												
RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO												
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE												
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA												
	CLASIFICACIÓN			LIMITES			% CARAS	%H	DENSIDAD	CBR	PERMEABILIDAD	
	INVÍAS 2013	AASHTO	SUCS	LL	LP	IP	FRACTURADAS	OPTIMA	SECA		CALIDAD	cm/seg
SUB-BASE												
Sub-Base río de oro	SBG-50	A-2-4 (0)	GP-GM-GC	23	17	6,5	76%	4,9%	2,153	50	BUENA	0,00429
Sub-Base Chicamocha 1	SBG-50	A-1-a (0)	SW	-	-	-	74%	6,0%	2,149	60	BUENA	0,01292
Sub-Base Chicamocha 2	SBG-50	A-1-a (0)	GP-GM	-	-	-	93%	6,6%	2,147	60	BUENA	0,03878
Sub-Base Surata	SBG-50	A-1-a (0)	SP	-	-	-	52%	7,0%	2,057	33	BUENA	0,03352
BASE												
Base río de oro	BG-38	A-1-a (0)	GW-GM	-	-	-	79%	4,3%	2,12	86	BUENA	0,02253
Base Chicamocha 1	BG-38	A-1-a (0)	GM	-	-	-	83%	4,7%	2,215	90	BUENA	0,0014
Base chicamocha 2	BG-38	A-1-a (0)	GP-GM	-	-	-	92%	5,6%	2,136	97	BUENA	0,00073
Base surata	BG-38	A-1-a (0)	SW-SM	-	-	-	53%	5,0%	2,239	43	BUENA	0,01724

Fuente: Elaboración propia

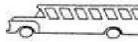
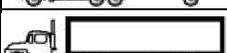
9.9. DISEÑO DE PAVIMENTO

Para realizar los diseños de pavimentos por el método AASHTO – 93 se utilizó la misma sub rasante, transito promedio diario, confiabilidad y la misma temperatura.

9.9.1. AASHTO – 93

Se halló el factor camión, el cual depende del tránsito promedio diario 81,254 vehículos, donde el 2% es de buses y 11% pertenece a camiones; estos se distribuyen como se muestra en la tabla 56.

Tabla 56. Distribución de los vehículos pesados en el TPD

			Factor de daño	# Veh Pasan	% Veh Pasan	F.D. * % VehPasan
BUSES			0,4		2	0,8
CAMIONES	C3	C2-P 	1,14	1018	1,253	1,428261993
	C4	C2-G 	2,15	940	1,157	2,487262166
	C5	C3 	3,15	111	0,137	0,430317277
	C6	C3-S1 	2,33	6874	8,460	19,71154651
	C7	C3-S3 	5,31	1	0,001	0,006535063
SUMA				13,007		24,864

Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned}
 \text{C.F.} &= \frac{\sum(\text{C.F.} * \% \text{C.F.})}{\% \text{C.F.}} \\
 \text{C.F.} &= \frac{25,478}{13,271} \\
 \text{C.F.} &= 1,92
 \end{aligned}$$

Para obtener el módulo resiliente de la Sub rasante se usó la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que ésta posee un CBR 15%

$$\begin{aligned}
 \text{M.R.} &= 4326 * \text{C.F.} + 241 \\
 \text{M.R.} &= 4326 * 1,92 + 241 \\
 \text{M.R.} &= 11956,01 \text{ [kg/cm}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

Se utiliza la siguiente fórmula para especificar el cambio del índice de servicio, teniendo en cuenta que el índice de servicio final (P_f) es de 2,0 y el inicial (P_0) es de 4,2

$$\begin{aligned}
 \Delta \text{I.S.} &= P_0 - P_f \\
 \Delta \text{I.S.} &= 4,2 - 2,0 \\
 \Delta \text{I.S.} &= 2,3
 \end{aligned}$$

Luego se determinó el número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en la vía a diseñar, el cual se efectuó por medio de la siguiente ecuación

$$\begin{aligned}
 \text{E.E.} &= \text{M.R.} * \frac{100}{365} * \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)} * \text{C.F.} \\
 \text{E.E.} &= 11956,01 * \frac{100}{365} * \frac{(1+0,007)^{10} - 1}{0,007(1+0,007)} * 1,92 \\
 \text{E.E.} &= 38'334.305
 \end{aligned}$$

Donde:

TPD = 81254 vehículos

A = Porcentaje estimado de vehículos pesados = 13%

B = Porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño = 50%

r = Rata anual de crecimiento del tránsito = 0,7%

n = Periodo de diseño = 10 años

F.C. = factor camión = 1,92

Basándose en la metodología de diseño de pavimento por el método AASHTO - 93 de este mismo trabajo de grado y con las ilustraciones 3,4 y 5, se obtiene el coeficiente estructural de la base, sub base y carpeta asfáltica, respectivamente. Además, se puede observar en las ilustraciones 7, 8 y 9.

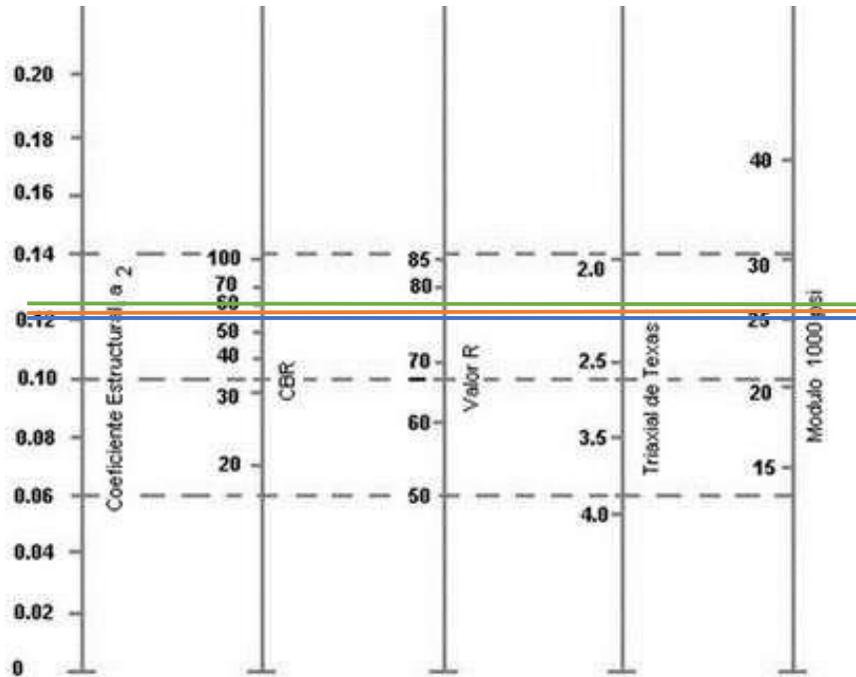


Ilustración 7. Variación de coeficiente a2 con los diferentes CBR de Base granular

Siendo: — Base río de oro CBR (86) — Base Chicamocha 1 CBR (90)
— Base Chicamocha 2 CBR (97)

Dando como resultado:

- a2 Base río de oro: 0,136
- a2 Base Chicamocha 1: 0,137
- a2 Base Chicamocha 2: 0,139

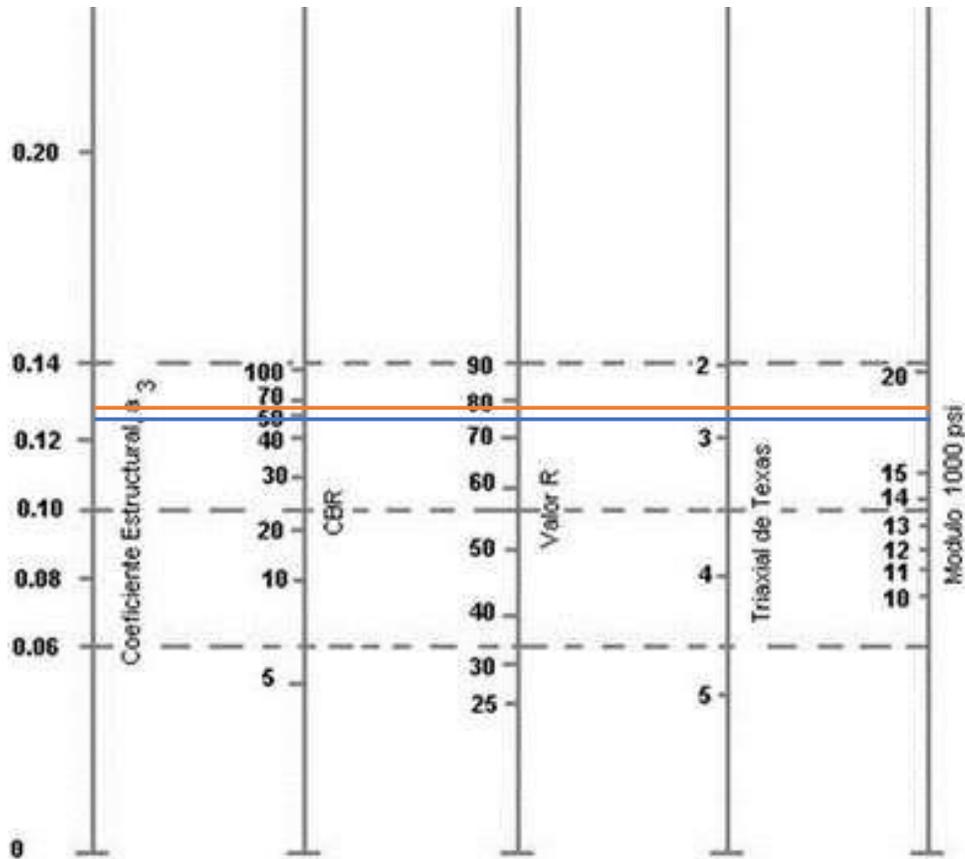


Ilustración 8. Variación de coeficiente a2 con los diferentes CBR de la sub-base granular

Siendo: Sub-Base río de oro CBR (50) Sub-Base Chicamocha 1 y Sub-Base Chicamocha 2 CBR (60)

Dando como resultado:

- a3 Sub-Base río de oro: 0,125
- a3 Sub-Base Chicamocha 1: 0,13
- a3 Sub-Base Chicamocha 2: 0,13

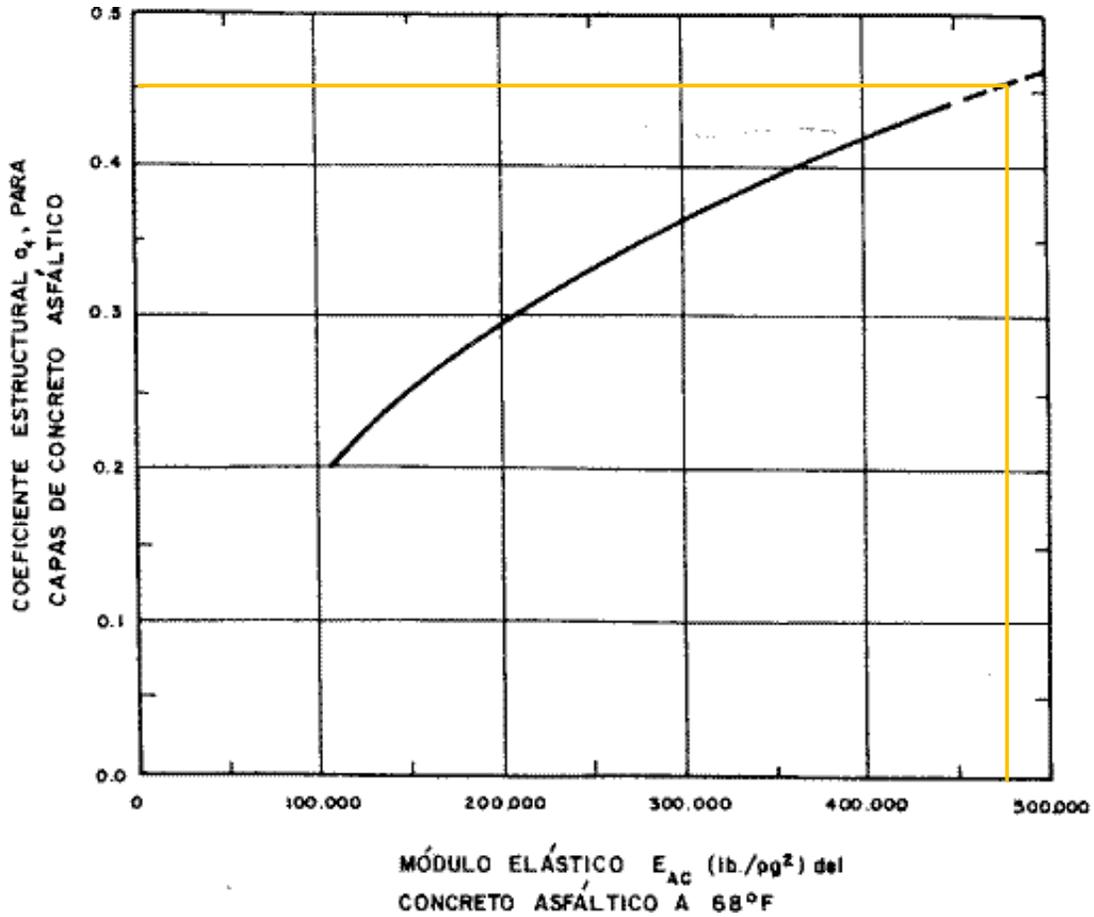


Ilustración 9. Coeficiente estructural a_1 del concreto asfáltico

Modulo elástico del concreto asfáltico = 478625 psi, dando como resultado $a_1 = 0,45$

Posteriormente se determinan los volúmenes estructurales del pavimento (SN) utilizando la ilustración 10, dichos valores se corrigen utilizando las ecuaciones descritas en la metodología numeral 8.8.1.

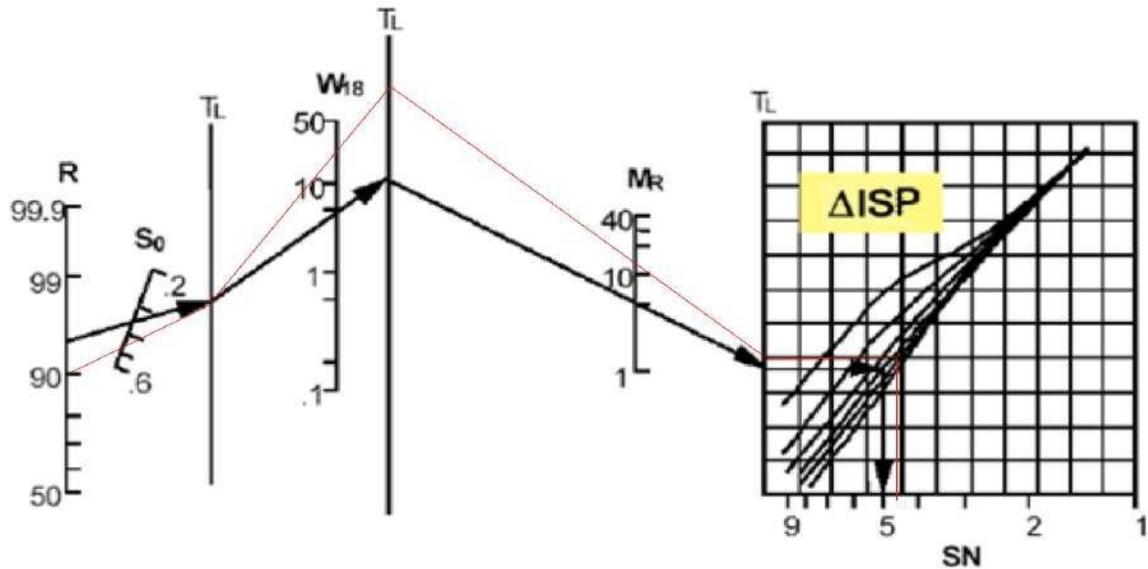


Ilustración 10. Volumen estructural de la sub-rasante (SN)

Dando como resultado la tabla 57.

Tabla 57. Valores de SN

RÍO DE ORO		CHICAMOCHA 1		CHICAMOCHA 2	
SN sub rasante	4,6	SN sub rasante	4,6	SN sub rasante	4,6
SN1 base	3,5	SN1 base	3,5	SN1 base	3,55
SN3 sub base	4,1	SN3 sub base	4	SN3 sub base	4,15
SN1 corregido	3,15	SN1 corregido	3,15	SN1 corregido	3,15
SN2 corregido	0,816	SN2 corregido	0,822	SN2 corregido	0,834
SN3 corregido	0,6	SN3 corregido	0,4824	SN3 corregido	0,468

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los volúmenes estructurales, se procede a calcular los espesores de cada capa de la estructura del pavimento, utilizando las ecuaciones para hallar D1, D2 Y D3 previamente descritas en la metodología.

Los espesores de las capas del pavimento fueron corregidos para evitar un sobre dimensionamiento de la misma, por lo tanto se relacionó el número de ejes equivalentes que soportará la estructura del pavimento (Nf) y el número de ejes equivalentes previsto, que soportará la estructura del pavimento dentro del periodo de diseño (N). Los espesores se redujeron teniendo en cuenta el costo

de los materiales de cada capa a los valores mínimos permitidos; siempre y cuando se cumpliera la condición de $N > N_f$.

9.9.1.1. RÍO DE ORO

Tabla 58. Diseño de pavimento del Río de Oro

		DISEÑO DE PAVIMENTO			
		RÍO DE ORO AASHTO-93			
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE					
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA					
Espesores obtenidos por el metodo AASHTO					
Concreto asfaltico	7,78	7	pulg	17,78	cm
Base Granular	5,82	5	pulg	12,7	cm
Sub Base Granular	4,23	4	pulg	10,16	cm
Espesores corregidos para no obtener sobre dimensionamiento					
Concreto asfaltico		3	pulg	7,62	cm
Base Granular		5	pulg	12,7	cm
Sub Base Granular		8,5	pulg	21,59	cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Estructura propuesta del Río de Oro

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA RÍO DE ORO							
ESPESOR (h)		CAPA	MODULO DINAMICO		a	m	SN
cm	pulg		Kg/cm ²	psi			
7,62	3	CA	33647,3	478625	0,45	0	1,35
12,7	5	BG	2038,7	29000	0,136	1,2	0,816
21,59	8,5	SBG	1265,4	18000	0,125	1,2	1,275
		SUBRASANTE	843,6	12000			
N	40060350,6	N>NF					
NF	38334305	DISEÑO OK					

Fuente: Elaboración propia

9.9.1.2. RÍO CHICAMOCHA 1

Tabla 60. Diseño de pavimento del río Chicamocha 1

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana</p>	DISEÑO DE PAVIMENTO RIO CHICAMOCHA 1 AASHTO-93				
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA				
	Espesores obtenidos por el metodo AASHTO				
Concreto asfaltico	7,78	7	pulg	17,78	cm
Base Granular	5,17	5	pulg	12,7	cm
Sub Base Granular	3,91	3	pulg	7,62	cm
Espesores corregidos para no obtener sobre dimensionamiento					
Concreto asfaltico		3	pulg	7,62	cm
Base Granular		5	pulg	12,7	cm
Sub Base Granular		8	pulg	20,32	cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61. Estructura propuesta del río Chicamocha 1

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA RÍO CHICAMOCHA 1							
ESPESOR (h)		CAPA	MODULO DINAMICO		a	m	SN
cm	pulg		Kg/cm ²	psi			
7,62	3	CA	33647,3	478625	0,45	0	1,35
12,7	5	BG	2038,7	29000	0,137	1,2	0,822
20,32	8	SBG	1335,7	19000	0,134	1,2	1,286
		SUBRASANTE	843,6	12000			
N	41446706,7	N>NF					
NF	38334305	DISEÑO OK					

Fuente: Elaboración propia

9.9.1.3. RÍO CHICAMOCHA 2

Tabla 62. Diseño de pavimento del río Chicamocha 2

					
DISEÑO DE PAVIMENTO					
RÍO CHICAMOCHA 2					
AASHTO-93					
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE					
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA					
Espesores obtenidos por el metodo AASHTO					
Concreto asfáltico	7,89	7	pulg	17,78	cm
Base Granular	6,00	5	pulg	12,7	cm
Sub Base Granular	3,95	3	pulg	7,62	cm
Espesores corregidos para no obtener sobre dimensionamiento					
Concreto asfáltico		3	pulg	7,62	cm
Base Granular		5	pulg	12,7	cm
Sub Base Granular		8	pulg	20,32	cm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Estructura propuesta del río Chicamocha 2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA RÍO CHICAMOCHA 1							
ESPESOR (h)		CAPA	MODULO DINAMICO		a	m	SN
cm	pulg		Kg/cm ²	psi			
7,62	3	CA	33647,3	478625	0,45	0	1,35
12,7	5	BG	2038,7	29000	0,137	1,2	0,822
20,32	8	SBG	1335,7	19000	0,134	1,2	1,286
		SUBRASANTE	843,6	12000			
N	41446706,7	N>NF					
NF	38334305	DISEÑO OK					

Fuente: Elaboración propia

9.9.2. STREETPAVE 12

Como primer paso se ingresaron los datos de tipo de vía, TPD, tasa de crecimiento anual de vehículos, periodo de diseño, porcentaje estimado de vehículos pesados, porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño, el periodo de diseño.

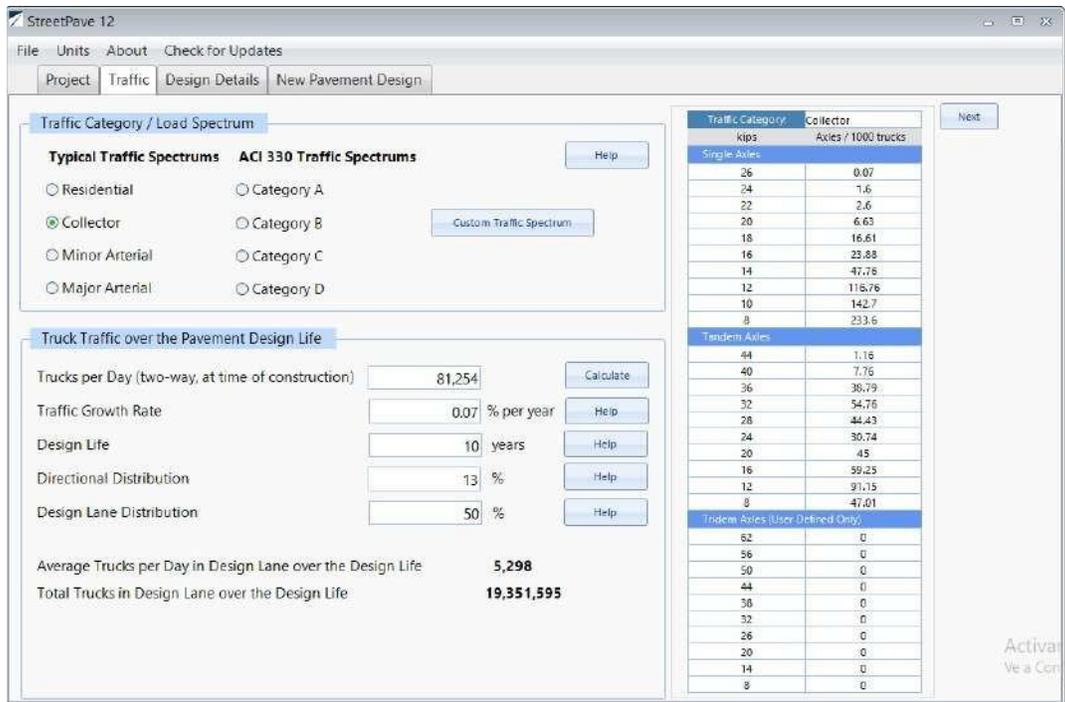


Ilustración 11. Datos de tránsito StreetPave 12
Fuente: Software StreetPave 12

Como segundo paso se ingresaron los datos de confiabilidad, índice de servicio y módulos resiliente de la sub-rasante.

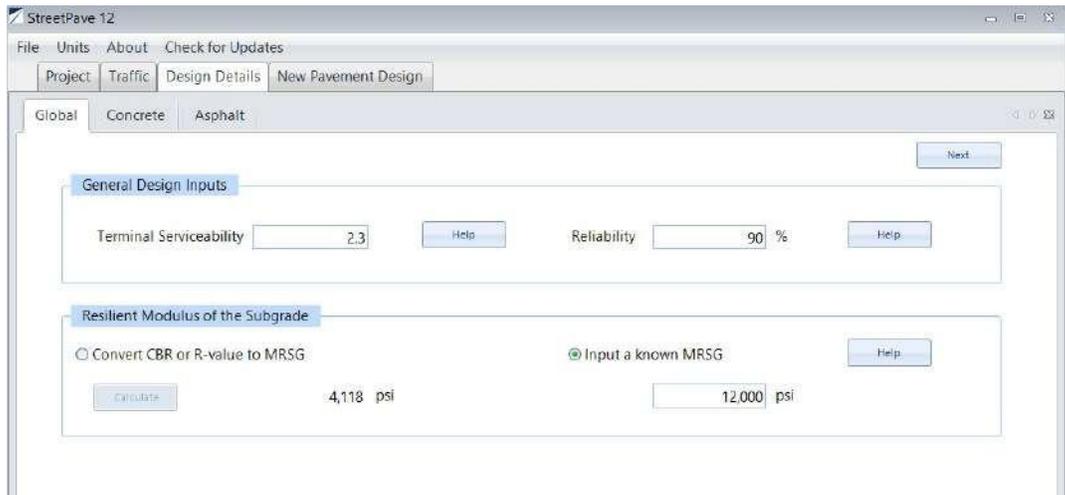


Ilustración 12. Datos globales del diseño
Fuente: Software StreetPave 12

Como tercer paso se ingresaron los datos de los módulos resilientes de la base y sub-base granular con sus respectivos espesores obtenidos en el diseño manual.

Calculate k-value

Resilient Modulus of the Subgrade: 12,000 psi
 Corresponding Subgrade Static k-value: 230 psi/in.

To determine the k-value for a subbase layer system, use the calculator tool below. First input the subbase(s)

Step 1 - From the Top Down, Input Subbase(s) Modulus of Elasticity and

Number of subbase layers between subgrade and concrete pavement: 2 Layers

Top Layer: Unstabilized Subbase (e.g., sand/gravel, crushed stone)

Layer Modulus of Elasticity: 29,000 psi
 Allowable Range: 15,000 - 45,000

Layer Thickness: 5 in.

Layer 2: Unstabilized Subbase (e.g., sand/gravel, crushed stone)

Layer Modulus of Elasticity: 18,000 psi
 Allowable Range: 15,000 - 45,000

Layer Thickness: 8.5 in.

Layer 3: Choose Layer

Layer Modulus of Elasticity: 0 psi
 Allowable Range: Choose Layer Type

Layer Thickness: 0 in.

Help

Help

*Ilustración 13. Datos Río de Oro StreetPave 12
 Fuente: Software StreetPave 12*

Calculate k-value

Resilient Modulus of the Subgrade: 12,000 psi
 Corresponding Subgrade Static k-value: 230 psi/in.

To determine the k-value for a subbase layer system, use the calculator tool below. First input the subbase(s)

Step 1 - From the Top Down, Input Subbase(s) Modulus of Elasticity and

Number of subbase layers between subgrade and concrete pavement: 2 Layers

Top Layer: Unstabilized Subbase (e.g., sand/gravel, crushed stone)

Layer Modulus of Elasticity: 29,000 psi
 Allowable Range: 15,000 - 45,000

Layer Thickness: 5 in.

Layer 2: Unstabilized Subbase (e.g., sand/gravel, crushed stone)

Layer Modulus of Elasticity: 19,000 psi
 Allowable Range: 15,000 - 45,000

Layer Thickness: 8 in.

Layer 3: Choose Layer

Layer Modulus of Elasticity: 0 psi
 Allowable Range: Choose Layer Type

Layer Thickness: 0 in.

Help

Help

*Ilustración 14. Datos río Chicamocha 1 StreetPave 12
 Fuente: Software StreetPave 12*

Calculate k-value

Resilient Modulus of the Subgrade: 12,000 psi
 Corresponding Subgrade Static k-value: 230 psi/in.

To determine the k-value for a subbase layer system, use the calculator tool below. First input the subbase(s)

Step 1 - From the Top Down, Input Subbase(s) Modulus of Elasticity and

Number of subbase layers between subgrade and concrete pavement: 2 Layers

Top Layer: Unstabilized Subbase (e.g., sand/gravel, crushed stone)

Layer Modulus of Elasticity: 28,900 psi
 Allowable Range: 15,000 - 45,000

Layer Thickness: 5 in.

Layer 2: Unstabilized Subbase (e.g., sand/gravel, crushed stone)

Layer Modulus of Elasticity: 18,500 psi
 Allowable Range: 15,000 - 45,000

Layer Thickness: 8 in.

Layer 3: Choose Layer

Layer Modulus of Elasticity: 0 psi
 Allowable Range: Choose Layer Type

Layer Thickness: 0 in.

Help

Help

*Ilustración 15. Datos del río Chicamocha 2 StreetPave 12
 Fuente: Software StreetPave 12*

Como cuarto paso se ingresaron los datos de la temperatura de la zona y coeficiente de variación de la sub-rasante, el cual se dejó con el valor preestablecido por programa.

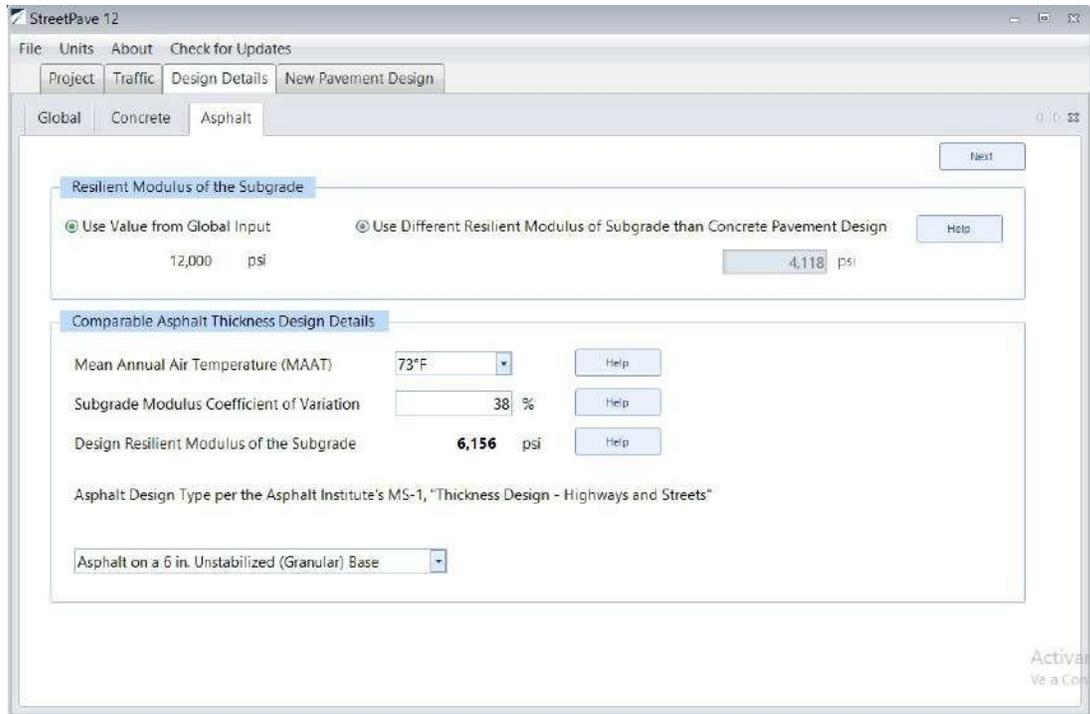


Ilustración 16. Datos temperatura StreetPave 12
Fuente: Software StreetPave 12

Y por último se da clic en correr diseño.

A continuación se muestra los resultados generados por el programa StreetPave 12 para cada diseño teniendo en cuenta los datos respectivos de cada río.

Design and Analysis Summary

Main Report

7/30/2019 Engineer: Carolina Plata, Johana Diaz

Inputs

Design Life: 10 years

Traffic

Traffic Category: Residential

Direction Distribution: 13

Design Lane Distribution: 50

ADT: 81,254 per day
(average daily truck traffic, two-way, all lanes)

Truck Traffic Growth: 0.07 % per year

Flexible ESALs =

Axle Load, kips	Axles per 1000 Trucks
Single Axles	
22	0.96
20	4.23
18	15.81
16	36.02
14	56.11
12	124
10	204.96
8	483.1
6	732.28
4	1683.31
Tandem Axles	
36	4.19
32	69.59
28	68.48
24	39.18
20	57.1
16	75.02
12	139.3
8	85.59
4	31.0
0	0
Tridem Axles	

Design and Analysis Summary

Main Report

7/30/2019 Engineer: Carolina Plata, Johana Diaz

Support Conditions

Subgrade:

$M_{RSG} [user-entered] = 4,118.00 \text{ psi}$ $M_{RSG} [design] = 0.000.00 \text{ psi}$

$M_{RSG} [design] = M_{RSG} [user-entered] * (1 - ZR * COV)$
 Where:
 ZR = standard normal variate, calculated from user-entered reliability (R)
 COV = coefficient of variation typical of the project type and soils for the project

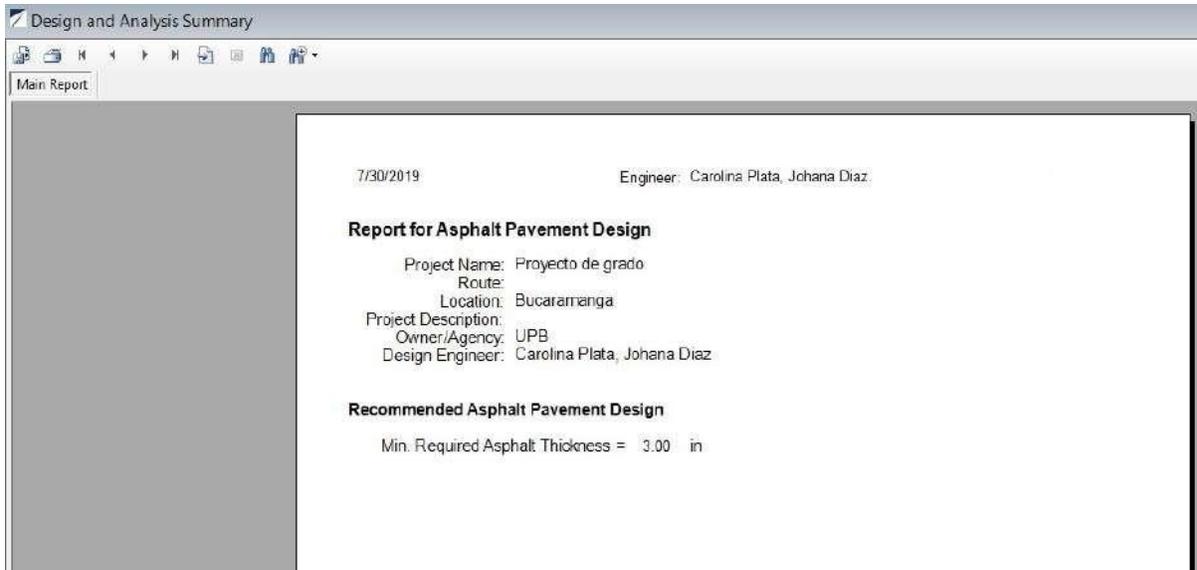
Coefficient of Variation = 38 %

Subbase: 6 inch Granular Base

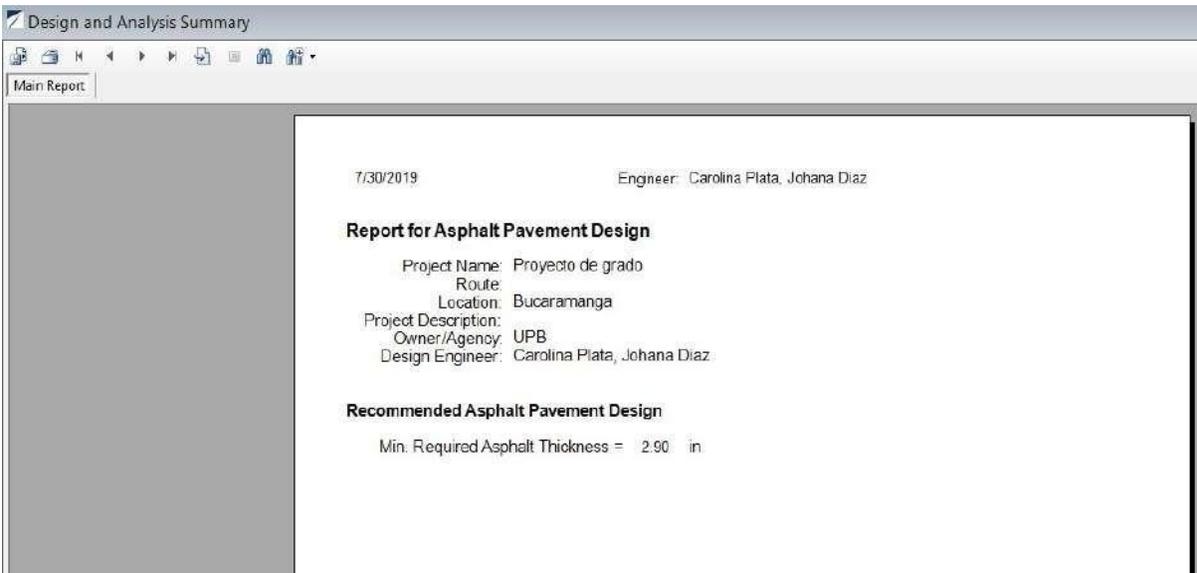
Reliability

Specified Reliability = 90 %

Ilustración 17. Resultados generados por el Software StreetPave 12
 Fuente: Software StreetPave 12



*Ilustración 18. Resultados generados por StreetPave 12 para el Río de Oro.
Fuente: Software StreetPave 12*



*Ilustración 19. Resultados generados por StreetPave 12 para el río Chicamocha 1.
Fuente: Software StreetPave 12*

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Considerando la clasificación de las muestras dentro de este proyecto de grado, se observó que todas las bases granulares se encuentran en el rango establecido para ser nombradas BG-38 y todas las Sub-Bases Granulares se encuentran en el rango establecido para ser nombradas SBG-50 según la Norma Colombiana INVÍAS 2013. Así mismo, se observó que cada muestra posee una clasificación diferente dentro de la metodología SUCS pero todas presentan la misma clasificación A-1-a (0) dentro de la metodología AASHTO, excepto la Sub-Base de río de oro.

Se presenta una diferencia en el material de sub-base del río Rio de Oro con respecto a las demás muestras, ya que es el único material que posee límites de Atterberg, esto se atribuye a su clasificación GP-GM-GC, pues posee una mezcla de grava, arena y arcilla dentro de sus partículas. En el caso del material de sub-base del río Chicamocha 1, a pesar de ser clasificado según la metodología SUCS como una arena bien gradada, se observa en la gráfica 3 que cumple dentro de los parámetros establecidos de granulometría para una sub-base SBG-50 según la Norma Colombiana INVÍAS 2013. Todas esas observaciones se relacionan también con que la clasificación inicial del material no afecta su comportamiento mecánico ni en gran medida su permeabilidad.

Los materiales con partículas que poseen caras fracturadas juegan un papel muy importante dentro de la estructura del pavimento pues estas partículas se entrelazan para generar estabilidad y permitir el paso del agua dentro de la misma. Los materiales provenientes de río Chicamocha 2 presentan los porcentajes de caras fracturadas más altos (93% y 92%) en sub-base y base respectivamente, esto se debe a la diferencia en la calidad de la maquinaria dentro del proceso de trituración. Los porcentajes de caras fracturadas se ven directamente relacionados con los valores

de permeabilidad obtenidos en la sub-base del mismo río, ya que presenta el valor más alto de permeabilidad (0,03878 cm/seg) con respecto a las demás muestras.

Al analizar los resultados del ensayo de relación de soporte del suelo (CBR) obtenidos de la muestra de base del río Suratá, se evidencia que no cumple los requisitos mínimos de $\text{CBR} \geq 80\%$ establecidos por la Norma Colombiana INVÍAS 2013 ya que presenta un CBR de 40% al 98% de la densidad seca. Considerando esto y los resultados de los demás ensayos de caracterización y pruebas mecánicas realizados en la base y sub-base del mismo río, donde el CBR de la sub-base (CBR=36%) cumple al límite con la Norma Colombiana INVÍAS 2013 ($\text{CBR} \geq 30\%$), se decidió no realizar el diseño de pavimentos para estos dos materiales. Se cree que los CBR tan bajos que se obtienen para la base y la sub-base del río Suratá es por la baja cantidad de partículas fracturadas, dado que las partículas lisas no se pueden entrelazar al momento de compactarla para generar una buena compactación y a su vez un buen soporte de suelo.

Los valores de permeabilidad mostrados en la tabla 64 presentan similitudes de acuerdo al ensayo de laboratorio que se realizó en cada material, según su contenido de finos. Teniendo en cuenta la diferencia en el método empleado para calcular los valores de permeabilidad de las dos Bases del río Chicamocha, es normal que estas muestras presenten valores más pequeños que los valores de las demás, a pesar de esto, en su totalidad las 4 Bases y las 4 Sub-Bases evaluadas, presentan valores dentro del rango permitido para inferir un buen drenaje, según lo estipulado en la tabla 1.

Tabla 64. Valores de creciente de permeabilidad (k)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD	
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASES Y SUB BASE	
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
Base Rio de Oro	0,02253 cm/seg
Base Chicamocha 1	0,00140 cm/seg
Base Chicamocha 2	0,00073 cm/seg
Base Suratá	0,01724 cm/seg
Sub-base Rio de oro	0,00428 cm/seg
Sub-base Chicamocha 1	0,01292 cm/seg
Sub-base Chicamocha 2	0,03878 cm/seg
Sub-ase suratá	0,03352 cm/seg

Fuente: elaboración propia

Es fundamental corregir los diseños de los espesores de cada capa del pavimento, teniendo en cuenta el número de aplicaciones de ejes equivalentes previstos que soportará el pavimento y el número real de aplicaciones de ejes equivalentes que soportará el pavimento en el periodo de diseño. Por consiguiente, se redujeron los espesores a las medidas reales que se muestran en las tablas 59, 61 y 63 para evitar un sobre dimensionamiento del proyecto, que generaría sobre costos innecesarios.

Al usar el software de diseño de pavimentos StreetPave 12, se observa que este arroja como resultado el espesor mínimo de la capa asfáltica, mas no los espesores mínimos necesarios para las capas de Base y Sub-Base, ya que dichos valores se encuentran entre los requerimientos para ejecutar el diseño dentro del software. Los espesores mínimos de la capa asfáltica en cada diseño concuerdan con los obtenidos mediante el diseño manual, pues se encuentran ligeramente por debajo del valor estipulado en la corrección del dimensionamiento de los espesores diseñados. En cuanto a los espesores de la capa de Base y Sub-Base no fue posible realizar una comprobación o comparación de los valores puesto que el software no arroja dichos resultados.

11. CONCLUSIONES

- Los materiales de Base y Sub-Base provenientes del Río Chicamocha (2) presentan mejores condiciones mecánicas y de soporte que los materiales del Río Chicamocha (1), a pesar de ser provenientes del mismo río, se puede inferir que el proceso de trituración de cada empresa hace una gran diferencia en la calidad final del material.

- Los materiales evaluados provenientes del río Chicamocha y el río de Oro cumplen en su totalidad con los requerimientos mínimos exigidos en cada prueba realizada por la Norma Colombiana INVÍAS 2013, a pesar de tener dos tipos de Base y Sub-Base provenientes del mismo río, el material procedente del río Chicamocha (2) presenta un porcentaje más alto de partículas fracturadas y mejor relación de soporte con respecto a los demás materiales evaluados, por lo que se considera el material más óptimo para ser utilizado en la construcción de vías. Aun así, los materiales restantes de estos dos ríos son apropiados para su utilización en Base y Sub-Base dentro del área metropolitana de Bucaramanga.

- El material de Sub-Base del río Suratá a pesar de cumplir con todos los requerimientos mínimos exigidos por la Norma Colombia INVÍAS 2013, no se considera apropiado para su utilización en la construcción de vías, puesto que se clasifica como una arena pobremente gradada con un porcentaje de 52% de partículas fracturadas y una relación de soporte de CBR de 33%. Con respecto a la Base de este mismo río se descarta el material, debido a su baja relación de soporte de CBR de 40% que no cumple con el valor mínimo para su utilización según INVÍAS 2013. Los valores de CBR tan bajos, se pueden atribuir al poco porcentaje de partículas con caras fracturadas presentes en cada material, pues esto interfiere en la fricción

entre ellas y por lo tanto contribuye a que la capacidad portante del material no sea la requerida por la norma.

- Se considera que todos los materiales evaluados presentan una buena permeabilidad a pesar de la diferencia en el contenido de finos, al estar todos los valores dentro del mismo rango de clasificación. Aun así, se considera que no es suficiente con el hecho de tener buena permeabilidad en los materiales dentro de la estructura del pavimento, sino que es necesario tener un buen sistema de drenes longitudinales para la recolección del agua.
- Teniendo en cuenta la similitud en los valores de permeabilidad de las muestras de Base y Sub-Base, los tres diseños de pavimentos que se realizaron, presentan igualmente grandes similitudes en las magnitudes de los espesores de cada capa, de lo cual se puede inferir que una buena permeabilidad en los materiales de soporte conlleva a un ahorro en costos totales del proyecto, puesto que los espesores de cada capa deberán ser mayores si las condiciones de permeabilidad bajan.
- Con base en las propiedades físicas y mecánicas evaluadas en las pruebas de laboratorio realizadas en este trabajo de grado, los materiales de las empresas que operan con materiales extraídos del río Chicamocha y el río de oro, se consideran adecuados para ser usados en la elaboración de futuros diseños de pavimentos en el área metropolitana de Bucaramanga; siempre y cuando se tenga en cuenta el proceso de trituración de los mismos y procesos constructivos adecuados cumpliendo las especificaciones para la construcción de carreteras INVIAS 2013.

- Los resultados obtenidos en cuanto a los espesores de la capa asfáltica mediante el método de diseño manual y utilizando el software StreetPave 12 concuerdan, ya que los espesores estipulados mediante el método manual se encuentran ligeramente por encima de los valores mínimos presentados por el software StreetPave 12. Con respecto a los espesores de las capas de Base y Sub-Base no se obtuvieron resultados por parte del software.

12. RECOMENDACIONES

- Debido a que los resultados del ensayo de caras fracturadas (52% y 53%) para las muestras de Sub-Base y Base respectivamente del Río Suratá se encuentran sobre el límite mínimo permitido por la Norma Colombiana INVÍAS 2013, es recomendable considerar otra empresa trituradora que distribuya este tipo de material antes de descartar la calidad del material proveniente del Río Suratá para ser empleado en Bases y Sub-Bases o utilizar algún estabilizante para mejorar las condiciones del material.
- Es recomendable exigir a la empresa los resultados de los ensayos de caracterización y pruebas mecánicas de cada material antes de adquirirlo, puesto que el proceso de trituración puede variar con el tiempo debido a las temporadas de lluvias, dentro de cada empresa y los valores presentados en este proyecto de grado pueden no corresponder.
- Dentro del diseño de pavimentos según la metodología AASHTO 93, es recomendable el uso de ecuaciones u otros métodos de ayuda para el cálculo de los coeficientes estructurales, módulos resilientes y los volúmenes estructurales de cada material, ya que las gráficas existentes para calcular estos valores, presentan un alto porcentaje de suposición según la perspectiva visual de cada persona.
- Es necesario realizar el diseño de pavimento de forma manual antes de proceder a utilizar cualquier tipo de software de diseño, ya que muchos de estos están diseñados para calcular los espesores de cada capa, sino para predecir el comportamiento de la estructura previamente diseñada y comprobar la viabilidad de la misma. En este caso se pudo observar que el software únicamente arrojaba el espesor mínimo requerido para la capa asfáltica.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. F. Gómez García y E. A. Delgadillo Vargas, Caracterización mecánica y petrográfica de materiales de base granular BG-25 a partir de noras IDU e INVÍAS, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José, 2015.
- [2] J. A. Vera Castro y A. M. Suárez Piñeros, Caracterización físico mecánica y mineralógica de los agregados extraídos del depósito Acopios en Sopó Cundinamarca para su uso en pavimentos, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2017.
- [3] J. R. Pacanguí Pérez y G. R. Cely Blanco, Estudio experimental sobre correlación entre los parámetros California bearing ratio (CBR) con las propiedades índice de las sub-bases, caso Pescadero, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.
- [4] J. M. Garzón Rodríguez y F. A. Baez Pastrana, Efectos del flujo del agua superficial y subterránea en la estructura de los pavimentos flexibles, Bogotá: Universidad La Gran Colombia, 2015.
- [5] F. R. Labrador, «Historia de los pavimentos urbanos,» *Cimbra*.
- [6] A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimento para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena de Fierro, 1998.
- [7] C. M. G. Cárdenas, O. M. Garro Cossio y L. Gallego Arias, Pavimentos, Medellín: Universidad de Medellín, 1997.
- [8] C. Giordani y D. Leone, PAVIMENTOS, Rosario: Universidad Tecnológica Nacional.
- [9] H. A. R. Quintana y F. A. Reyes Lizcano, PAVIMENTOS -Materiales, construcción y diseño, Bogotá: ECOE Ediciones, 2015.
- [10] N. C. INVÍAS, Artículo 330: Base Granular, 2013.
- [11] N. C. INVÍAS, Artículo 320: Sub-base granular.
- [12] R. cemento, «Las bases permeables ayudan a resolver los problemas de drenaje de los pavimentos,» *Revista cemento*, 2.
- [13] B. M. Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica, Sacramento: Cengage Learning, 2013.
- [14] Escuela Colombiana de ingeniería, Ingeniería de pavimentos, Bogotá.
- [15] W. Roy, Fundamentos de mecánica de suelos, 1994.
- [16] L. C. C. Galvis, Diseño de pavimento flexible por medio del software Pavement de AASHTOware y manual de uso primario, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2017.
- [17] INVÍAS. [En línea]. Available: <https://invias.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=347d03e2d66842b2b9866f10dfc3e1a9#>.
- [18] D. d. t. d. Bucaramanga, «Parque automotor del área metropolitana de Bucaramanga,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.transitobucaramanga.gov.co/files/2019/estadisticas/parque-automotor-area-metropolitana-corte-31-diciembre-2018.png>.
- [19] H. A. R. Quintana y F. A. Reyes Lizcano, PAVIMENTOS- Materiales, construcción y diseño, Bogotá: ECOE Ediciones, 2015.

ANEXOS

Anexo 1. Datos granulometría de la Sub-base de Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE GRANULOMETRIA SUB-BASE RIO DE ORO RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13				
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA				
	P. Antes de lavado (g)	22200	Clasificación S.U.C.S		GP-GM-GC
P. Despues de lavado (g)	20446	Clasificación AASHTO		A-2-4 (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
2"	50	0	0%	0%	100%
1 ½"	37,5	130,9	1%	1%	99%
1"	25	4580	21%	21%	79%
1/2"	12,5	6400	29%	50%	50%
3/8"	9,5	1830	8%	58%	42%
#4	4,75	2230	10%	68%	32%
#10	2	1380	6%	75%	25%
#40	0,425	2180	10%	84%	16%
#200	0,075	1550	7%	91%	9%
Pasa 200		1844	8,3%	99,7%	0,3%
PESO TOTAL		22125			

Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Datos de granulometría de la Base de Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE GRANULOMETRIA BASE RIO DE ORO RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13				
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA				
	P. Antes de lavado (g)	18200	Clasificación S.U.C.S		GW-GM
P. Despues de lavado (g)	17320	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
1 ½"	37,5	0	0%	0%	100%
1"	25	2180	12%	12%	88%
3/4"	19	1570	9%	21%	79%
3/8"	9,5	2930	16%	37%	63%
#4	4,75	2330	13%	50%	50%
#10	2	2480	14%	63%	37%
#40	0,425	3680	20%	83%	17%
#200	0,075	2000	11%	94%	6%
Pasa 200		990	5%	100%	
PESO TOTAL		18160			

Fuente: elaboración propia

Anexo 3. Datos de granulometría de la Sub-base de río Chicamocha 1

		ENSAYO DE GRANULOMETRIA SUB-BASE CHICAMOCHA 1 RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
P. Antes de lavado (g)	20550	Clasificación S.U.C.S		SW	
P. Despues de lavado (g)	18672,57	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
2"	50	219,74	1%	1%	99%
1 ½"	37,5	1385,5	7%	8%	92%
1"	25	3555,6	17%	25%	75%
1/2"	12,5	2730,1	13%	38%	62%
3/8"	9,5	935,2	5%	43%	57%
#4	4,75	1332,8	6%	49%	51%
#10	2	1596,9	8%	57%	43%
#40	0,425	4640	23%	80%	20%
#200	0,075	1990	10%	89%	11%
Pasa 200		2087,43	10,2%	99,6%	0,4%
PESO TOTAL		20473			

Fuente: elaboración propia

Anexo 4. Datos de granulometría de la Base de río Chicamocha 1

		ENSAYO DE GRANULOMETRIA BASE CHICAMOCHA 1 RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
P. Antes de lavado (g)	18050	Clasificación S.U.C.S		GM	
P. Despues de lavado (g)	15773,87	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
1 ½"	37,5	62,6	0%	0%	100%
1"	25	2793	15%	16%	84%
3/4"	19	2888,2	16%	32%	68%
3/8"	9,5	3225	18%	50%	50%
#4	4,75	1260	7%	57%	43%
#10	2	1246,1	7%	64%	36%
#40	0,425	2487,87	14%	77%	23%
#200	0,075	1752	10%	87%	13%
Pasa 200		2334,97	13%	100%	0%
PESO TOTAL		18050			

Fuente: elaboración propia

Anexo 5. Datos de granulometría de la Sub-base de río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE GRANULOMETRIA SUB-BASE CHICAMOCHA 2 RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
P. Antes de lavado (g)	21750	Clasificación S.U.C.S		GP-GM	
P. Despues de lavado (g)	19930,72	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
2"	50	445	2%	2%	98%
1 ½"	37,5	3255,63	15%	17%	83%
1"	25	3177,44	15%	32%	68%
1/2"	12,5	3528,3	16%	48%	52%
3/8"	9,5	998,56	5%	52%	48%
#4	4,75	2117,4	10%	62%	38%
#10	2	1832,4	8%	71%	29%
#40	0,425	2473	11%	82%	18%
#200	0,075	1753,6	8%	90%	10%
Pasa 200		2161,18	9,9%	100,0%	0,0%
PESO TOTAL		21743			

Fuente: elaboración propia

Anexo 6. Datos de granulometría de la Base de río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE GRANULOMETRIA BASE CHICAMOCHA 2 RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
P. Antes de lavado (g)	18650	Clasificación S.U.C.S		GP-GM	
P. Despues de lavado (g)	16547,17	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
1 ½"	37,5	0	0%	0%	100%
1"	25	1878,76	10%	10%	90%
3/4"	19	2127,32	11%	21%	79%
3/8"	9,5	4400	24%	45%	55%
#4	4,75	2153,22	12%	57%	43%
#10	2	1689,42	9%	66%	34%
#40	0,425	2074,07	11%	77%	23%
#200	0,075	2168,38	12%	88%	12%
Pasa 200		2152,83	12%	100%	0%
PESO TOTAL		18644			

Fuente: elaboración propia

Anexo 7. Datos de granulometría de la Sub-base de río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE GRANULOMETRIA SUB-BASE SURATÁ RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
P. Antes de lavado (g)	20600	Clasificación S.U.C.S		SP	
P. Despues de lavado (g)	20545	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
2"	50	0	0%	0%	100%
1 ½"	37,5	1006	5%	5%	95%
1"	25	2745	13%	18%	82%
1/2"	12,5	3487	17%	35%	65%
3/8"	9,5	1079	5%	40%	60%
#4	4,75	1746	8%	49%	51%
#10	2	2146	10%	59%	41%
#40	0,425	7621	37%	96%	4%
#200	0,075	687	3%	100%	0%
Pasa 200		81	0,1%	99,7%	0,3%
PESO TOTAL		20598			

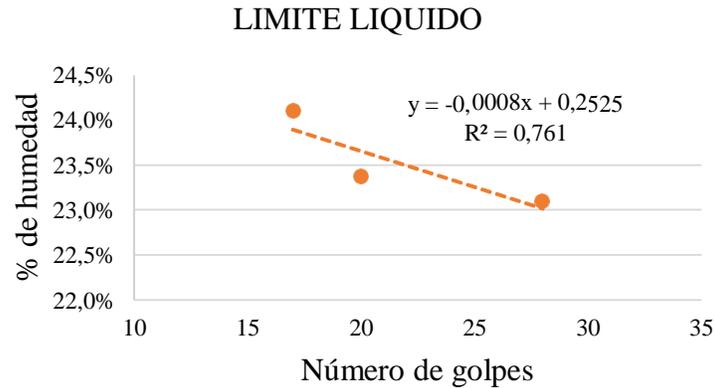
Fuente: elaboración propia

Anexo 8. Datos de granulometría de la Base de río Suratá

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE GRANULOMETRIA BASE SURATÁ RESULTADO DE LABORATORIO INV E - 213 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
P. Antes de lavado (g)	18700	Clasificación S.U.C.S		SW-SM	
P. Despues de lavado (g)	17300	Clasificación AASHTO		A-1-a (0)	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% PASA
1 ½"	37,5	588	3%	3%	97%
1"	25	696	4%	7%	93%
3/4"	19	1529	8%	15%	85%
3/8"	9,5	3277	18%	33%	67%
#4	4,75	2359	13%	45%	55%
#10	2	1249	7%	52%	48%
#40	0,425	5968	32%	84%	16%
#200	0,075	1577	8%	92%	8%
Pasa 200		1431	8%	100%	0%
PESO TOTAL		18674			

Fuente: elaboración propia

Anexo 9. Gráfica del porcentaje de humedad



Fuente: elaboración propia

Anexo 10. Datos de proctor modificado de la Sub-base Río de Oro

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE RIO DE ORO INV E -142 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
MOLDE			
Altura (cm)	11,7		
Diametro (cm)	15,3		
Peso (g)	5832		
Volumen (cm ³)	2151,09		
ENSAYO			
% Humedad estimado	3%	6%	9%
Peso molde + SH (g)	10442	10810	10725
Peso suelo humedo (g)	4610	4978	4893
HUMEDAD			
# Capsula	13	103	109
Peso capsula (g)	21	31,6	32,1
Peso Cap + SH (g)	122,2	135,9	126,8
Peso Cap + SS (g)	118,2	128,63	118,74
Peso suelo seco (g)	97,2	97,03	86,64
Peso agua (g)	4	7,27	8,06
Densidad humeda (g/cm ³)	2,143	2,314	2,275
Densidad seca (g/cm ³)	2,058	2,153	2,081
% Humedad	4,1%	7,5%	9,3%
% Humedad corregido	2,7%	4,9%	7,2%
y' seco (g/cm ³)	20,186	21,112	20,408
y' seco corregido (g/cm ³)	21,186	21,944	21,369

Fuente: elaboración propia

Anexo 11. Datos de proctor modificado de la Base Río de Oro

		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO			
		BASE RIO DE ORO			
		INV E -142 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE			
		OCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
MOLDE					
Altura (cm)	11,7				
Diametro (cm)	15,3				
Peso (g)	5832				
Volumen (cm ³)	2151,09				
ENSAYO					
% Humedad estimado	3%	6%	9%	12%	
Peso molde + SH (g)	10489	10610	10632	10548	
Peso suelo humedo (g)	4657	4778	4800	4716	
HUMEDAD					
# Capsula	9	23	10	30	
Peso capsula (g)	21	20	31	21	
Peso Cap + SH (g)	147	149	159	154	
Peso Cap + SS (g)	142,9	143,12	149,65	141,94	
Peso suelo seco (g)	121,9	123,12	118,65	120,94	
Peso agua (g)	4,1	5,88	9,35	12,06	
Densidad humeda (g/cm ³)	2,165	2,221	2,231	2,192	
Densidad seca (g/cm ³)	2,095	2,120	2,068	1,994	
% Humedad	3,4%	4,8%	7,9%	10,0%	
% Humedad corregido	2,4%	4,5%	6,6%	8,7%	
y seco (g/cm ³)	20,540	20,790	20,284	19,550	
y seco corregido (g/cm ³)	21,798	21,994	21,596	21,008	

Fuente: elaboración propia

Anexo 12. Datos de proctor modificado de la Sub-base río Chicamocha 1

		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE CHICAMOCHA 1 INV E -142 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
MOLDE					
Altura (cm)	11,7				
Diametro (cm)	15,3				
Peso (g)	5832				
Volumen (cm ³)	2151,09				
ENSAYO					
% Humedad estimado	3%	6%	9%	12%	
Peso molde + SH (g)	10417	10662	10770	10700	
Peso suelo humedo (g)	4585	4830	4938	4868	
HUMEDAD					
# Capsula	401	11	333	6	
Peso capsula (g)	40,8	27,1	40,5	27,2	
Peso Cap + SH (g)	191,3	174,1	199,2	226,6	
Peso Cap + SS (g)	186,97	167,36	189,04	203,74	
Peso suelo seco (g)	146,17	140,26	148,54	176,54	
Peso agua (g)	4,33	6,74	10,16	22,86	
Densidad humeda (g/cm ³)	2,131	2,245	2,296	2,263	
Densidad seca (g/cm ³)	2,070	2,142	2,149	2,004	
% Humedad	3,0%	4,8%	6,8%	12,9%	
% Humedad corregido	2,5%	4,6%	6,7%	8,8%	
y seco (g/cm ³)	20,301	21,010	21,071	19,648	
y seco corregido (g/cm ³)	21,512	22,065	22,112	20,993	

Fuente: elaboración propia

Anexo 13. Datos de proctor modificado de la Base río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO BASE CHICAMOCHA 1 INV E -142 - 13		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
MOLDE			
Altura (cm)	11,7		
Diametro (cm)	15,3		
Peso (g)	5832		
Volumen (cm ³)	2151,09		
ENSAYO			
% Humedad estimado	3%	6%	9%
Peso molde + SH (g)	10595	10928	10834
Peso suelo humedo (g)	4763	5096	5002
HUMEDAD			
# Capsula	6	76	77
Peso capsula (g)	21	21,2	21,3
Peso Cap + SH (g)	114,3	119,7	129,2
Peso Cap + SS (g)	111,3	113,3	120,7
Peso suelo seco (g)	90,3	92,1	99,4
Peso agua (g)	3	6,4	8,5
Densidad humeda (g/cm ³)	2,214	2,369	2,325
Densidad seca (g/cm ³)	2,143	2,215	2,142
% Humedad	3,3%	6,9%	8,6%
% Humedad corregido	2,5%	4,7%	6,8%
y' seco (g/cm ³)	21,016	21,723	21,007
y' seco corregido (g/cm ³)	22,197	22,758	22,190

Fuente: elaboración propia

Anexo 14. Datos de proctor modificado de la Sub-base río Chicamocha 2

		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E -142 - 13				
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA				
MOLDE						
Altura (cm)	11,7					
Diametro (cm)	15,3					
Peso (g)	5832					
Volumen (cm ³)	2151,09					
ENSAYO						
% Humedad estimado	3%	6%	8%	10%	12%	
Peso molde + SH (g)	10317	10624	10786	10784	10670	
Peso suelo humedo (g)	4485	4792	4954	4952	4838	
HUMEDAD						
# Capsula	53	40	102	103	100	
Peso capsula (g)	20,9	31,7	20,8	31,6	26,8	
Peso Cap + SH (g)	125,3	131,3	138,9	160	154	
Peso Cap + SS (g)	122,8	126,4	130,9	150,9	143,2	
Peso suelo seco (g)	101,9	94,7	110,1	119,3	116,4	
Peso agua (g)	2,5	4,9	8	9,1	10,8	
Densidad humeda (g/cm ³)	2,085	2,228	2,303	2,302	2,249	
Densidad seca (g/cm ³)	2,032	2,118	2,147	2,139	2,058	
% Humedad	2,5%	5,2%	7,3%	7,6%	9,3%	
% Humedad corregido	2,6%	4,7%	6,0%	7,4%	8,8%	
γ seco (kN/m ³)	19,932	20,771	21,055	20,976	20,183	
γ seco corregido (kN/m ³)	21,387	22,049	22,269	22,208	21,587	

Fuente: elaboración propia

Anexo 15. Datos de proctor modificado de la Base río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO BASE CHICAMOCHA 2 INV E -142 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
MOLDE					
Altura (cm)	11,7				
Diametro (cm)	15,3				
Peso (g)	5832				
Volumen (cm ³)	2151,09				
ENSAYO					
% Humedad estimado	3%	6%	9%	12%	
Peso molde + SH (g)	10403	10724	10790	10720	
Peso suelo humedo (g)	4571	4892	4958	4888	
HUMEDAD					
# Capsula	13	109	108	50	
Peso capsula (g)	21	32,1	20,8	20,9	
Peso Cap + SH (g)	117,5	138,7	131,1	143,9	
Peso Cap + SS (g)	113,7	132,2	122,9	133,3	
Peso suelo seco (g)	92,7	100,1	102,1	112,4	
Peso agua (g)	3,8	6,5	8,2	10,6	
Densidad humeda (g/cm ³)	2,125	2,274	2,305	2,272	
Densidad seca (g/cm ³)	2,041	2,136	2,134	2,077	
% Humedad	4,1%	6,5%	8,0%	9,4%	
% Humedad corregido	2,6%	4,8%	7,0%	9,2%	
y ^o seco (g/cm ³)	20,018	20,942	20,923	20,363	
y ^o seco corregido (g/cm ³)	21,096	21,836	21,820	21,374	

Fuente: elaboración propia

Anexo 16. Datos de proctor modificado de la Sub-base río Suratá

		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO SUB-BASE SURATÁ INV E -142 - 13				
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA				
MOLDE						
Altura (cm)	11,7					
Diametro (cm)	15,3					
Peso (g)	5832					
Volumen (cm ³)	2151,09					
ENSAYO						
% Humedad estimado	3%	5%	7%	9%	12%	
Peso molde + SH (g)	9960	10123	10356	10551	10588	
Peso suelo humedo (g)	4128	4291	4524	4719	4756	
HUMEDAD						
# Capsula	13	107	56	19	24	
Peso capsula (g)	21	27	27	32	30	
Peso Cap + SH (g)	76	85	78	112	93	
Peso Cap + SS (g)	75	82	75	107	87	
Peso suelo seco (g)	54	55	48	75	57	
Peso agua (g)	1	3	3	5	6	
Densidad humeda (g/cm ³)	1,919	1,995	2,103	2,194	2,211	
Densidad seca (g/cm ³)	1,884	1,892	1,979	2,057	2,000	
% Humedad	1,9%	5,5%	6,3%	6,7%	10,5%	
% Humedad corregido	2,6%	4,1%	5,5%	7,0%	9,2%	
γ seco (kN/m ³)	18,477	18,550	19,411	20,169	19,617	
γ seco corregido (kN/m ³)	19,896	19,959	20,689	21,321	20,862	

Fuente: elaboración propia

Anexo 17. Datos de proctor modificado de la Base río Suratá

		ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO			
		BASE SURATÁ INV E -142 - 13			
		PROYECTO: PERMEABILIDAD EN BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
MOLDE					
Altura (cm)		11,7			
Diametro (cm)		15,3			
Peso (g)		5832			
Volumen (cm ³)		2151,09			
ENSAYO					
% Humedad estimado		3%	6%	9%	12%
Peso molde + SH (g)		10816	11123	11136	11007
Peso suelo humedo (g)		4984	5291	5304	5175
HUMEDAD					
# Capsula		100	103	108	401
Peso capsula (g)		26,94	31,67	20,85	40,76
Peso Cap + SH (g)		116	101	113	127
Peso Cap + SS (g)		113	96	105	116
Peso suelo seco (g)		86,06	64,33	84,15	75,24
Peso agua (g)		3	5	8	11
Densidad humeda (g/cm ³)		2,317	2,460	2,466	2,406
Densidad seca (g/cm ³)		2,239	2,282	2,252	2,099
% Humedad		3,5%	7,8%	9,5%	14,6%
% Humedad corregido		2,7%	5,0%	7,3%	9,6%
y seco (g/cm ³)		21,956	22,382	22,081	20,583
y seco corregido (g/cm ³)		22,570	22,915	22,672	21,439

Fuente: elaboración propia

Anexo 18. Datos de gravedad específica de la Sub-base de Río de Oro

		CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS			
		SUB-BASE RÍO DE ORO INV E - 143 - 13			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
Masa Fracción fina seca	Masa Fracción gruesa humeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4502	1498	1473	25	75,03%	24,97%
HUMEDAD					
	% H FF	3%	6%	9%	
	% H FG	1,7%	1,7%	1,7%	
	% H Correg	2,7%	4,9%	7,2%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA					
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada		
1473	1483		899		

Fuente: elaboración propia

Anexo 19. Datos de gravedad específica de la Base de Río de Oro

 CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS BASE RÍO DE ORO INV E - 143 - 13					
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA					
Masa Fracción fina seca	Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4200	1800	1760	40	70,00%	30,00%
HUMEDAD					
% H FF	3%	6%	9%	12%	
% H FG	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%	
% H Correg	2,4%	4,5%	6,6%	9%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA					
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada		
1760	1813		1114		

Fuente: elaboración propia

Anexo 20. Datos de gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha I

 CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS SUB-BASE CHICAMOCHA I INV E - 143 - 13					
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA					
Masa Fracción fina seca	Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4207	1793	1771	22	70,12%	29,88%
HUMEDAD					
% H FF	3%	6%	9%	12%	
% H FG	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	
% H Correg	2,5%	4,6%	6,7%	9%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA					
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada		
1771	1781		1083		

Fuente: elaboración propia

Anexo 21. Datos de gravedad específica de la Base de río Chicamocha 1

 CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS BASE CHICAMOCHA 1 INV E - 143 - 13					
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA					
Masa Fracción fina seca	Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4299	1701	1680	21	71,65%	28,35%
HUMEDAD					
	% H FF	3%	6%	9%	
	% H FG	1,3%	1,3%	1,3%	
	% H Correg	2,5%	4,7%	6,8%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA					
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada		
1680	1692		1051		

Fuente: elaboración propia

Anexo 22. Datos de gravedad específica de la Sub-base de río Chicamocha 2

 CORRECCIÓN POR SOBRETAMAÑOS SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E - 143 - 13					
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA					
Masa Fracción fina seca	Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4151	1849	1819	30	69,18%	30,82%
HUMEDAD					
	% H FF	3%	6%	8%	10,0%
	% H FG	1,6%	1,6%	1,6%	1,6%
	% H Correg	2,6%	4,7%	6,0%	7,4%
GRAVEDAD ESPECÍFICA					
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada		
1819	1832		1130		

Fuente: elaboración propia

Anexo 23. Datos de gravedad específica de la Base de río Chicamocha 2

Masa Fracción fina seca		Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4371		1629	1604	25	72,85%	27,15%
HUMEDAD						
% H FF	3%	6%	9%	12,0%		
% H FG	1,6%	1,6%	1,6%	1,6%	1,6%	
% H Correg	2,6%	4,8%	7,0%	9,2%		
GRAVEDAD ESPECÍFICA						
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada			
1604	1615		973			

Fuente: elaboración propia

Anexo 24. Datos de gravedad específica de la Sub-base de río Suratá

Masa Fracción fina seca		Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4439		1561	1540	21	73,98%	26,02%
HUMEDAD						
% H FF	3%	5%	7%	9,0%	12,0%	
% H FG	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%
% H Correg	2,6%	4,1%	5,5%	7,0%	9,2%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA						
Masa seca	masa superficialmente seca		masa saturada			
1540	1553		955			

Fuente: elaboración propia

Anexo 25. Datos de gravedad específica de la Base de río Suratá

Masa Fracción fina seca		Masa Fracción gruesa húmeda	Masa Fracción gruesa seca	Peso agua Fracción gruesa	% FF	% FG
4617		1383	1362	21	76,95%	23,05%
HUMEDAD						
% H FF		3%	6%	9%	12,0%	
% H FG		1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	
% H Correg		2,7%	5,0%	7,3%	9,6%	
GRAVEDAD ESPECÍFICA						
Masa seca		masa superficialmente seca		masa saturada		
1362		1374		833		

Fuente: elaboración propia

Anexo 26. Datos de CBR de la Sub-base de Río de Oro

# Molde		11	25	1
Altura (cm)		11,7	11,7	11,7
Diámetro (cm)		15,3	15,3	15,3
Peso (g)		8908	8538	7366
Volumen (cm ³)		2151,09	2151,09	2151,09
ENSAYO				
# Golpes		10	25	56
Peso molde + SH		13503	13329	13423
Peso suelo húmedo		4595	4791	6057
Densidad húmeda (g/cm ³)		2,136	2,227	2,816
Densidad seca (g/cm ³)		2,005	2,079	2,618
EXPANSIÓN (0,001")				
Exp. Inicial		0	0	0
Exp. Día 1		0	8	0
Exp. Día 2		0	8	4
Exp. Día 3		0	9	5
Exp. Día 4		1	9	7
Exp. Total (mm)		25,40	228,60	177,80
HUMEDAD DE PENETRACIÓN				
# Capsula		103	19	108
Peso capsula (g)		31,77	32,1	21,08
Peso Cap + SH (g)		89,7	63,3	82,2
Peso Cap + SS (g)		86,15	61,22	77,91
Peso suelo seco (g)		54,38	29,12	56,83
Peso agua (g)		3,55	2,08	4,29
% HUMEDAD		6,5%	7,1%	7,5%

Fuente: elaboración propia

Anexo 27. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de Río de Oro

PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	52	17,4		90	30,2		119	39,7	
0,025	0,635	220	73,8		332	111,4		632	210,7	
0,050	1,270	442	148,3		654	219,5		1588	529,3	
0,075	1,905	638	214,1		1012	339,6		2512	837,3	
0,100	2,540	749	251,3	25,1	1375	461,4	46,1	3762	1254,0	125,4
0,125	3,175	930	312,1		1750	587,2		4892	1630,7	
0,150	3,810	1054	353,7		2124	712,8		5974	1991,3	
0,175	4,445	1179	395,6		2504	840,3		7137	2379,0	
0,200	5,080	1288	432,2	28,8	2852	957,0	63,8	8172	2724,0	181,6
0,250	6,350	1500	503,4		3538	1187,2		10111	3370,3	
0,300	7,620	1674	561,7		4124	1383,9		-	-	
0,400	10,160	2001	671,5		5205	1746,6		-	-	
0,500	12,700	2338	784,6		6140	2060,4		-	-	

Fuente: elaboración propia

Anexo 28. Datos de CBR de la Base de Río de Oro

ENSAYO DE CBR		BASE RÍO DE ORO		
INV E -148 - 13		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE		
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
MOLDE				
# Molde	6	4	5	
Altura (cm)	11,7	11,7	11,7	
Diametro (cm)	15,3	15,3	15,3	
Peso (g)	7810	7333	8513	
Volumen (cm ³)	2151,09	2151,09	2151,09	
ENSAYO				
# Golpes	10	25	56	
Peso molde + SH	12416	12018	13269	
Peso suelo humedo	4606	4685	4756	
Densidad humeda (g/cm ³)	2,141	2,178	2,211	
Densidad seca (g/cm ³)	2,016	2,043	2,082	
EXPANSIÓN (0,001")				
Exp. Inicial	0	0	0	
Exp. Día 1	3	3	3	
Exp. Día 2	3	3	3	
Exp. Día 3	3	3	3	
Exp. Día 4	9	10	6	
Exp. Total (mm)	228,60	254,00	152,40	
HUMEDAD DE PENETRACIÓN				
# Capsula	40	50	61	
Peso capsula (g)	31,7	20,9	31,7	
Peso Cap + SH (g)	80,3	58,5	69,8	
Peso Cap + SS (g)	77,46	56,17	67,58	
Peso suelo seco (g)	45,76	35,27	35,88	
Peso agua (g)	2,84	2,33	2,22	
% HUMEDAD	6,2%	6,6%	6,2%	

Fuente: elaboración propia

Anexo 29. Datos de penetración de CBR de la Base de Río de Oro

PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	48	16,0		67	22,3		78	26,0	
0,025	0,635	197	65,7		394	131,3		415	138,3	
0,050	1,270	431	143,7		935	311,7		1010	336,7	
0,075	1,905	736	245,3		1589	529,7		1748	582,7	
0,100	2,540	1033	344,3	34,4	2302	767,3	76,7	2598	866,0	86,6
0,125	3,175	1351	450,3		3020	1006,7		3533	1177,7	
0,150	3,810	1669	556,3		3727	1242,3		4550	1516,7	
0,175	4,445	1975	658,3		4391	1463,7		5654	1884,7	
0,200	5,080	2247	749,0	49,9	5075	1691,7	112,8	6812	2270,7	151,4
0,250	6,350	2760	920,0		6447	2149,0		8955	2985,0	
0,300	7,620	3192	1064,0		7540	2513,3		-	-	
0,400	10,160	3937	1312,3		9523	3174,3		-	-	
0,500	12,700	4517	1505,7		-	-		-	-	

Fuente: elaboración propia

Anexo 30. Datos de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 1

ENSAYO DE CBR			
 SUB-BASE CHICAMOCHA 1 INV E -148 - 13 PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPBSECCIONAL BUCARAMANGA			
MOLDE			
# Molde	27	8	5
Altura (cm)	11,7	11,7	11,7
Diametro (cm)	15,3	15,3	15,3
Peso (g)	7185	8487	8513
Volumen (cm ³)	2151,09	2151,09	2151,09
ENSAYO			
# Golpes	10	25	56
Peso molde + SH	11880	13301	13540
Peso suelo humedo	4695	4814	5027
Densidad humeda (g/cm ³)	2,183	2,238	2,337
Densidad seca (g/cm ³)	2,048	2,101	2,196
EXPANSION (0,001")			
Exp. Inicial	0	0	0
Exp. Día 1	8	11	3
Exp. Día 2	9	12	5
Exp. Día 3	11	13	16
Exp. Día 4	11	16	16
Exp. Total (mm)	279,40	406,40	406,40
Exp. Total %			
HUMEDAD DE PENETRACIÓN			
# Capsula	109	4	333
Peso capsula (g)	32,11	21,04	40,52
Peso Cap + SH (g)	80,1	62,5	84,9
Peso Cap + SS (g)	77,15	59,96	82,22
Peso suelo seco (g)	45,04	38,92	41,7
Peso agua (g)	2,95	2,54	2,68
% HUMEDAD	6,5%	6,5%	6,4%

Fuente: elaboración propia

Anexo 31. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 1

 <div style="text-align: center;"> ENSAYO DE CBR SUB-BASE CHICAMOCHA 1 INV E -148 - 13 PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA </div>										
PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	97	32,3		150	50,0		471	157,0	
0,025	0,635	389	129,7		436	145,3		950	316,7	
0,050	1,270	750	250,0		919	306,3		1533	511,0	
0,075	1,905	1072	357,3		1412	470,7		2087	695,7	
0,100	2,540	1339	446,3	44,6	1920	640,0	64,0	2664	888,0	88,8
0,125	3,175	1630	543,3		2413	804,3		3248	1082,7	
0,150	3,810	1866	622,0		2910	970,0		3850	1283,3	
0,175	4,445	2120	706,7		3379	1126,3		4510	1503,3	
0,200	5,080	2353	784,3	52,3	3772	1257,3	83,8	5297	1765,7	117,7
0,250	6,350	2839	946,3		4526	1508,7		6529	2176,3	
0,300	7,620	3252	1084,0		5145	1715,0		7712	2570,7	
0,400	10,160	4124	1374,7		6230	2076,7		9896	3298,7	
0,500	12,700	4863	1621,0		7351	2450,3		-	-	

Fuente: elaboración propia

Anexo 32. Datos de CBR de la Base de río Chicamocha 1

 <div style="text-align: center;"> ENSAYO DE CBR BASE CHICAMOCHA 1 INV E -148 - 13 PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA </div>			
MOLDE			
# Molde	13	19	10
Altura (cm)	11,7	11,7	11,7
Diametro (cm)	15,3	15,3	15,3
Peso (g)	7070	8588	8840
Volumen (cm ³)	2151,09	2151,09	2151,09
ENSAYO			
# Golpes	10	25	56
Peso molde + SH	11855	13541	13898
Peso suelo humedo	4785	4953	5058
Densidad humeda (g/cm ³)	2,224	2,303	2,351
Densidad seca (g/cm ³)	2,087	2,148	2,211
EXPANSIÓN (0,001")			
Exp. Inicial	0	0	0
Exp. Día 1	2	0	0
Exp. Día 2	5	0	3
Exp. Día 3	5	3	4
Exp. Día 4	6	4	4
Exp. Total (mm)	152,40	101,60	101,60
HUMEDAD DE PENETRACIÓN			
# Capsula	100	6	11
Peso capsula (g)	26,95	28,28	27,1
Peso Cap + SH (g)	79,7	72,1	60,79
Peso Cap + SS (g)	76,45	69,15	58,78
Peso suelo seco (g)	49,5	40,87	31,68
Peso agua (g)	3,25	2,95	2,01
% HUMEDAD	6,6%	7,2%	6,3%

Fuente: elaboración propia

Anexo 33. Datos de penetración de CBR de la Base de río Chicamocha 1

PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	37	12,3		46	15,3		68	22,7	
0,025	0,635	111	37,0		363	121,0		460	153,3	
0,050	1,270	253	84,3		875	291,7		1460	486,7	
0,075	1,905	438	146,0		1434	478,0		2813	937,7	
0,100	2,540	668	222,7	22,3	1876	625,3	62,5	4388	1462,7	146,3
0,125	3,175	900	300,0		2313	771,0		5837	1945,7	
0,150	3,810	1190	396,7		2845	948,3		7118	2372,7	
0,175	4,445	1486	495,3		3279	1093,0		8322	2774,0	
0,200	5,080	1790	596,7	39,8	3702	1234,0	82,3	9392	3130,7	208,7
0,250	6,350	2372	790,7		4464	1488,0		-	-	
0,300	7,620	2882	960,7		5002	1667,3		-	-	
0,400	10,160	3750	1250,0		6130	2043,3		-	-	
0,500	12,700	4560	1520,0		7384	2461,3		-	-	

Fuente: elaboración propia

Anexo 34. Datos de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 2

ENSAYO DE CBR		SUB-BASE CHICAMOCHA 2		INV E -148 - 13	
Universidad Pontificia Bolivariana		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	
MOLDE					
# Molde	16	23	31		
Altura (cm)	11,7	11,7	11,7		
Diametro (cm)	15,3	15,3	15,3		
Peso (g)	7210	8528	6941		
Volumen (cm ³)	2151,09	2151,09	2151,09		
ENSAYO					
# Golpes	10	25	56		
Peso molde + SH	11909	13286	11951		
Peso suelo humedo	4699	4758	5010		
Densidad humeda (g/cm ³)	2,184	2,212	2,329		
Densidad seca (g/cm ³)	2,030	2,108	2,219		
EXPANSIÓN (0,001")					
Exp. Inicial	0	0	0		
Exp. Día 1	0	3	10		
Exp. Día 2	7	7	12		
Exp. Día 3	8	13	13		
Exp. Día 4	10	15	14		
Exp. Total (mm)	254,00	381,00	355,60		
HUMEDAD DE PENETRACIÓN					
# Capsula	108	103	50		
Peso capsula (g)	21,08	31,77	20,94		
Peso Cap + SH (g)	93,55	77,82	91,28		
Peso Cap + SS (g)	88,41	75,65	87,96		
Peso suelo seco (g)	67,33	43,88	67,02		
Peso agua (g)	5,14	2,17	3,32		
% HUMEDAD	7,6%	4,9%	5,0%		

Fuente: elaboración propia

Anexo 35. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de río Chicamocha 2

 <div style="text-align: center;"> ENSAYO DE CBR SUB-BASE CHICAMOCHA 2 INV E -148 - 13 PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA </div>										
PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	57	19,0		97	32,3		195	65,0	
0,025	0,635	226	75,3		507	169,0		1020	340,0	
0,050	1,270	459	153,0		1004	334,7		2314	771,3	
0,075	1,905	686	228,7		1485	495,0		3559	1186,3	
0,100	2,540	885	295,0	29,5	1883	627,7	62,8	4720	1573,3	157,3
0,125	3,175	1084	361,3		2301	767,0		5769	1923,0	
0,150	3,810	1249	416,3		2708	902,7		6741	2247,0	
0,175	4,445	1420	473,3		3078	1026,0		7686	2562,0	
0,200	5,080	1612	537,3	35,8	3452	1150,7	76,7	8620	2873,3	191,6
0,250	6,350	1967	655,7		4290	1430,0		9624	3208,0	
0,300	7,620	2232	744,0		4896	1632,0		-	-	
0,400	10,160	2763	921,0		6154	2051,3		-	-	
0,500	12,700	3258	1086,0		7274	2424,7		-	-	

Fuente: elaboración propia

Anexo 36. Datos de CBR de la Base de río Chicamocha 2

 <div style="text-align: center;"> ENSAYO DE CBR BASE CHICAMOCHA 2 INV E -148 - 13 PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA </div>			
MOLDE			
# Molde	31	30	5
Altura (cm)	11,7	11,7	11,7
Diametro (cm)	15,3	15,3	15,3
Peso (g)	6941	7393	8513
Volumen (cm ³)	2151,09	2151,09	2151,09
ENSAYO			
# Golpes	10	25	56
Peso molde + SH	11479	12149	13379
Peso suelo humedo	4538	4756	4866
Densidad humeda (g/cm ³)	2,110	2,211	2,262
Densidad seca (g/cm ³)	1,997	2,078	2,139
EXPANSIÓN (0,001")			
Exp. Inicial	0	0	0
Exp. Día 1	0	0	0
Exp. Día 2	0	0	0
Exp. Día 3	4	6	5
Exp. Día 4	9	10	14
Exp. Total (mm)	228,60	254,00	355,60
HUMEDAD DE PENETRACIÓN			
# Capsula	40	53	19
Peso capsula (g)	31,67	20,88	32,1
Peso Cap + SH (g)	87,15	85,9	82,7
Peso Cap + SS (g)	84,2	81,98	79,94
Peso suelo seco (g)	52,53	61,1	47,84
Peso agua (g)	2,95	3,92	2,76
% HUMEDAD	5,6%	6,4%	5,8%

Fuente: elaboración propia

Anexo 37. Datos de penetración de CBR de la Base de río Chicamocha 2

PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	59	19,7		82	27,3		140	46,7	
0,025	0,635	260	86,7		549	183,0		629	209,7	
0,050	1,270	537	179,0		1357	452,3		1678	559,3	
0,075	1,905	808	269,3		2081	693,7		2432	810,7	
0,100	2,540	1240	413,3	41,3	2752	917,3	91,7	3230	1076,7	107,7
0,125	3,175	1362	454,0		3370	1123,3		4254	1418,0	
0,150	3,810	1491	497,0		3970	1323,3		5436	1812,0	
0,175	4,445	1689	563,0		4572	1524,0		6650	2216,7	
0,200	5,080	1830	610,0	40,7	5042	1680,7	112,0	7780	2593,3	172,9
0,250	6,350	2186	728,7		6011	2003,7		9887	3295,7	
0,300	7,620	2516	838,7		6940	2313,3		-	-	
0,400	10,160	3142	1047,3		8777	2925,7		-	-	
0,500	12,700	3681	1227,0		10055	3351,7		-	-	

Fuente: elaboración propia

Anexo 38. Datos de CBR de la Sub-base de río Surata

ENSAYO DE CBR		SUB-BASE SURATÁ		
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA		INV E-148 - 13		
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
MOLDE				
# Molde		31	22	3
Altura (cm)		11,7	11,7	11,7
Diametro (cm)		15,3	15,3	15,3
Peso (g)		6939	8535	8715
Volumen (cm ³)		2151,09	2151,09	2151,09
ENSAYO				
# Golpes		10	25	56
Peso molde + SH		11226	13003	13397
Peso suelo humedo		4287	4468	4682
Densidad humeda (g/cm ³)		1,993	2,077	2,177
Densidad seca (g/cm ³)		1,872	1,957	2,039
EXPANSIÓN (0,001")				
Exp. Inicial		0	0	0
Exp. Día 1		0	0	0
Exp. Día 2		0	0	0
Exp. Día 3		0	0	0
Exp. Día 4		0	0	0
Exp. Total (mm)		0,00	0,00	0,00
HUMEDAD DE PENETRACIÓN				
# Capsula		50	61	104
Peso capsula (g)		20,9	31,6	32
Peso Cap + SH (g)		116,3	100,6	101,7
Peso Cap + SS (g)		110,5	96,6	97,3
Peso suelo seco (g)		89,6	65	65,3
Peso agua (g)		5,8	4	4,4
% HUMEDAD		6,5%	6,2%	6,7%

Fuente: elaboración propia

Anexo 39. Datos de penetración de CBR de la Sub-base de río Suratá

PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	75	25,0		92	30,7		170	56,7	
0,025	0,635	211	70,3		317	105,7		439	146,3	
0,050	1,270	361	120,3		476	158,7		680	226,7	
0,075	1,905	510	170,0		603	201,0		879	293,0	
0,100	2,540	650	216,7	21,7	734	244,7	24,5	1103	367,7	36,8
0,125	3,175	786	262,0		925	308,3		1392	464,0	
0,150	3,810	909	303,0		1101	367,0		1682	560,7	
0,175	4,445	1018	339,3		1321	440,3		2052	684,0	
0,200	5,080	1125	375,0	25,0	1541	513,7	34,2	2420	806,7	53,8
0,250	6,350	1302	434,0		1965	655,0		3112	1037,3	
0,300	7,620	1468	489,3		2327	775,7		3727	1242,3	
0,400	10,160	1780	593,3		2920	973,3		4791	1597,0	
0,500	12,700	1951	650,3		3451	1150,3		5393	1797,7	

Fuente: elaboración propia

Anexo 40. Datos de CBR de la Base de río Suratá

ENSAYO DE CBR		BASE SURATÁ		
INV E -148 - 13		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB BASE		
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		
MOLDE				
# Molde		5	6	4
Altura (cm)		11,7	11,7	11,7
Diametro (cm)		15,3	15,3	15,3
Peso (g)		8514	7812	7333
Volumen (cm ³)		2151,09	2151,09	2151,09
ENSAYO				
# Golpes		10	25	56
Peso molde + SH		13491	13004	12638
Peso suelo humedo		4977	5192	5305
Densidad humeda (g/cm ³)		2,314	2,414	2,466
Densidad seca (g/cm ³)		2,126	2,219	2,301
EXPANSIÓN (0,001")				
Exp. Inicial		0	0	0
Exp. Día 1		0	0	0
Exp. Día 2		0	0	0
Exp. Día 3		0	0	0
Exp. Día 4		0	0	0
Exp. Total (mm)		0,00	0,00	0,00
HUMEDAD DE PENETRACIÓN				
# Capsula		40	370	106
Peso capsula (g)		31,6	40,4	31,6
Peso Cap + SH (g)		104,3	107,4	101,9
Peso Cap + SS (g)		98,4	102	97,2
Peso suelo seco (g)		66,8	61,6	65,6
Peso agua (g)		5,9	5,4	4,7
% HUMEDAD		8,8%	8,8%	7,2%

Fuente: elaboración propia

Anexo 41. Datos de penetración de CBR de la Base de río Suratá

PENETRACIÓN		PROBETA 1 10 GOLPES			PROBETA 2 25 GOLPES			PROBETA 3 56 GOLPES		
Pulg	mm	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	CBR %
0,005	0,127	16	5,3		43	14,3		60	20,0	
0,025	0,635	84	28,0		111	37,0		305	101,7	
0,050	1,270	169	56,3		445	148,3		842	280,7	
0,075	1,905	255	85,0		708	236,0		1385	461,7	
0,100	2,540	370	123,3	12,3	1087	362,3	36,2	2192	730,7	73,1
0,125	3,175	489	163,0		1315	438,3		2836	945,3	
0,150	3,810	612	204,0		1588	529,3		3522	1174,0	
0,175	4,445	740	246,7		1896	632,0		4240	1413,3	
0,200	5,080	869	289,7	19,3	2168	722,7	48,2	4920	1640,0	109,3
0,250	6,350	1106	368,7		2733	911,0		6178	2059,3	
0,300	7,620	1321	440,3		3262	1087,3		7256	2418,7	
0,400	10,160	1678	559,3		4239	1413,0		8843	2947,7	
0,500	12,700	1951	650,3		5060	1686,7		9943	3314,3	

Fuente: elaboración propia

Anexo 42. Datos de permeabilidad de la Sub-base de Río de Oro

ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE"	
SUB-BASE RIO DE ORO	
INV E -130 - 13	
PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE	
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	

Diametro:	22,7	[cm]
Area:	404,71	[cm ²]
Longitud:	23,3	[cm]
Altura antes H1:	33,03	[cm]
Altura después H2:	3,3	[cm]
Altura Neta:	29,73	[cm]
volumen:	12029,9	[cm ³]
Peso del material	19100,0	[gr]
Contenido de humedad:	1,3%	
Masa unitaria seca:	1,57	[gr/cm ³]

Manometro		Cabeza h	Q	t	Temperatura	Q/(At)	h/L	
M1	M2		[cm ³]	[Seg]	[°C]			
13,3	82,8	69,5	350	60	25,1	0,014	2,983	
13,5	83	69,5	350	60	25,1	0,014	2,983	
13,5	82,9	69,4	350	60	25,1	0,014	2,979	
13,5	83	69,5	350	60	25,1	0,014	2,983	
13,8	83,2	69,4	350	60	25,1	0,014	2,979	
PROMEDIO	13,52	82,98	69,46	350	60	25,1	0,0144	2,9811

Fuente: elaboración propia

Anexo 43. Datos de permeabilidad de la Base de Río de Oro



ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE"
BASE RIO DE ORO
INV E -130 - 13

PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Diametro:	22,7	[cm]
Area:	404,71	[cm ²]
Longitud:	23,3	[cm]
Altura antes H1:	33,03	[cm]
Altura después H2:	2,33	[cm]
Altura Neta:	30,70	[cm]
volumen:	12424,5	[cm ³]
Peso del material	24030,0	[gr]
Contenido de humedad:	1,1%	
Masa unitaria seca:	1,91	[gr/cm ³]

Manometro		Cabeza h	Q	t	Temperatura	Q/(At)	h/L	
M1	M2		[cm ³]	[Seg]	[°C]			
56,5	74,5	18	480	60	25,5	0,020	0,773	
57,5	75,3	17,8	480	60	25,5	0,020	0,764	
57,3	75,3	18	480	60	25,5	0,020	0,773	
58	76	18	480	60	25,5	0,020	0,773	
58	76	18	480	60	25,5	0,020	0,773	
PROMEDIO	57,46	75,42	17,96	480	60	25,5	0,0198	0,7708

Fuente: elaboración propia

Anexo 44. Datos de permeabilidad de la Sub-base de río Chicamocha 1



ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE"
SUB-BASE RIO CHICAMOCHA 1
INV E -130 - 13

PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Diametro:	22,7	[cm]
Area:	404,71	[cm ²]
Longitud:	23,3	[cm]
Altura antes H1:	33,03	[cm]
Altura después H2:	2,80	[cm]
Altura Neta:	30,23	[cm]
volumen:	12232,3	[cm ³]
Peso del material	21490,0	[gr]
Contenido de humedad:	1,8%	
Masa unitaria seca:	1,73	[gr/cm ³]

Manometro		Cabeza h	Q	t	Temperatura	Q/(At)	h/L	
M1	M2		[cm ³]	[Seg]	[°C]			
89,9	95,3	5,4	270	180	25,3	0,004	0,232	
89,9	95,5	5,6	270	180	25,3	0,004	0,240	
89,9	95,9	6	360	240	25,3	0,004	0,258	
89,9	96,2	6,3	270	180	25,3	0,004	0,270	
90	96,2	6,2	270	180	25,3	0,004	0,266	
PROMEDIO	89,92	95,82	5,9	288	192	25,3	0,0037	0,2532

Fuente: elaboración propia

Anexo 45. Datos de permeabilidad de la Base de río Chicamocha 1

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA VARIABLE" BASE RIO CHICAMOCHA 1 ENSAYO No. 12 MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	

Dimensiones de la muestra	Diametro	6,3	cm
	Area	31,17	cm ²
	Altura	2,5	cm
	volumen	77,93	cm ³
	Peso	175,25	g
	Peso unitario	22,05	g/cm ³
Dimensiones de la bureta	Diametro	8	mm
	Area	50,27	mm ²
	Area	0,503	cm ²
	Volumen	20,108	cm ³

h1	h2	t	Q	T	
[cm]	[cm]	[seg]	[cm ³ /seg]	[°C]	
70	30	20,1	1,0004	25,3	
70	30	19,75	1,0181	25,3	
70	30	20,32	0,9896	25,3	
70	30	20,76	0,9686	25,3	
70	30	23,18	0,8675	25,3	
70	30	22,93	0,8769	25,3	
70	30	22,64	0,8882	25,3	
70	30	22,89	0,8785	25,3	
PROMEDIO	70	30	21,57	0,9360	25,3

Fuente: elaboración propia

Anexo 46. Datos de permeabilidad de la Sub-base de río Chicamocha 2

 Universidad Pontificia Bolivariana	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" SUB-BASE RIO CHICAMOCHA 2 INV E -130 - 13	
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA	

Diametro:	22,7	[cm]
Area:	404,71	[cm ²]
Longitud:	23,3	[cm]
Altura antes H1:	33,03	[cm]
Altura después H2:	3,23	[cm]
Altura Neta:	29,80	[cm]
volumen:	12060,3	[cm ³]
Peso del material	23700,0	[gr]
Contenido de humedad:	2,2%	
Masa unitaria seca:	1,92	[gr/cm ³]

Manometro		Cabeza h	Q	t	Temperatura	Q/(At)	h/L	
M1	M2		[cm ³]	[Seg]	[°C]			
47,9	63,5	15,6	720	60	24,9	0,030	0,670	
48	64	16	720	60	24,9	0,030	0,687	
46,3	62,1	15,8	720	60	24,9	0,030	0,678	
47,5	63,5	16	720	60	24,9	0,030	0,687	
46,5	62,4	15,9	720	60	24,9	0,030	0,682	
PROMEDIO	47,24	63,1	15,86	720	60	24,9	0,0297	0,6807

Fuente: elaboración propia

Anexo 47. Datos de permeabilidad de la Base de río Chicamocha 2



Universidad
Pontificia
Bolivariana

ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA VARIABLE"
BASE RIO CHICAMOCHA 2
ENSAYO No. 12 MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS DE I

PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Dimensiones de muestra	Diametro	6,3	cm
	Area	31,17	cm ²
	Altura	2,5	cm
	volumen	77,93	cm ³
	Peso	177,03	g
	Peso unitario	22,28	g/cm ³
Dimensiones la buret	Diametro	8	mm
	Area	50,27	mm ²
	Area	0,503	cm ²
	Volumen	20,106	cm ³

	h1	h2	t	Q	T
	[cm]	[cm]	[seg]	[cm ³ /seg]	[°C]
	70	30	41,49	0,4846	25,1
	70	30	39,5	0,5090	25,1
	70	30	39,94	0,5034	25,1
	70	30	40,98	0,4906	25,1
	70	30	40,89	0,4917	25,1
	70	30	42,03	0,4784	25,1
	70	30	43,57	0,4615	25,1
	70	30	43,67	0,4604	25,1
PROMEDIO	70	30	41,51	0,4850	25,1

Fuente: elaboración propia

Anexo 48. Datos de permeabilidad de la Sub-base de río Suratá



Universidad
Pontificia
Bolivariana

ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE"
SUB-BASE RIO SURATA
INV E -130 - 13

PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE
LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Diametro:	22,7	[cm]
Area:	404,71	[cm ²]
Longitud:	23,3	[cm]
Altura antes H1:	33,03	[cm]
Altura después H2:	1,75	[cm]
Altura Neta:	31,28	[cm]
volumen:	12657,2	[cm ³]
Peso del material	24300,0	[gr]
Contenido de humedad:	2,5%	
Masa unitaria seca:	1,87	[gr/cm ³]

Manometro		Cabeza h	Q	t	Temperatur a	Q/(At)	h/L	
M1	M2		[cm ³]	[Seg]	[°C]			
41,6	60,3	18,7	740	60	24,6	0,030	0,803	
41,4	60,2	18,8	730	60	24,6	0,030	0,807	
41,4	60,2	18,8	730	60	24,6	0,030	0,807	
41,3	60	18,7	730	60	24,6	0,030	0,803	
41,4	60,3	18,9	730	60	24,6	0,030	0,811	
PROMEDIO	41,42	60,2	18,78	732	60	24,6	0,0301	0,8060

Fuente: elaboración propia

Anexo 49. Datos de permeabilidad de la Base de río Suratá

	ENSAYO DE PERMEABILIDAD "CABEZA CONSTANTE" BASE RIO SURATA INV E -130 - 13
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA

Diametro:	22,7	[cm]
Area:	404,71	[cm ²]
Longitud:	23,3	[cm]
Altura antes H1:	33,03	[cm]
Altura después H2:	3,325	[cm]
Altura Neta:	29,70	[cm]
volumen:	12019,8	[cm ³]
Peso del material	21500,0	[gr]
Contenido de humedad:	1,6%	
Masa unitaria seca:	1,76	[gr/cm ³]

Manometro	Cabeza h	Q	t	Temperatura	Q/(At)	h/L		
M1	M2	[cm ³]	[Seg]	[°C]				
28,8	58,2	29,4	600	60	24,6	0,025	1,262	
28,6	58,1	29,5	590	60	24,6	0,024	1,266	
28,5	58	29,5	590	60	24,6	0,024	1,266	
28,8	58,5	29,7	590	60	24,6	0,024	1,275	
28,6	58,2	29,6	590	60	24,6	0,024	1,270	
PROMEDIO	28,66	58,2	29,54	592	60	24,6	0,0244	1,2678

Fuente: elaboración propia

Anexo 50. Datos de diseño de pavimentos Río de Oro

	DISEÑO DE PAVIMENTO RIO DE ORO AASHTO - 93		
	PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA		

Temperatura	23	°C	mi	1,2	
Transito promedio diario	81254		So	0,45	
Tasa de crecimiento	0,007	%	Po	4,2	
Factor camión	1,92		Pt	2	
Velocidad de diseño	60	Km/h	ΔPSI	2,2	
Modulo elastico del concreto asfaltico	478625	Psi	W18	38334305,6	38,3343056

CBR sub rasante	14,91	%	MR sub rasante	11929,991	Psi
CBR base	86	%	Mr base	29000	Psi
CBR sub base	50	%	Mr sub base	18000	Psi

a1 concreto asfaltico	0,45
a2 base	0,136
a3 sub base	0,125

SN sub rasante	4,6
SN1 base	3,5
SN3 sub base	4,1
SN1 corregido	3,15
SN2 corregido	0,816
SN3 corregido	0,6

Fuente: elaboración propia

Anexo 51. Datos de diseño de pavimentos río Chicamocha 1

		DISEÑO DE PAVIMENTO			
		RÍO CHICAMOCHA 1			
		AASHTO - 93			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE			
		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
Temperatura	23	°C	mi	1,2	
Transito promedio diario	81254		So	0,45	
Tasa de crecimiento	0,007	%	Po	4,2	
Factor camión	1,92		Pt	2	
Velocidad de diseño	60	Km/h	ΔPSI	2,2	
Moduló elastico del concreto asfaltico	478625	Psi	W18	38334305,6	38,3343056
CBR sub rasante	14,91	%	MR sub rasante	11929,991	Psi
CBR base	90	%	Mr base	29000	Psi
CBR sub base	65	%	Mr sub base	19000	Psi
a1 concreto asfaltico	0,45		SN sub rasante	4,6	
a2 base	0,137		SN1 base	3,5	
a3 sub base	0,134		SN3 sub base	4	
			SN1 corregido	3,15	
			SN2 corregido	0,822	
			SN3 corregido	0,4824	

Fuente: elaboración propia

Anexo 52. Datos de diseño de pavimentos río Chicamocha 2

		DISEÑO DE PAVIMENTO			
		RÍO CHICAMOCHA 2			
		AASHTO - 93			
		PROYECTO: PROPIEDADES DE BASE Y SUB-BASE			
		LOCALIZACIÓN: UPB SECCIONAL BUCARAMANGA			
Temperatura	23	°C	mi	1,2	
Transito promedio diario	81254		So	0,45	
Tasa de crecimiento	0,007	%	Po	4,2	
Factor camión	1,92		Pt	2	
Velocidad de diseño	60	Km/h	ΔPSI	2,2	
Moduló elastico del concreto asfaltico	478625	Psi	W18	38334305,6	38,3343056
CBR sub rasante	14,91	%	MR sub rasante	11929,991	Psi
CBR base	98	%	Mr base	29800	Psi
CBR sub base	60	%	Mr sub base	18500	Psi
a1 concreto asfaltico	0,45		SN sub rasante	4,6	
a2 base	0,139		SN1 base	3,55	
a3 sub base	0,13		SN3 sub base	4,15	
			SN1 corregido	3,15	
			SN2 corregido	0,834	
			SN3 corregido	0,468	

Fuente: elaboración propia