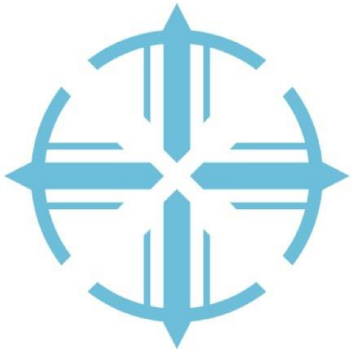
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL



TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MÓDULO DE YOUNG Y CBR PARA BASE Y SUB BASE. CASO DE ESTUDIO: MINA PUNTO AZUL (IBARRA-IMBABURA)

AUTORA: GABRIELA ESTEFANÍA CORONEL VÁSQUEZ

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO T.

QUITO, JUNIO 2019

DEDICATORIA

A mis padres Maribel y Henry que siempre confiaron en mí, papitos lo logramos, les dedico esta y cada una de mis metas cumplidas, no existe mayor satisfacción para mi que verles siempre felices, espero darles muchos motivos más para que se sientan orgullosos de su ingeniera.

A mis pequeñas Marilyn, Samy y Katty que siempre me alegran la vida, le pido a Dios que nunca me falten.

Gaby

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a Dios por bendecirme con una familia que siempre me ha brindado su apoyo y ha estado presente en todo momento de mi vida.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por darme la oportunidad de formarme en sus aulas y con la guía de los mejores docentes, quienes están preparados académicamente para hacer que nosotros seamos los mejores en nuestra vida profesional.

A mi Director de Tesis, Ing. Wilson Cando por ser una excelente persona y profesor, gracia por guiarme en esta investigación, por confiar en mí y ayudarme a culminar mi más grande objetivo.

A mis revisores, Ing. Gustavo Yánez e Ing. Mauricio Cely por su ayuda durante la elaboración de mi trabajo de investigación, gracias por estar siempre pendientes durante todo el proceso.

A las personas más importantes de mi vida, mis padres y hermanas, gracias por ser mi motivo de inspiración para cumplir cada una de mis metas, siempre les llevo en mi corazón.

A mis padrinos Fanny y Antonio, gracias por quererme tanto y apoyarme siempre, sé que ustedes están tan felices como yo por este logro.

A mi gran amiga Jenny, gracias por tu amistad que a pesar de los años y la distancia siguen intacta, gracias por apoyarme y darme ánimo siempre.

A mi incondicional amiga Erika, gracias por todo lo que haces por mí siempre, solo le pido a la vida que nuestra amistad dure eternamente.

A mis a ingenieras e ingenieros: Dome, Mumis, Mari, Feli, Chris, Fabito, Marcelo, gracias por su sincera amistad, por compartir cada momento durante toda la carrera y hacer de cada instante especial y feliz.

RESUMEN

A continuación, se presenta el procedimiento realizado para encontrar una correlación entre el C.B.R. de laboratorio y el Módulo Resiliente obtenido a partir del Módulo de Young para el agregado de la Mina “Punto Azul”, ubicada en la Provincia de Imbabura, cantón Ibarra, de esta manera se pretende obtener valores reales que posteriormente se va a utilizar en el diseño de proyectos viales.

El método más utilizado en la actualidad para realizar el diseño de las diferentes capas que conforman un pavimento flexible es el proporcionado por la AASHTO (93), a partir del C.B.R. y utilizando una serie de nomogramas, se obtiene valores aproximados de Módulo Resiliente y por ende de Número Estructural para las capas de la estructura vial, el objetivo de esta investigación es encontrar una correlación propia para los agregados de la Mina “Punto Azul”, que mediante el C.B.R. de laboratorio se pueda determinar el Módulo Resiliente sin la necesidad de realizar algún ensayo y de esta manera tener valores más cercanos a la realidad.

El estudio se inicia con la calificación de la mina en análisis, para lo cual se realizan estudios que permiten conocer las diferentes características propias de los agregados, las cuales deben cumplir los parámetros que se describen en las normas ASTM.

El siguiente paso es realizar el ensayo de C.B.R. y determinar el valor real, para las distintas clases de Base y Subbase que se encuentran especificadas en la Norma del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (NEVI-12-MTOP).

Con un ensayo realizado en campo, utilizando el equipo GeoGauge, se determina el Módulo de Young, que posteriormente es trasformado en valores de Módulo Resiliente usando un factor de conversión, se realizan tres lecturas de Módulo de Young para tener menor margen de error en el desarrollo de la correlación.

Finalmente, se realiza un diseño vial con los valores de C.B.R. obtenidos en laboratorio y utilizando el método AASHTO (93); se calcula un segundo diseño empleando los valores de Módulo Resiliente determinados a partir de la correlación calculada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 2

JUSTIFICACIÓN 3

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

OBJETIVOS 4

MARCO TEÓRICO 5

1.1 Estructura de la vía 5

1.1.1 Capa Base 5

1.1.2 Capa Subbase 7

1.2 Ensayos de laboratorio 8

1.2.1 Granulometría – ASTM C33 9

1.2.2 Gravedad específica – ASTM C127, ASTM C128 13

1.2.3 Contenido Orgánico – ASTM C40-99 13

1.2.4 Determinación de terrones de arcilla y partículas friables (desmenuzables) en los agregados – ASTM C142-97 13

1.2.5 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio) – ASTM C88 13

1.2.6 Equivalente de arena – ASTM D2419 13

1.2.7 Desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles – ASTM C131 14

1.2.8 Límites de Atterberg – ASTM 4318 14

1.2.8 California Bearing Ratio (C.B.R) 14

1.2.9 Módulo de Young 16

CAPÍTULO II 19

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO 19

2.1 GRANULOMETRÍA 19

2.1.1 Granulometría de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 19

2.1.2 Granulometría de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 21

2.1.3 Granulometría de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 22

2.1.4 Granulometría de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 25

2.1.5 Granulometría de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 27

2.1.6 Granulometría de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 29

2.1.7 Granulometría de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 31

2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA 33

2.2.1 Gravedad especifica de Finos 33

2.2.2 Gravedad especifica de Gruesos 34

2.3 CONTENIDO ORGÁNICO 35

2.4 DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES (DESMENUZABLES) EN LOS AGREGADOS 36

2.5 DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS (SULFATO DE SODIO Y DE MAGNESIO) 36

2.6 EQUIVALENTE DE ARENA 37

2.7 DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES 38

2.7.1 Porcentaje de desgaste a la abrasión de Subbase de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 38

2.7.2 Porcentaje de desgaste a la abrasión de Base de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 38

2.8 LÍMITES DE ATTERBERG 39

2.8.1 Subbase Clase 1 39

2.8.2 Subbase Clase 2 39

2.8.3 Subbase Clase 3 40

2.8.4 Base Clase 1 40

2.8.5 Base Clase 2 41

2.8.6 Base Clase 3 41

2.8.7 Base Clase 4 42

2.9 CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R) 43

2.9.1 Proctor Modificado Subbase Clase 1 43

2.9.2 Proctor Modificado Subbase Clase 2 45

2.9.3 Proctor Modificado Subbase Clase 3..... 47
2.9.4 Proctor Modificado Base Clase 1..... 49
2.9.5 Proctor Modificado Base Clase 2..... 51
2.9.6 Proctor Modificado Base Clase 3..... 53
2.9.7 Proctor Modificado Base Clase 4..... 55
2.9.8 C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 57
2.9.9 C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 60
2.9.10 C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 63
2.9.11 C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). .. 66
2.9.12 C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). .. 69
2.9.13 C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). .. 72
2.9.14 C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). .. 75
2.10 MÓDULO DE YOUNG 78
CAPÍTULO III 79
RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS..... 79
CAPÍTULO IV 81
CORRELACIÓN C.B.R – MÓDULO RESILIENTE..... 81
CAPÍTULO V 83
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIAL 83

CAPÍTULO VI 100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 100

6.1 CONCLUSIONES 100

6.2 RECOMENDACIONES 101

BIBLIOGRAFÍA 102

ANEXOS 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 1 6

Tabla 2. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 2 6

Tabla 3. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 3 7

Tabla 4. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 4 7

Tabla 5. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para: Subbase Clase 1, Subbase Clase 2 y Subbase Clase 3. 8

Tabla 6. Tamices usados para la granulometría 10

Tabla 7. Clasificación de suelos SUCS 11

Tabla 8. Clasificación de suelos AASHTO 12

Tabla 9. Penetraciones y cargas tipo para C.B.R 15

Tabla 10. Especificaciones del GeoGauge 18

Tabla 11. Granulometría de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 19

Tabla 12. Clasificación de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 20

Tabla 13. Granulometría de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 21

Tabla 14. Clasificación de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 21

Tabla 15. Granulometría de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 22
Tabla 16. Clasificación de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 24
Tabla 17. Granulometría de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 25
Tabla 18. Clasificación de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 26
Tabla 19. Granulometría de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 27
Tabla 20. Clasificación de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 28
Tabla 21. Granulometría de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 29
Tabla 22. Clasificación de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 30
Tabla 23. Granulometría de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 31
Tabla 24. Clasificación de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 32
Tabla 25. Gravedad específica y absorción del agregado fino de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura). 33
Tabla 26. Gravedad específica y absorción del agregado grueso de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 34
Tabla 27. Contenido orgánico en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 35

Tabla 28. Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas friables en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 36
Tabla 29. Porcentaje de desgaste del agregado grueso a la acción de sulfatos de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 36
Tabla 30. Porcentaje de desgaste del agregado fino a la acción de sulfatos de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 37
Tabla 31. Equivalente de arena en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 37
Tabla 32. Desgaste a la abrasión de Subbase de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 38
Tabla 33. Desgaste a la abrasión de Base de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 38
Tabla 34. Contenido de humedad de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 39
Tabla 35. Límites de Atterberg de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 39
Tabla 36. Contenido de humedad de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 39
Tabla 37. Límites de Atterberg de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 39
Tabla 38. Contenido de humedad de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 40
Tabla 39. Límites de Atterberg de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 40

Tabla 40. Contenido de humedad de Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 40
Tabla 41. Límites de Atterberg de Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 40
Tabla 42. Contenido de humedad de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 41
Tabla 43. Límites de Atterberg de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 41
Tabla 44. Contenido de humedad de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 41
Tabla 45. Límites de Atterberg de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 41
Tabla 46. Contenido de humedad de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 42
Tabla 47. Límites de Atterberg de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 42
Tabla 48. Proctor Modificado Subbase Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 43
Tabla 49. Proctor Modificado Subbase Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 44
Tabla 50. Proctor Modificado Subbase Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 45
Tabla 51. Proctor Modificado Subbase Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 46

Tabla 52. Proctor Modificado Subbase Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 47
Tabla 53. Proctor Modificado Subbase Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 48
Tabla 54. Proctor Modificado Base Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 49
Tabla 55. Proctor Modificado Base Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 50
Tabla 56. Proctor Modificado Base Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 51
Tabla 57. Proctor Modificado Base Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 52
Tabla 58. Proctor Modificado Base Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 53
Tabla 59. Proctor Modificado Base Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 54
Tabla 60. Proctor Modificado Base Clase 4: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 55
Tabla 61. Proctor Modificado Base Clase 4: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 56
Tabla 62. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 57
Tabla 63. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección)..... 58
Tabla 64. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 60

Tabla 65. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección)..... 62
Tabla 66. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 63
Tabla 67. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección)..... 65
Tabla 68. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 66
Tabla 69. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección). 68
Tabla 70. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 69
Tabla 71. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección). 71
Tabla 72. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 72
Tabla 73. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección). 74
Tabla 74. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 75
Tabla 75. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección). 77
Tabla 76. Valores de Módulo de Young y Módulo Resiliente para los diferentes tipos de Bases y Subbases. 78
Tabla 77. Resumen de Resultados de los Ensayos de Laboratorio 79
Tabla 78. Resumen de Parámetros de C.B.R. 80
Tabla 79. Módulo de Young y Módulo Resiliente 80
Tabla 80. Valores de C.B.R. y Módulo Resiliente de Subbases y Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 81

Tabla 81. Módulo Resiliente para Subbases y Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) obtenidos a partir de las ecuaciones de la correlación. 82
.Tabla 82. Tráfico Promedio Anual (TPDA). 83
Tabla 83. Nivel de confianza según la clasificación funcional de una vía. 84
Tabla 84. Valores recomendados para la variación estándar So 84
Tabla 85. Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques 85
Tabla 86. TPDA final 86
Tabla 87. Factor de carga equivalente 86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la vía 5

Figura 2. Ubicación de la Mina Punto Azul (Ibarra - Imbabura)..... 9

Figura 3. Curva granulométrica de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)..... 20

Figura 4. Curva granulométrica de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)..... 22

Figura 5. Curva granulométrica de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)..... 24

Figura 6. Curva granulométrica de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 26

Figura 7. Curva granulométrica de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)..... 28

Figura 8. Curva granulométrica de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)..... 30

Figura 9. Curva granulométrica de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)..... 32

Figura 10. Proctor Modificado Subbase Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 44

Figura 11. Proctor Modificado Subbase Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 46

Figura 12. Proctor Modificado Subbase Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 48

Figura 13. Proctor Modificado Base Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 50

Figura 14. Proctor Modificado Base Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)..... 52
Figura 15. Proctor Modificado Base Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 54
Figura 16. Proctor Modificado Base Clase 4: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura). 56
Figura 17. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 58
Figura 18. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 59
Figura 19. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 61
Figura 20. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 62
Figura 21. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 64
Figura 22. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 65
Figura 23. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 67
Figura 24. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 68
Figura 25. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 70

Figura 26. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 71
Figura 27. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 73
Figura 28. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 74
Figura 29. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración. 76
Figura 30. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R..... 77
Figura 31. Ecuación de Módulo Resiliente para Subbases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 81
Figura 32. Ecuación de Módulo Resiliente para Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) 82
Figura 33. Número estructural de la Subrasante obtenido por el programa de AASHTO (93) 88
Figura 34. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A 89
Figura 35. Número estructural de la Base Clase 1 Tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93) 90
Figura 36. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Subbase Clase 1 91
Figura 37. Número estructural de la Subbase Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93) 92
Figura 38. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica. 93

Figura 39. Espesores de la estructura vial por el método AASHTO (1993) 94
Figura 40. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A 95
Figura 41. Número estructural de la Base Clase 1 tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93) 96
Figura 42. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Subbase Clase 1 97
Figura 43. Número estructural de la Sub-base Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93) 98
Figura 44. Espesores de la estructura vial por correlación obtenida 99

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Contenido orgánico en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura)……35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)……..……108

Anexo 2. Almacenaje de materiales, Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)…….……...108

Anexo 3. Muestras para contenido de humedad de los agregados……109

Anexo 4. Tamizado de los agregados……109

Anexo 5. Compactación del material para el ensayo de C.B.R……..…….110

Anexo 6. Tendido del material para ensayo con equipo GeoGauge……..……111

Anexo 7. Compactado de material para ensayo con equipo GeoGauge……112

INTRODUCCIÓN

Las vías son el eje de desarrollo más importante de los países, es por eso que, en el transcurso de la historia han ido evolucionando en su construcción; tanto en los materiales empleados, como en técnicas para desarrollar un mejor tipo de estructura vial que garantice que las carreteras cumplan con la función de permitir el transporte vehicular y la movilidad de las personas.

Cada vez las solicitaciones de una vía son más exigentes, por tal motivo se busca que las carreteras cumplan con las exigencias para las que fueron diseñadas y a costos menores.

En el presente trabajo de investigación se realiza la comparación técnica entre el ensayo de C.B.R de laboratorio con el ensayo de Módulo de Young; el ensayo de C.B.R es el más usado en nuestro país para determinar la capacidad portante del suelo debido a su bajo costo, simplicidad de desarrollo y fácil interpretación de datos, no obstante, este método es algo caduco ya que en la actualidad existen otros ensayos que permiten obtener los mismos resultados pero con mayor precisión, tal es el caso de la determinación del Módulo de Young, este procedimiento permite obtener el módulo de elasticidad del suelo en campo mediante el uso de un equipo llamado GeoGauge, se pretende analizar la importancia del uso del Módulo de Young en el proceso de diseño de las diferentes capas de un pavimento flexible, las cuales al final de un diseño real cumplan con las normativas para desenvolverse de la mejor manera a la acción de cargas vehiculares y durabilidad en el transcurso de los años.

ANTECEDENTES

Para realizar el diseño de la estructura de una vía, en el procedimiento que indica la normativa AASHTO 1993, se necesita el ensayo de C.B.R de laboratorio para los materiales de subrasante, subbase y base que conforman la estructura de la vía; Cuando utilizamos el software de la AASHTO 93, se debe ingresar el valor del Módulo Resiliente, el cual en este trabajo de investigación, se obtiene a partir del Módulo de Young, que se determina realizando ensayos en campo con el equipo llamado Geogauge, para posteriormente calcular el número estructural.

En dicho proceso no se realiza el ensayo del Módulo Resiliente para obtener este valor, se lo obtiene a través del C.B.R y de ábacos lo cual no da el número real que corresponde al del Módulo Resiliente del agregado que se va a utilizar.

En trabajos de investigación de este mismo tema, pero de diferente caso de estudio; se ha podido comprobar que existe una reducción de material y espesor en las capas de base y subbase al tener el valor real del Módulo Resiliente propio del agregado que conforma las diferentes capas de la vía, por este motivo en el presente trabajo de investigación se determina el valor del Módulo de Young, a partir del cual se obtiene el Módulo Resiliente perteneciente a cada capa de la estructura de la vía.

JUSTIFICACIÓN

Se realiza los ensayos de caracterización de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) utilizando la normativa ASTM, la cual es base para las normativas ecuatorianas NEVI-12-MTOP y normativa INEN, para comprobar si el material es óptimo para su uso, teniendo en cuenta los parámetros que exigen las normativas, también el objetivo es encontrar los valores reales de C.B.R y de Módulo de Young del agregado para realizar un análisis de la correlación que se va a obtener, para encontrar el Módulo Resiliente con una fórmula que nos dé como resultado valores apegados a la realidad comparándolos con los del ensayo de laboratorio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al venir trabajando con el valor del C.B.R del material y utilizándolo para obtener empíricamente el valor de Módulo Resiliente, se obtiene valores con sobredimensionamiento de las capas de las vías, haciéndolas más costosas y con un tiempo de construcción mayor.

El ensayo de Módulo de Young no es muy común en nuestro medio, y el costo de cada ensayo es muy elevado, es por esto que el fin de esta investigación es encontrar una ecuación en la cual intervenga el valor de C.B.R obtenido mediante ensayos de laboratorio para encontrar el Módulo Resiliente que será comparado con el valor real del ensayo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar una comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de Módulo de Young y C.B.R de laboratorio para base y subbase de la Mina Punto Azul (Ibarra - Imbabura).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mediante ensayos de laboratorio calificar los materiales provenientes de la Mina Punto Azul (Ibarra - Imbabura), utilizando especificaciones establecidas.
- Encontrar los valores reales de C.B.R de laboratorio y Módulo de Young de los materiales provenientes de la mina en estudio.
- Obtener una correlación entre el C.B.R de laboratorio y el Módulo Resiliente para los materiales provenientes de la Mina Punto Azul (Ibarra - Imbabura).
- Realizar un diseño vial con ayuda del software de la AASHTO 93 con los valores obtenidos del laboratorio y con los valores de la correlación.

CAPÍTULO I

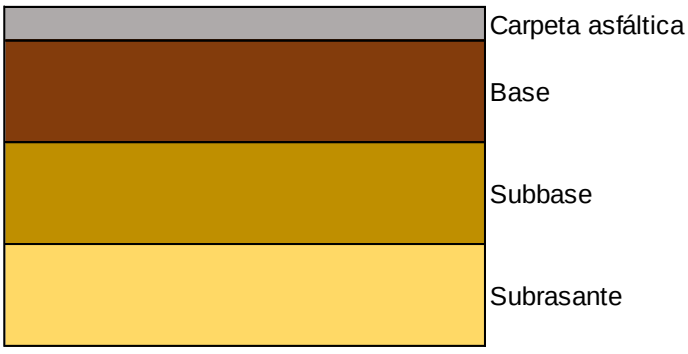
En el presente capítulo se detalla como se encuentra conformada la estructura de una vía, las especificaciones que debe cumplir cada tipo de base y subbase de acuerdo a la clasificación proporcionada por la normativa del Ministerio de Trasporte y Obras Públicas; también se describe cada ensayo realizado para llevar a cabo el desarrollo de la presente investigación.

MARCO TEÓRICO

1.1 Estructura de la vía

La estructura de un pavimento flexible está compuesta de 4 capas, empezando por la capa de rodadura o pavimento que es la que recibe las cargas vehiculares proporcionada por los neumáticos de los vehículos, por debajo se encuentra la base y a continuación la subbase que se encuentra por encima de la subrasante.

Figura 1. Estructura de la vía



1.1.1 Capa Base

La base está ubicada por debajo de la carpeta asfáltica, esta capa generalmente es granular y es capaz de trasmitir los esfuerzos de tráfico a los que se encuentra sometida la vía, hacia la subbase y posteriormente a la subrasante en una

intensidad apropiada, según la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas existen 4 tipos que son:

- Base Clase 1 Tipo A y Tipo B

Tabla 1. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 1

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.
2"	50 mm		100		100
1 1/2"	37.5 mm	70	100	70	100
1"	25 mm	55	85	60	90
3/4"	19 mm	50	80	45	75
3/8"	9.5 mm	35	60	30	60
Nº 4	4.75 mm	25	50	20	50
Nº 10	2 mm	20	40	10	25
Nº 40	0.425 mm	10	25	2	12
Nº 200	0.075 mm	2	12		

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013)

- Base Clase 2

Tabla 2. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 2

TAMIZ		BASE CLASE 2	
		Min.	Máx.
2"	50 mm		100
1 1/2"	37.5 mm	70	100
1"	25 mm	55	85
3/4"	19 mm	47	75
3/8"	9.5 mm	35	65
Nº 4	4.75 mm	25	55
Nº 10	2 mm	15	45
Nº 40	0.425 mm	5	25
Nº 200	0.075 mm	0	10

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013)

- Base Clase 3

Tabla 3. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 3

TAMIZ		BASE CLASE 3	
		Min.	Máx.
2"	50 mm		100
1"	25 mm	70	100
3/4"	19 mm	60	90
3/8"	9.5 mm	40	75
Nº 4	4.75 mm	30	60
Nº 10	2 mm	15	45
Nº 40	0.425 mm	10	30
Nº 200	0.075 mm	0	15

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013)

- Base Clase 4

Tabla 4. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 4

TAMIZ		BASE CLASE 3	
		Min.	Máx.
2"	50 mm		100
1"	25 mm	60	90
Nº 4	4.75 mm	20	50
Nº 200	0.075 mm	0	15

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013)

1.1.2 Capa Subbase

La subbase se encuentra ubicada por debajo de la base, la capacidad de soporte de esta capa debe ser mayor a la de la subrasante, la subbase es usada para disminuir en espesor de la capa base, según la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas existen 3 tipos, que son:

- Subbase Clase 1

- Subbase Clase 2
- Subbase Clase 3

Tabla 5. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para: Subbase Clase 1, Subbase Clase 2 y Subbase Clase 3.

TAMIZ		SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
3"	76.2 mm						100
2"	50.4 mm				100		
1 1/2"	38.1 mm		100	70	100		
Nº 4	4.75 mm	30	70	30	70	30	70
Nº 40	0.425 mm	10	35	15	40		
Nº 200	0.075 mm	0	15	0	20	0	20

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013)

1.2 Ensayos de laboratorio

Los ensayos que se detallan a continuación, tienen como finalidad saber si el agregado obtenido de la Mina Punto Azul, que se encuentra ubicada en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura (Figura 2), cumple con las especificaciones y son aptos para el uso en la construcción de una vía, además de conocer las características propias del material lo cual define parámetros para el diseño vial.

Los ensayos de laboratorio han sido realizados en base a la normativa ASTM, la cual es base para las normativas ecuatorianas NEVI-12-MTOP y normativa INEN.

Figura 2. Ubicación de la Mina Punto Azul (Ibarra - Imbabura)



Fuente: (Google Maps, 2019)

1.2.1 Granulometría – ASTM C33

La granulometría permite conocer el tamaño del agregado, así como la distribución de las partículas que contiene el suelo.

Con el porcentaje de agregado retenido en los tamices y según la normativa (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013), se determina el tipo de base y subbase.

Los tamices que se van a utilizar para agregado grueso y agregado fino son los siguientes que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Tamices usados para la granulometría

TAMICES	AGREGADO
2"	GRUESO
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	
Nº 4	
Nº 4	FINO
Nº 8	
Nº 16	
Nº 30	
Nº 50	
Nº 100	

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C-33. Granulometría de los agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

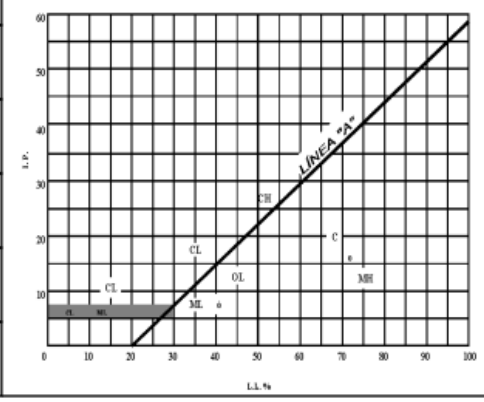
Para determinar la clasificación del agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura), se utilizada el método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO como se indica en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Clasificación de suelos SUCS

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR					SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de particulas finas	GW	Gravas bien graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%:GW,GP,SW,SP; más del 12%: GM,GC,SM,SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.**	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$
					GP	Gravas mal graduadas,mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
				GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de particulas finas	* GM d / u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. / Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					GC	Gravas arcillosas,mezclas de gravas,arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4		ARENA LIMPIA Poco o nada de particulas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.
					SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
				ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de particulas finas	* SM d / u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. / Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50			ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad
					CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)
					OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50			MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	
					CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
					OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS			P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	



** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.
⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.
* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D-2487-17-Standar Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, Estados Unidos.

Tabla 8. Clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos			Suelos arcillosos
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Fuente: Braja M. Das. (1998). Principles of Geotechnical Engineering.

1.2.2 Gravedad específica – ASTM C127, ASTM C128

La gravedad específica del agregado o densidad relativa es la relación que existe entre su peso unitario y el peso unitario del agua.

Permite conocer el volumen que ocupa el material cuando se encuentra formando parte de sustancias o mezclas.

1.2.3 Contenido Orgánico – ASTM C40-99

El ensayo de Contenido Orgánico sirve para determinar la presencia de componentes orgánicos perjudiciales en los agregados en análisis.

1.2.4 Determinación de terrones de arcilla y partículas friables (desmenuzables) en los agregados – ASTM C142-97

Mediante este ensayo se determina la cantidad aproximada de terrones de arcilla y partículas friables que se encuentran en el agregado, ya que al estar en contacto con el material pueden ser perjudiciales en su resistencia por reaccionar químicamente al envolver al agregado.

1.2.5 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio) – ASTM C88

Este ensayo permite conocer el porcentaje de desgaste que tiene el agregado a la acción de las sustancias que contienen sulfato de sodio y sulfato de magnesio que se encuentran presentes en agentes naturales como son el agua, el suelo y el aire que desgastan al material que se utiliza en proyectos de obras civiles.

1.2.6 Equivalente de arena – ASTM D2419

El ensayo permite determinar qué cantidad de arcilla y polvo de roca existe en el agregado, es importante también conocer el contenido de arena para determinar el

estado límite del agregado. La arcilla puede ser un material que pude ser nocivo para el agregado ya que forma una pasta alrededor perjudicando las características propias.

1.2.7 Desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles – ASTM C131

El porcentaje de desgaste a la abrasión del agregado es importante conocer ya que el material va a estar expuesto a fragmentación lo cual se ve afectado en su resistencia, es por eso que en la normativa (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2013), dice que el porcentaje máximo de desgaste para base es del 40 %y para subbase es del 50%.

1.2.8 Límites de Atterberg – ASTM 4318

Este ensayo permite conocer en qué estado se encuentra el agregado, es decir si tiene un límite líquido y un límite plástico. Se debe tener en cuenta la humedad del material.

1.2.8 California Bearing Ratio (C.B.R)

Este método permite conocer la capacidad a la resistencia que tiene un material a solicitaciones que se presentan cuando el agregado forma parte de las capas de una estructura vial.

Para realizar este ensayo, se procede a realizar el procedimiento denominado PROCTOR MODIFICADO, el cual consiste en tener 3 muestras compactadas con 12, 25, y 56 golpes para determinar la humedad óptima del agregado y su densidad máxima.

Después de obtener estos valores se procede a realizar el ensayo de C.B.R. el cual consiste en tener 3 muestras compactadas en 5 capas. La primera con 12 golpes,

la segunda con 25 golpes y la tercera con 26 golpes. Después de tener los moldes de las muestras se procede a inundarlas para saber el hinchamiento que van a tener.

Luego se procede a romper las muestras con cargas tipo y penetraciones como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 9. Penetraciones y cargas tipo para C.B.R

Penetración (plg)	Carga unitaria (lb/plg²)
0.1	1
0.2	1.5
0.3	1.9
0.4	2.3
0.5	2.6

Fuente: (Salvador, 2001)

Corrección curva C.B.R.

Generalmente la curva presión-penetración (carga-deformación) obtenida por una prueba C.B.R. es lineal para bajas penetraciones y tiende a hacerse ligeramente curva, con la concavidad hacia abajo, a penetraciones mayores; en ocasiones, sin embargo, la gráfica resulta curva con concavidad hacia arriba en un pequeño tramo correspondiente a las penetraciones iniciales; esto ocurre, sobre todo, cuando el pistón no está exactamente normal a la superficie de la muestra al iniciarse la prueba, en estas ocasiones es preciso corregir los resultados de la prueba; desplazando la gráfica hacia la izquierda, de modo que su parte recta, prolongada haciendo caso omiso de la pequeña curvatura inicial, pase por el origen. Los nuevos

valores de C.B.R. así obtenidos se denominan el “C.B.R. corregido”. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que la tangente corta la abscisa. (Badillo & Rodríguez, 2004)

1.2.9 Módulo de Young

El módulo de Young o conocido también como módulo de elasticidad, es el parámetro que caracteriza la firmeza de un material elástico.

El suelo no está definido como un material elástico, pero en ocasiones presenta un comportamiento elástico-lineal, siendo posible determinar un módulo de elasticidad. Es necesario precisar que los suelos no tienen un comportamiento lineal, y para determinar el módulo de Young es necesario obtener la tangente de la curva de las cargas aplicadas a dicho suelo, para deformaciones pequeñas; si se tiene deformaciones mayores se convierte en un material plástico y es imposible emplear esta característica.

El objetivo de determinar esta característica es entender el comportamiento que tendrá el suelo al ser sometido a cargas, sean estas dinámicas o estáticas; o en muchos casos aprovechar la máxima resistencia de un suelo en función a su propia capacidad y estabilidad.

Factores de incidencia en el Módulo de Young de un suelo

Existen dos factores que inciden en la variación del módulo de elasticidad de un suelo.

El primero es el contenido de agua que posee, si se tiene baja cantidad de agua, las partículas se unen de mejor manera, aumenta el estrés y la succión entre las

partículas, dando como resultado un alto módulo de elasticidad; con altos contenidos de agua, las partículas se empujan entre sí, se separan y resulta un módulo de elasticidad bajo.

Otro actor importante es el confinamiento previo que ha tenido un suelo, si el confinamiento es mayor, resistirá mayores esfuerzos y por ende el módulo de elasticidad será alto; si un suelo es normalmente consolidado se tendrá menores módulos de elasticidad.

Determinación del Módulo de Young mediante GeoGauge

GeoGauge es una herramienta de campo que se puede usar para medir la uniformidad de las capas de un suelo, midiendo la variabilidad de la rigidez en toda la estructura. Adicionalmente proporciona medios alternativos para estimar la reacción de la subrasante, CBR y densidad del suelo.

GeoGauge funciona aplicando una fuerza vibratoria a 25 frecuencias específicas entre 100 y 296 Hz, que producen pequeñas desviaciones en el material. El desplazamiento resultante se mide con GeoGauge y se muestra como rigidez determinada por la relación entre la fuerza y la deflexión.

El aparato GeoGauge pesa 10 kg, tiene 28 cm de diámetro y 25,4 cm de alto.

Especificaciones del GeoGauge

En el siguiente cuadro se pueden verificar los valores máximos y mínimos de rigidez y Módulo de Young que es capaz de registrar el equipo GeoGauge, se debe precisar que se tiene porcentaje de error de 5%.

Tabla 10. Especificaciones del GeoGauge

Parámetro	Valor mínimo registrado		Valor máximo registrado	
Rigidez	MN/m	klbf/in	MN/m	klbf/in
	3	17	70	399
Módulo de Young	MPa	Kpsi	MPa	Kpsi
	26.3	3.8	610	89
Profundidad de medición	cm		cm	
	22		31	

Fuente: Información proporcionada por el Laboratorio de Suelos y Materiales PUCE

Procedimiento

- El aparato GeoGauge debe ser colocado directamente sobre el suelo.
- Luego, se coloca una capa delgada de arena limpia y húmeda.
- Se gira el aparato, con una ligera o nula presión, para que modifique los resultados.
- Se presiona el botón MEAS y se debe esperar de 60 a 70 segundos para que el aparato registre resultados.
- Las próximas mediciones deben realizarse al menos a 60 cm de distancia.

Módulo Resiliente a partir del Módulo de Young

Los valores de Módulo de Young obtenidos en el ensayo realizado en campo usando el equipo GeoGauge, se reflejan en MPa como unidad, para determinar el Módulo Resiliente, el cual es requerido para realizar la correlación, se hace una

trasformación de unidades tomando como valor de conversión 1 MPa es igual a 145,0377 Psi, aproximadamente.

CAPÍTULO II

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

2.1 GRANULOMETRÍA

2.1.1 Granulometría de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

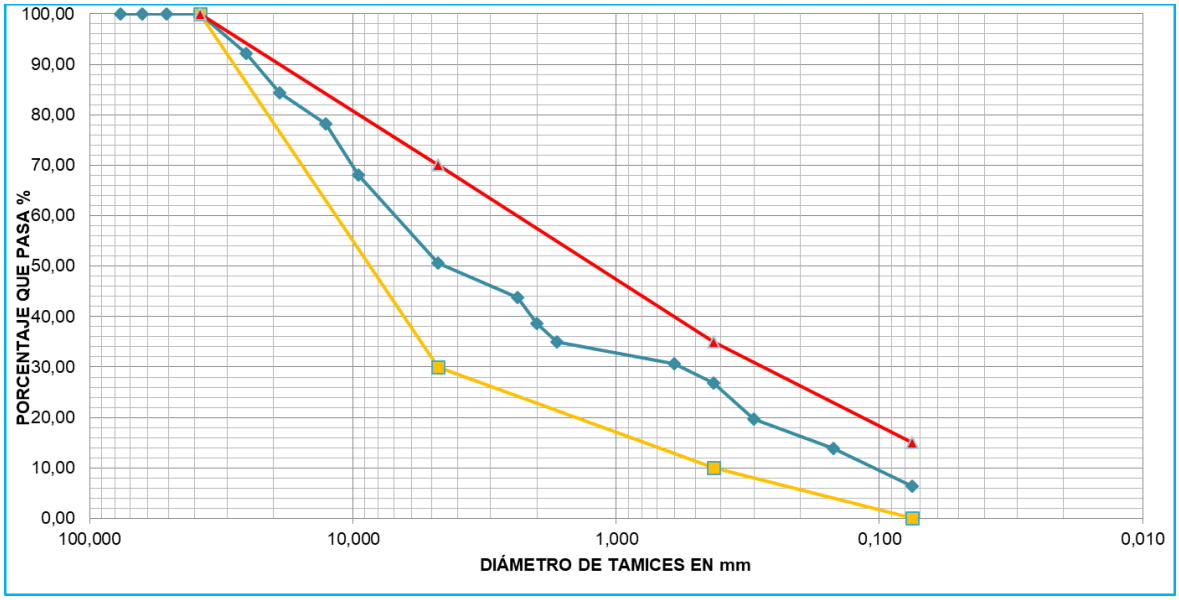
Tabla 11. Granulometría de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	MASA RETENIDA		% Retenido	% Que pasa	% Que pasa especificado
ASTM	Parcial	Acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	
2½'	0	0	0,00	100,00	
2'	0	0	0,00	100,00	
1½'	0	0	0,00	100,00	100
1'	609	609	7,92	92,08	
¾'	591	1200	15,60	84,40	
½'	472	1672	21,74	78,26	
⅜'	783	2455	31,92	68,08	
No.4	1342	3797	49,37	50,63	30 - 70
Pasa 4,75mm	3894	3894	50,63		
Σ	7691			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	50,63	
No.8	104,02	104,02	6,85	43,78	
No.10	77,13	181,15	11,94	38,69	
No.16	55,45	236,60	15,59	35,04	
No.20					
No.30	66,89	303,49	20,00	30,63	
No.40	56,45	359,94	23,72	26,91	10' - 35
No.50	109,12	469,06	30,91	19,72	
No.60					
No.100	88,34	557,40	36,73	13,90	
No.200	114,23	671,63	44,25	6,38	0' - 15
Pasa 75 µm	104,00	104,00	6,85		
Σ	768,42				

Tabla 12. Clasificación de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 3. Curva granulométrica de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.1.2 Granulometría de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

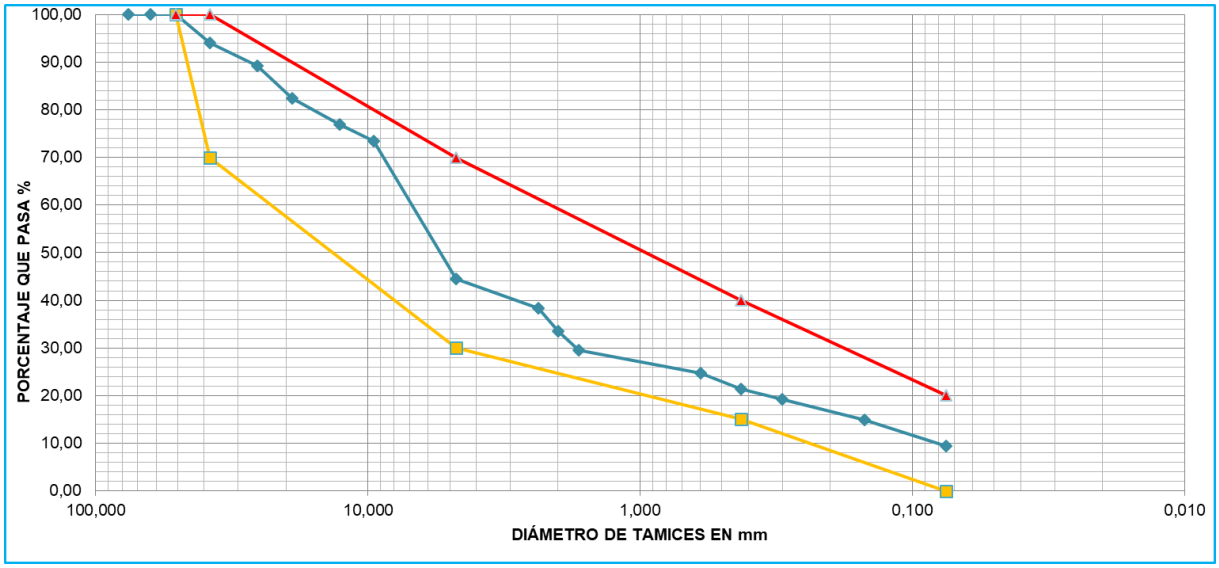
Tabla 13. Granulometría de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	MASA RETENIDA		% Retenido	% Que pasa	% Que pasa especificado
ASTM	Parcial	Acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	
2½'	0	0	0,00	100,00	
2'	0	0	0,00	100,00	100
1½'	711	711	5,93	94,08	70 - 100
1'	589	1300	10,83	89,17	
¾'	823	2123	17,69	82,31	
½'	645	2768	23,07	76,93	
⅜'	432	3200	26,67	73,33	
No.4	3456	6656	55,47	44,53	30 - 70
Pasa 4,75mm	5344	5344	44,53		
Σ	12000			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	44,53	
No.8	109,31	109,31	6,17	38,36	
No.10	84,32	193,63	10,93	33,60	
No.16	73,41	267,04	15,07	29,46	
No.20					
No.30	85,42	352,46	19,89	24,64	
No.40	56,93	409,39	23,11	21,43	15 - 40
No.50	39,76	449,15	25,35	19,18	
No.60					
No.100	74,51	523,66	29,56	14,98	
No.200	98,93	622,59	35,14	9,39	0' - 20
Pasa 75 µm	166,41	166,41	9,39		
Σ	789,00				

Tabla 14. Clasificación de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 4. Curva granulométrica de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.1.3 Granulometría de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

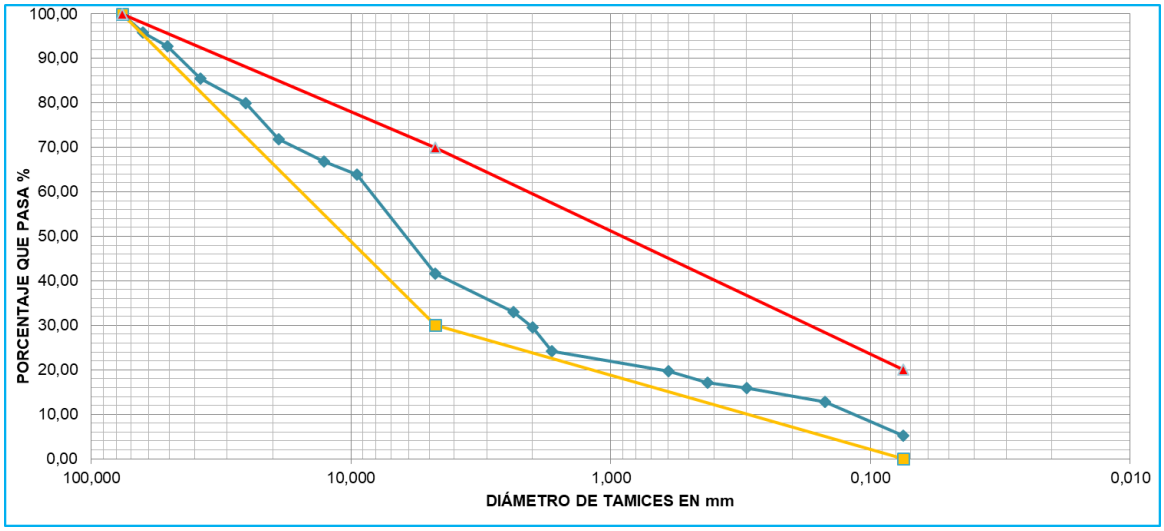
Tabla 15. Granulometría de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	MASA RETENIDA		% Retenido	% Que pasa	% Que pasa especificado
ASTM	Parcial	Acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	100
2½'	456	456	4,15	95,85	
2'	342	798	7,27	92,73	
1½'	789	1587	14,46	85,54	
1'	612	2199	20,03	79,97	
¾'	898	3097	28,21	71,79	
½'	542	3639	33,15	66,85	
⅜'	324	3963	36,10	63,90	
No.4	2451	6414	58,43	41,57	30 -70
Pasa 4,75mm	4563	4563	41,57		
Σ	10977			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	41,57	
No.8	109,12	109,12	8,52	33,05	
No.10	45,36	154,48	12,06	29,51	
No.16	67,54	222,02	17,33	24,23	
No.20					
No.30	59,12	281,14	21,95	19,62	
No.40	31,42	312,56	24,40	17,17	
No.50	15,89	328,45	25,64	15,92	
No.60					
No.100	39,16	367,61	28,70	12,87	
No.200	98,14	465,75	36,36	5,20	0' - 20
Pasa 75 µm	66,66	66,66	5,20		
Σ	532,41				

Tabla 16. Clasificación de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 5. Curva granulométrica de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.1.4 Granulometría de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

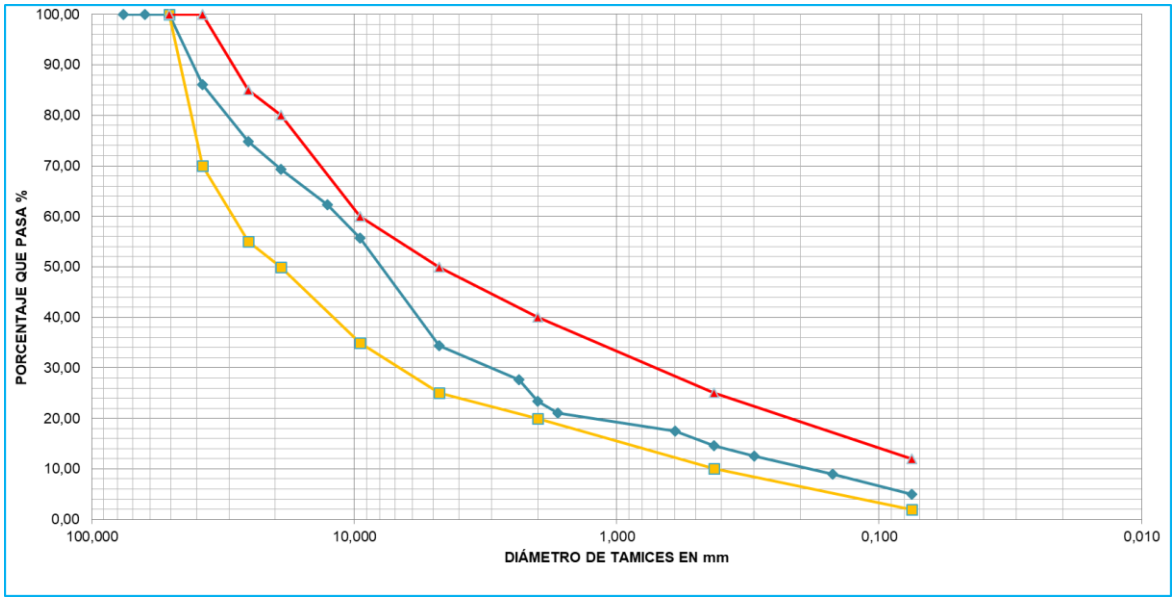
Tabla 17. Granulometría de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	Masa retenida (g)		% Retenido	% Que pasa	%Que pasa especificado
ASTM	parcial	acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	
2½'	0	0	0,00	100,00	
2'	0	0	0,00	100,00	100
1½'	1675	1675	13,96	86,04	70 - 100
1'	1342	3017	25,15	74,85	55 - 85
¾'	671	3688	30,74	69,26	50 - 80
½'	831	4519	37,67	62,33	
⅜'	789	5308	44,24	55,76	35 - 60
No.4	2567	7875	65,64	34,36	25 - 50
Pasa 4,75mm	4122	4122	34,36		
Σ	11997			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	34,36	
No.8	172,32	172,32	6,74	27,62	
No.10	109,43	281,75	11,02	23,34	20 - 40
No.16	58,43	340,18	13,30	21,06	
No.20					
No.30	89,65	429,83	16,81	17,55	
No.40	74,32	504,15	19,71	14,64	10' - 25
No.50	53,42	557,57	21,80	12,56	
No.60					
No.100	92,54	650,11	25,42	8,94	
No.200	102,31	752,42	29,42	4,94	2' - 12
Pasa 75 µm	126,23	126,23	4,94		
Σ	878,65				

Tabla 18. Clasificación de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 6. Curva granulométrica de Base Clase 1 Tipo A de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.1.5 Granulometría de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

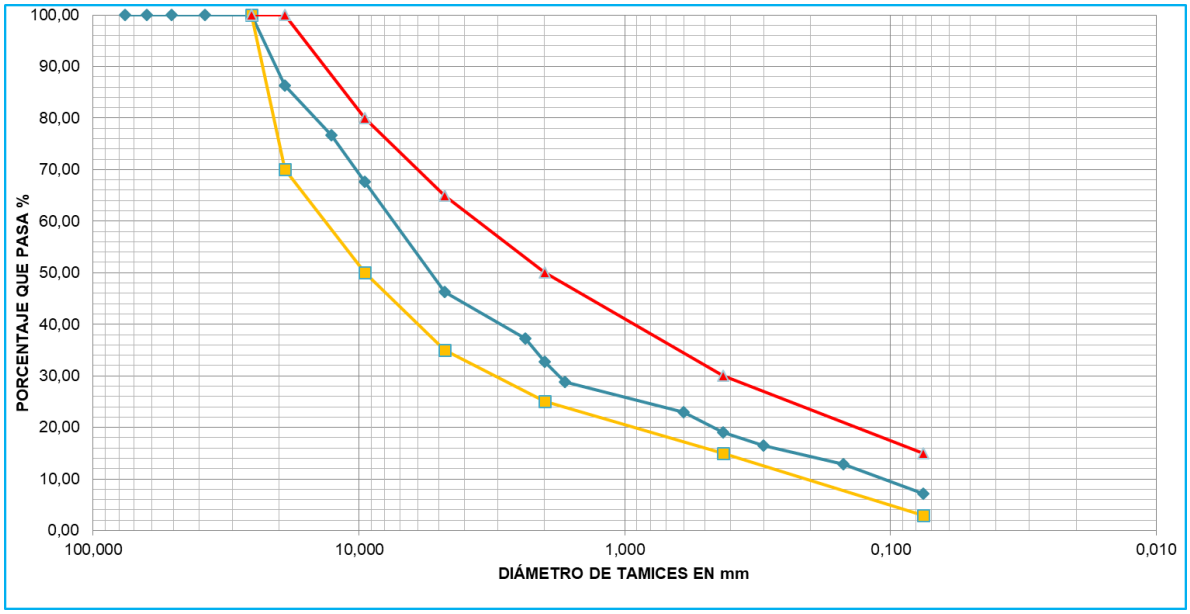
Tabla 19. Granulometría de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	MASA RETENIDA		% Retenido	% Que pasa	% Que pasa especificado
ASTM	Parcial	Acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	
2½'	0	0	0,00	100,00	
2'	0	0	0,00	100,00	
1½'	0	0	0,00	100,00	
1'	0	0	0,00	100,00	100
¾'	921	921	13,75	86,25	70 - 100
½'	644	1565	23,37	76,63	
⅜'	598	2163	32,30	67,70	50 - 80
No.4	1436	3599	53,74	46,26	35 - 65
Pasa 4,75mm	3098	3098	46,26		
Σ	6697			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	46,26	
No.8	151,08	151,08	8,96	37,30	
No.10	78,19	229,27	13,59	32,67	25 - 50
No.16	65,43	294,70	17,47	28,79	
No.20					
No.30	99,62	394,32	23,38	22,88	
No.40	65,05	459,37	27,24	19,02	15 - 30
No.50	43,48	502,85	29,81	16,45	
No.60					
No.100	59,23	562,08	33,33	12,93	
No.200	98,12	660,20	39,14	7,12	3' - 15
Pasa 75 µm	120,02	120,02	7,12		
Σ	780,22				

Tabla 20. Clasificación de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 7. Curva granulométrica de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.1.6 Granulometría de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

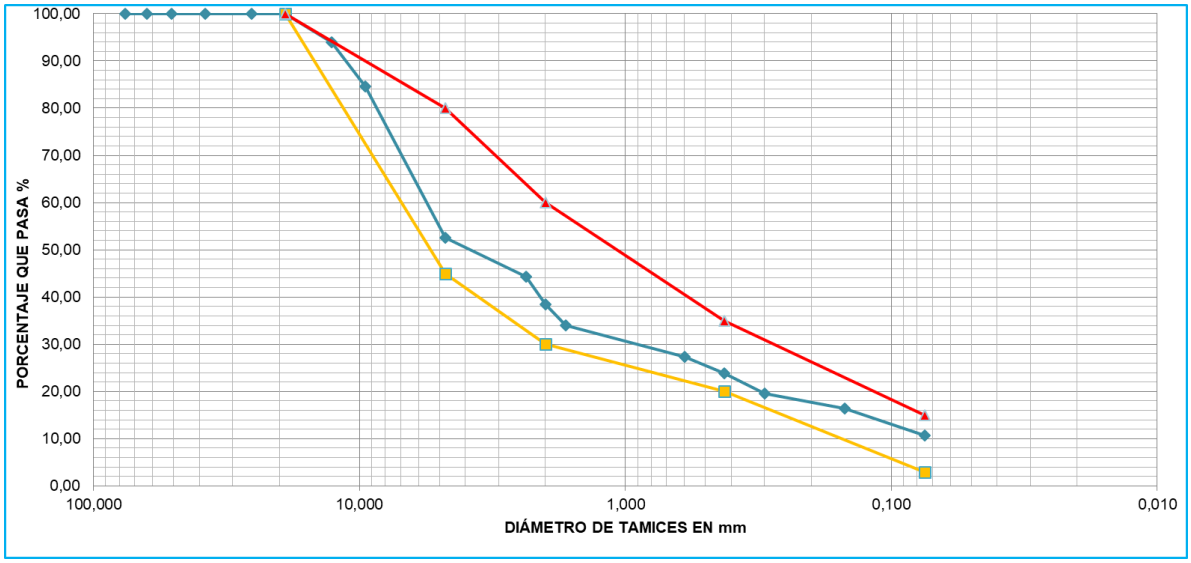
Tabla 21. Granulometría de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	MASA RETENIDA		% Retenido	% Que pasa	% que pasa especificado
ASTM	Parcial	Acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	
2½'	0	0	0,00	100,00	
2'	0	0	0,00	100,00	
1½'	0	0	0,00	100,00	
1'	0	0	0,00	100,00	
¾'	0	0	0,00	100,00	100,00
½'	434	434	6,01	93,99	
⅜'	678	1112	15,39	84,61	
No.4	2314	3426	47,43	52,57	45 - 80
Pasa 4,75mm	3798	3798	52,57		
Σ	7224			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	52,57	
No.8	142,11	142,11	8,33	44,25	
No.10	99,67	241,78	14,16	38,41	30 - 60
No.16	75,43	317,21	18,58	33,99	
No.20					
No.30	112,26	429,47	25,16	27,41	
No.40	59,78	489,25	28,66	23,91	20 - 35
No.50	73,08	562,33	32,94	19,63	
No.60					
No.100	56,09	618,42	36,23	16,35	
No.200	96,52	714,94	41,88	10,69	3' - 15
Pasa 75 µm	182,49	182,49	10,69		
Σ	897,43				

Tabla 22. Clasificación de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN:	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 8. Curva granulométrica de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.1.7 Granulometría de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

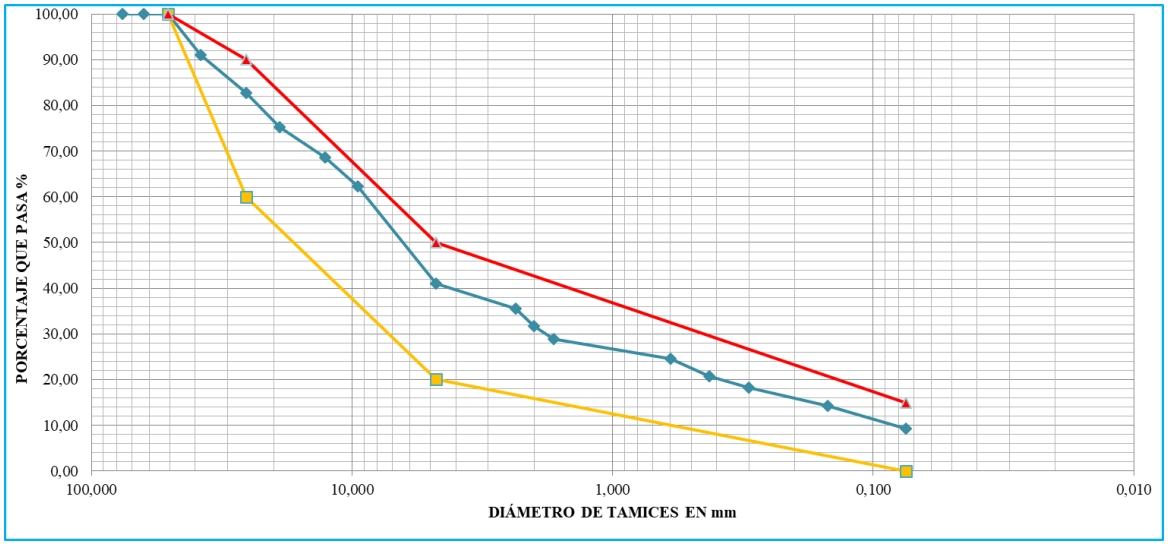
Tabla 23. Granulometría de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TAMIZ	MASA RETENIDA		% Retenido	% Que pasa	% Que pasa especificado
ASTM	Parcial	Acumulado			
3'	0	0	0,00	100,00	
2½'	0	0	0,00	100,00	
2'	0	0	0,00	100,00	100
1½'	1123	1123	8,98	91,02	
1'	1034	2157	17,24	82,76	60 - 90
¾'	942	3099	24,77	75,23	
½'	833	3932	31,43	68,57	
⅜'	781	4713	37,67	62,33	
No.4	2675	7388	59,06	40,94	20 - 50
Pasa 4,75mm	5122	5122	40,94		
Σ	12510			FINOS	
No.4	0	0,00	0,00	40,94	
No.8	120,92	120,92	5,43	35,52	
No.10	85,43	206,35	9,26	31,68	
No.16	61,44	267,79	12,02	28,93	
No.20					
No.30	98,52	366,31	16,44	24,51	
No.40	83,89	450,20	20,20	20,74	
No.50	56,41	506,61	22,73	18,21	
No.60					
No.100	88,32	594,93	26,70	14,25	
No.200	109,14	704,07	31,59	9,35	0' - 15
Pasa 75 µm	208,36	208,36	9,35		
Σ	912,43				

Tabla 24. Clasificación de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHT	A-1-a
OBSERVACIONES	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 9. Curva granulométrica de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA

2.2.1 Gravedad especifica de Finos

Tabla 25. Gravedad específica y absorción del agregado fino de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura).

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO					
PESO DEL RECIPIENTE =	2689	gramos			
VOL. DEL RECIPIENTE =	2867	dm3			
PS1=	**6894**	gramos	PC1=	**7912**	gramos
PS2=	**6909**	gramos	PC2=	**7945**	gramos
PS3=	**6891**	gramos	PC3=	**7933**	gramos
MEDIA=	**6898**	gramos	MEDIA=	**7930**	gramos
P. U. S. =	**1,468**	**Kg/dm3**	**P. U. C. =**	**1,828**	**Kg/dm3**
MASA DE LA MUESTRA S.S.S **[A]**=	**500**	gramos			
MASA PICN.+MUESTRA+AGUA **[B]**=	**978**	gramos			
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA **[C]**=	**659,4**	gramos			
MASA DE LA MUESTRA SECA **[D]**=	**489,1**	gramos			
DSSS = A / ((A-B)+C) =	**2,756**				
%ABS = (A-D) / D * 100 =	**2,2**	**%**			

El agregado fino de la Mina Punto Azul (Ibarra-Imbabura) tiene una gravedad específica igual a 2,756 y una absorción de 2,2%.

2.2.2 Gravedad especifica de Gruesos

Tabla 26. Gravedad específica y absorción del agregado grueso de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GUESO					
PESO DEL RECIPIENTE =	5121	gramos			
VOL. DEL RECIPIENTE =	7.933	dm3			
PS1=	**15931**	gramos	PC1=	**18322**	gramos
PS2=	**15958**	gramos	PC2=	**18415**	gramos
PS3=	**15921**	gramos	PC3=	**18398**	gramos
MEDIA=	**15937**	gramos	MEDIA=	**18378**	gramos
P. U. S. =	**1,363**	**Kg/dm3**	**P. U. C. =**	**1,671**	**Kg/dm3**
MASA DE LA MUESTRA S.S.S **[A]**=	**5000**	gramos			
MASA CANASTILLA SUMERGIDA **[B]**=	**369**	gramos			
MASA CANAST+MUESTRA SUMERG.**[C]**=	**3454**	gramos			
MASA DE LA MUESTRA SECA **[D]**=	**4936**	gramos			
DSSS = A / (A-C+B) =	**2,611**				
%ABS = (A-D) / D * 100 =	**1,280**	**%**			

El agregado grueso de la Mina Punto Azul (Ibarra-Imbabura) tiene una gravedad específica igual a 2,7611 y una absorción de 1,28%.

2.3 CONTENIDO ORGÁNICO

Imagen 2. Contenido orgánico en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).



Tabla 27. Contenido orgánico en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Color en carta de colores impurezas orgánicas:	Luego de preparar la solución de hidróxido de sodio reactivo al 3%; disolver 3 partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua, se coloca 450gr de arena para estudio, mezclando mediante ajitacion asta ver que este totalmente mezclado y dejando reposar 24H se puede observar que corresponde a la figura dos.
Observaciones:	Se observa que esta el color N° 2 lo que debe interpretarse que la arena puede ser utilizada para concreto o morteros.

2.4 DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES (DESMENUZABLES) EN LOS AGREGADOS

Tabla 28. Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas friables en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES		
W (gr)	**R (gr)**	**P (%)**
5000	4985	0,30
Observaciones:	El máximo porcentaje de materiales deletéreos en los agregados es de 1% en peso según la Norma ASTM C142. En este caso el agregado en estudio cumple.	

2.5 DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS (SULFATO DE SODIO Y DE MAGNESIO)

Tabla 29. Porcentaje de desgaste del agregado grueso a la acción de sulfatos de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL DE AGREGADO GRUESO				
Fracción	**Masa inicial (gr)**	**Masa retenida final (gr)**	**% Pasa**	**% Desgaste Parcial**
1	3000	2914	86,00	3%
2	1500	1483	17,00	1%
3	1000	992	8,00	1%
4	300	289	11,00	4%
Porcentaje de desgaste total de agregado grueso				**8%**
Observaciones:	En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2,2. Indica que con sulfato de magnesio máximo debe existir un 18% de perdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de lo especificado.			

Tabla 30. Porcentaje de desgaste del agregado fino a la acción de sulfatos de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL DE AGREGADO FINO				
Fracción	**Masa inicial (gr)**	**Masa retenida final (gr)**	**% Pasa**	**% Desgaste Parcial**
1	100	99,2	0,80	1%
2	100	99,5	0,50	1%
3	100	99,1	0,90	1%
4	100	98,5	1,50	2%
5	100	98	2,00	2%
Porcentaje de desgaste total de agregado fino				**6%**
Observaciones:	En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2,2. Indica que con sulfato de magnesio máximo debe existir un 18% de perdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de lo especificado.			

2.6 EQUIVALENTE DE ARENA

Tabla 31. Equivalente de arena en el agregado de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

EQUIVALENTE DE ARENA DE AGREGADO FINO				
Probeta	**Lectura de arcilla (A)**	**Lectura de arena (B)**	**% Equivalente**	**Especif.**
1	3,6	3,2	89%	> 50%
2	4,1	3,7	90%	
3	3,9	3,4	87%	
Promedio			89%	
Observaciones:	El porcentaje de equivalente de arena en la muestra es mayor que el mínimo requerido en la especificado por lo que este material puede ser utilizado para cualquier tipo de construcción.			

2.7 DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

2.7.1 Porcentaje de desgaste a la abrasión de Subbase de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

Tabla 32. Desgaste a la abrasión de Subbase de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

PORCENTAJE DE DESGASTE SUBBASE		
Masa inicial (g)	Masa final (g)	% de desgaste
5000	4253	14,94

El porcentaje de desgaste es igual a 14,94%, que es menor al 50%, por lo tanto cumple con lo especificado por la norma ASTM C131.

2.7.2 Porcentaje de desgaste a la abrasión de Base de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

Tabla 33. Desgaste a la abrasión de Base de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

PORCENTAJE DE DESGASTE BASE		
Masa inicial (g)	Masa final (g)	% de desgaste
5000	3857	22,86

El porcentaje de desgaste es igual a 22,86%, que es menor al 50%, por lo tanto cumple con lo especificado por la norma ASTM C131.

2.8 LÍMITES DE ATTERBERG

2.8.1 Subbase Clase 1

Tabla 34. Contenido de humedad de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
ML-12	86,53	80,91	19,26	5,62	61,65	9,12%
ML-5	90,12	84,09	20,40	6,03	63,69	9,47%
				PROMEDIO		9,29%

Tabla 35. Límites de Atterberg de Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.8.2 Subbase Clase 2

Tabla 36. Contenido de humedad de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
L-23	90,08	83,89	20,12	6,19	63,77	9,71%
MJ-7	88,71	83,11	22,06	5,60	61,05	9,17%
				PROMEDIO		9,44%

Tabla 37. Límites de Atterberg de Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.8.3 Subbase Clase 3

Tabla 38. Contenido de humedad de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
QY-12	95,79	88,76	19,94	7,03	68,82	10,22%
28	98,93	91,34	20,00	7,59	71,34	10,64%
				PROMEDIO		10,43%

Tabla 39. Límites de Atterberg de Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
Ll	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.8.4 Base Clase 1

Tabla 40. Contenido de humedad de Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
A-12	88,11	82,43	20,32	5,68	62,11	9,15%
A-15	80,46	75,45	19,85	5,01	55,60	9,01%
				PROMEDIO		9,08%

Tabla 41. Límites de Atterberg de Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
Ll	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.8.5 Base Clase 2

Tabla 42. Contenido de humedad de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
QR-9	77,07	72,08	18,65	4,99	53,43	9,34%
MJ-3	84,59	79,00	22,06	5,59	56,94	9,82%
				PROMEDIO		9,58%

Tabla 43. Límites de Atterberg de Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
Ll	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.8.6 Base Clase 3

Tabla 44. Contenido de humedad de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
T-11	107,45	99,78	21,08	7,67	78,70	9,75%
R-3	99,74	93,43	20,22	6,31	73,21	8,62%
				PROMEDIO		9,18%

Tabla 45. Límites de Atterberg de Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
Ll	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.8.7 Base Clase 4

Tabla 46. Contenido de humedad de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

CONTENIDO DE AGUA						
TARA No.	MASA DEL		MASA tara	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO DE AGUA w (%)
	húmedo	seco				
OP-12	95,62	88,76	22,11	6,86	66,65	10,29%
ML-21	93,49	87,00	21,93	6,49	65,07	9,97%
				PROMEDIO		10,13%

Tabla 47. Límites de Atterberg de Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

LÍMITES DE ATTERBERG		
Ll	Lp	Ip
–	–	–
OBSERVACIÓN	NP: No Plástico Alto contenido de arena	

2.9 CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R)

2.9.1 Proctor Modificado Subbase Clase 1

Tabla 48. Proctor Modificado Subbase Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas 5	**Golpes por capa 56**	**Peso Martillo 10 lb**		**Altura caída 18"**		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA 6000 g**			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	cc	0		180		360		540	
	%	0		3		6		9	
Peso suelo húmedo + molde	A	8.970		10.154		10.287		9.212	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.990		4.174		4.307		3.232	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.465		2.045		2.110		1.584	
Tarro No.		**B19**	**D31**	**B32**	**B21**	**M11**	**D17**	**B22**	**B26**
Tarro + suelo húmedo	F	89,40	90,07	98,36	101,23	99,82	89,45	104,08	106,12
Tarro + suelo seco	G	85,77	86,11	92,00	94,78	90,93	81,43	93,08	94,61
Peso de agua	H=F-G	3,63	3,96	6,36	6,45	8,89	8,02	11,00	11,51
Peso del tarro	I	16,06	13,19	16,56	16,35	12,29	13,41	16,69	17,26
Peso del suelo seco	J=G-I	69,71	72,92	75,44	78,43	78,64	68,02	76,39	77,35
Contenido de agua	K=H/J	5,21%	5,43%	8,43%	8,22%	11,30%	11,79%	14,40%	14,88%
Contenido de agua promedio	L	5,32%		8,33%		11,55%		14,64%	
Densidad seca (g/cm3)	M	1.391		1.888		1.892		1.381	

Figura 10. Proctor Modificado Subbase Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

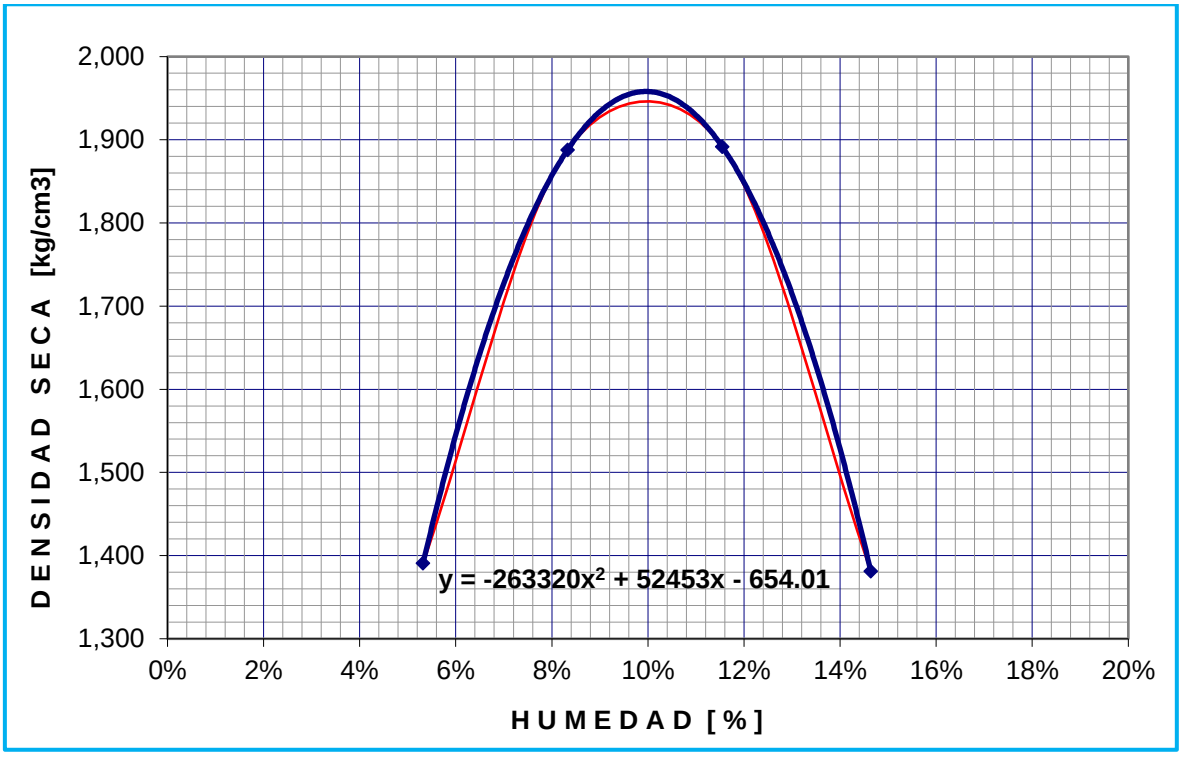


Tabla 49. Proctor Modificado Subbase Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE SUB BASE 1	
Densidad máxima (kg/cm³)	1958
Humedad óptima (%)	9,96

2.9.2 Proctor Modificado Subbase Clase 2

Tabla 50. Proctor Modificado Subbase Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	**Golpes por capa**	**Peso Martillo**		**Altura caída**		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA**			
5	**56**	**10 lb**		**18"**		**6000 g**			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	cc	0		300		600		900	
	%	0		5		10		15	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.350		10.708		10.897		9.980	
Peso del molde	B	6.457		6.458		6.459		6.460	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.893		4.250		4.438		3.520	
Volumen del molde	D	2.133		2.134		2.135		2.136	
Densidad húmeda	E=C/D	1.356		1.992		2.079		1.648	
Tarro No.		**ML-12**	**ML-22**	**ML-38**	**ML-16**	**ML-17**	**ML-9**	**ML-41**	**ML-14**
Tarro + suelo húmedo	F	89,63	60,14	60,47	98,60	99,31	101,21	60,24	101,09
Tarro + suelo seco	G	87,89	59,23	56,98	92,98	90,34	92,46	53,66	89,00
Peso de agua	H=F-G	1,74	0,91	3,49	5,62	8,97	8,75	6,58	12,09
Peso del tarro	I	19,40	14,50	10,70	20,20	19,50	20,20	15,20	19,40
Peso del suelo seco	J=G-I	68,49	44,73	46,28	72,78	70,84	72,26	38,46	69,60
Contenido de agua	K=H/J	2,54%	2,03%	7,54%	7,72%	12,66%	12,11%	17,11%	17,37%
Contenido de agua promedio	L	2,29%		7,63%		12,39%		17,24%	
Densidad seca (g/cm3)	M	1.326		1.850		1.850		1.406	

Figura 11. Proctor Modificado Subbase Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

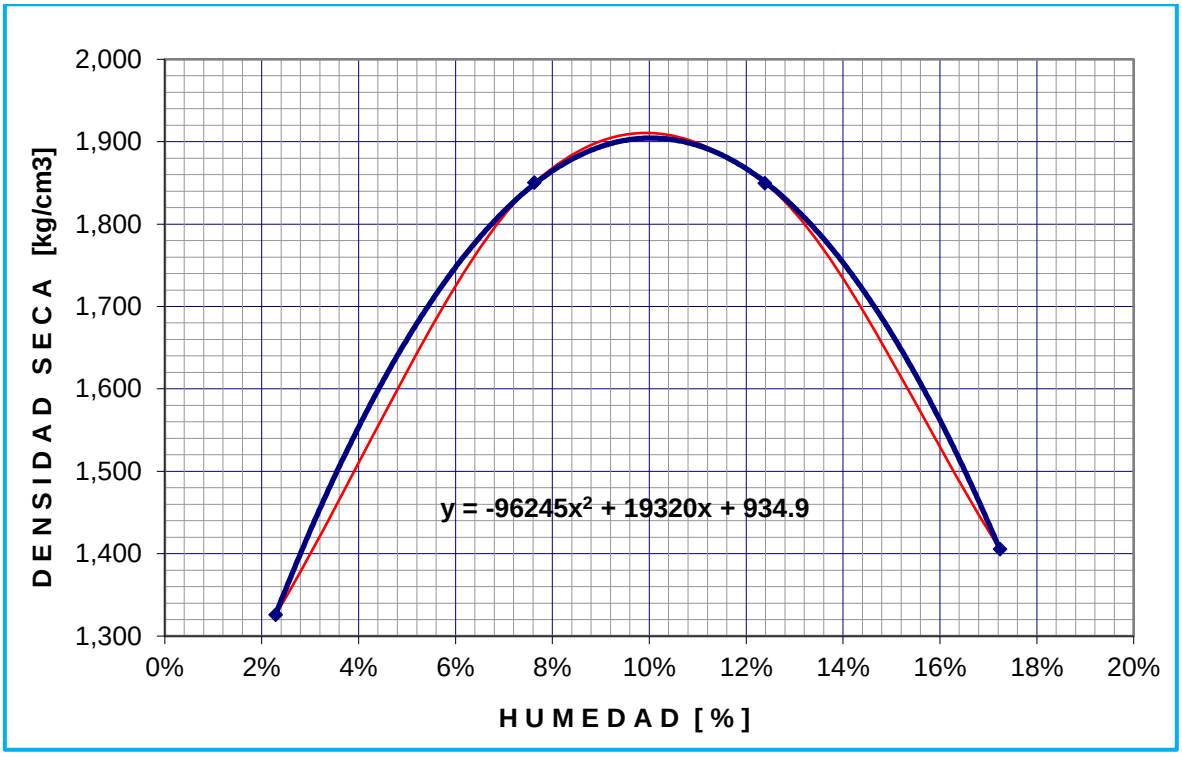


Tabla 51. Proctor Modificado Subbase Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE SUB BASE 2	
Densidad máxima (kg/cm³)	1904
Humedad óptima (%)	10,04

2.9.3 Proctor Modificado Subbase Clase 3

Tabla 52. Proctor Modificado Subbase Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	**Golpes por capa**	**Peso Martillo**		**Altura caída**		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA**			
5	**56**	**10 lb**		**18"**		**6000 g**			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	cc	0		240		480		720	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.277		10.412		10.578		9.566	
Peso del molde	B	6.414		6.414		6.414		6.414	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.863		3.998		4.164		3.152	
Volumen del molde	D	2.050		2.050		2.050		2.050	
Densidad húmeda	E=C/D	1.397		1.950		2.031		1.538	
Tarro No.		**C-15**	**C-20**	**C-14**	**ML-43**	**C-17**	**DS-1**	**SD-2**	**M-3**
Tarro + suelo húmedo	F	98,26	88,64	90,12	83,05	96,14	88,97	94,72	96,00
Tarro + suelo seco	G	95,65	86,09	85,09	78,98	88,56	81,78	84,52	86,00
Peso de agua	H=F-G	2,61	2,55	5,03	4,07	7,58	7,19	10,20	10,00
Peso del tarro	I	18,15	16,70	19,20	20,14	20,16	19,44	20,04	19,05
Peso del suelo seco	J=G-I	77,50	69,39	65,89	58,84	68,40	62,34	64,48	66,95
Contenido de agua	K=H/J	3,37%	3,67%	7,63%	6,92%	11,08%	11,53%	15,82%	14,94%
Contenido de agua promedio	L	3,52%		7,28%		11,31%		15,38%	
Densidad seca (g/cm3)	M	1.349		1.818		1.825		1.333	

Figura 12. Proctor Modificado Subbase Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

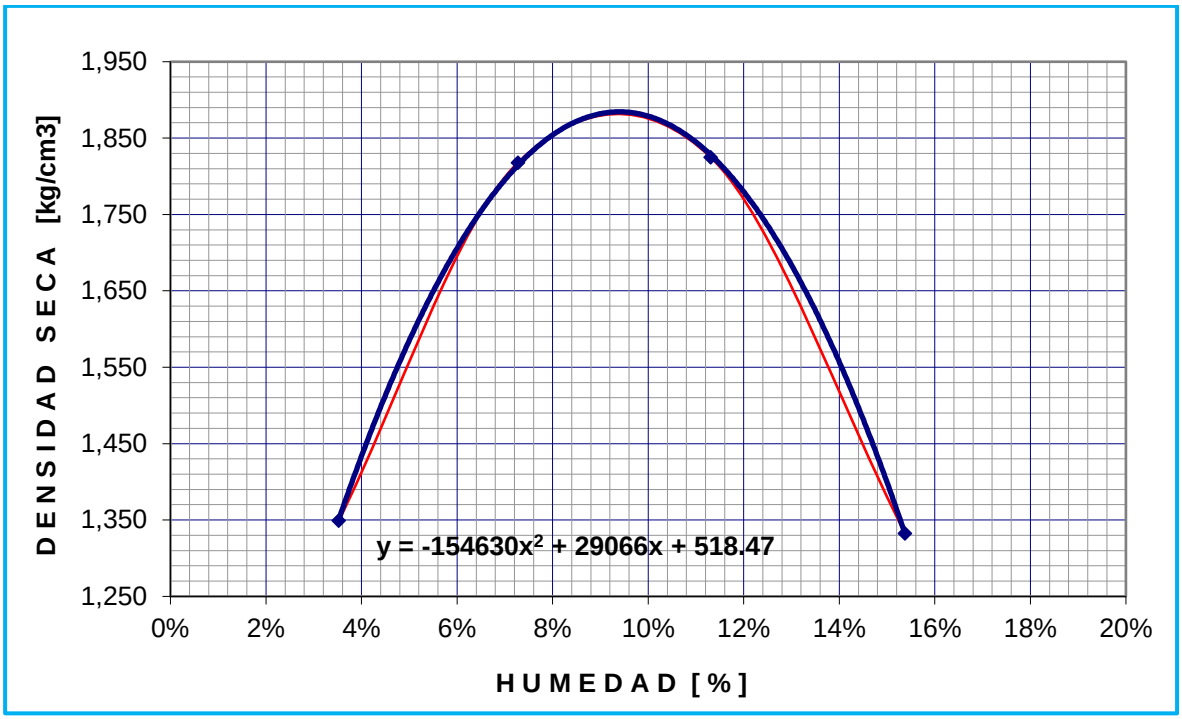


Tabla 53. Proctor Modificado Subbase Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE SUB BASE 3	
Densidad máxima (kg/cm³)	1884
Humedad óptima (%)	9,4

2.9.4 Proctor Modificado Base Clase 1

Tabla 54. Proctor Modificado Base Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas 5	**Golpes por capa 56**	**Peso Martillo 10 lb**		**Altura caída 18"**		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA 6000 g**			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	cc	0		180		360		540	
	%	0		3		6		9	
Peso suelo húmedo + molde	A	8.974		10.443		10.821		9.856	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.994		4.463		4.841		3.876	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.467		2.187		2.372		1.899	
Tarro No.		**JL-2**	**JL-4**	**25**	**33**	**J-9**	**W-5**	**QT-9**	**P-11**
Tarro + suelo húmedo	F	92,36	89,75	90,63	97,44	78,96	88,54	99,86	99,54
Tarro + suelo seco	G	88,95	85,93	85,18	91,00	73,03	81,54	89,11	88,84
Peso de agua	H=F-G	3,41	3,82	5,45	6,44	5,93	7,00	10,75	10,70
Peso del tarro	I	19,56	19,88	20,09	18,95	22,12	20,14	18,76	21,08
Peso del suelo seco	J=G-I	69,39	66,05	65,09	72,05	50,91	61,40	70,35	67,76
Contenido de agua	K=H/J	4,91%	5,78%	8,37%	8,94%	11,65%	11,40%	15,28%	15,79%
Contenido de agua promedio	L	**5,35%**		**8,66%**		**11,52%**		**15,54%**	
Densidad seca (g/cm3)	M	**1.392**		**2.012**		**2.127**		**1.644**	

Figura 13. Proctor Modificado Base Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

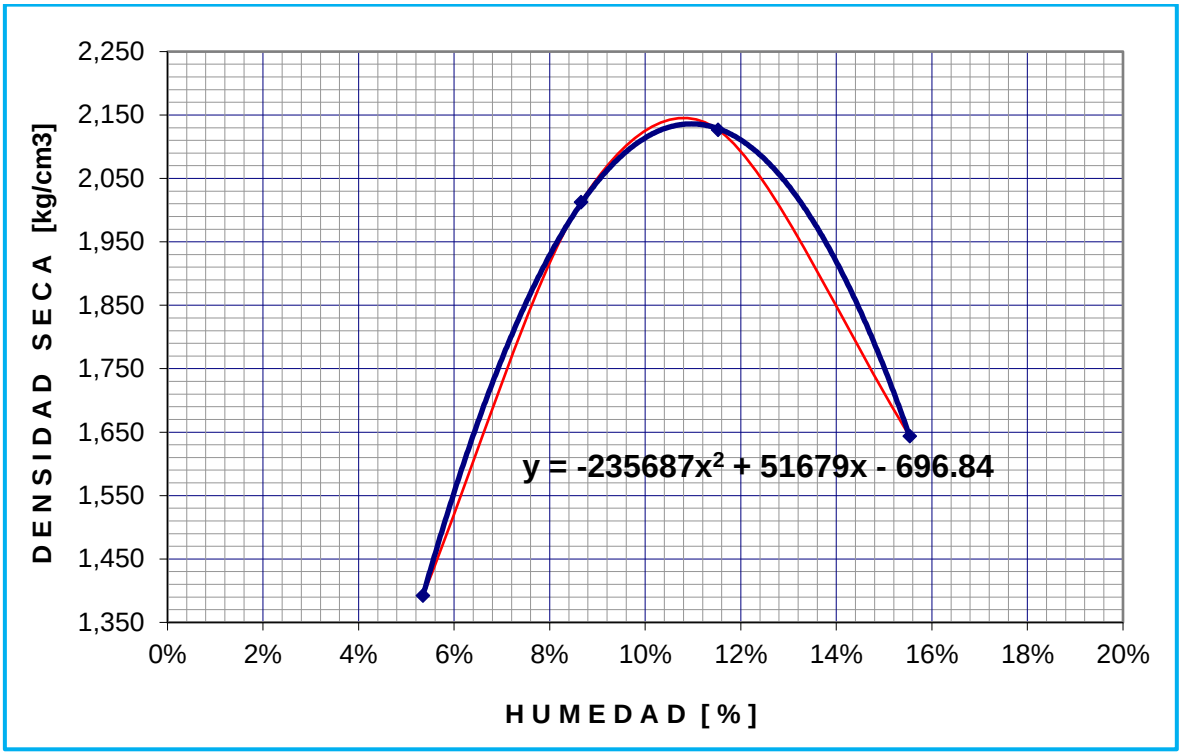


Tabla 55. Proctor Modificado Base Clase 1: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE 1	
Densidad máxima (kg/cm³)	2136
Humedad óptima (%)	10,96

2.9.5 Proctor Modificado Base Clase 2

Tabla 56. Proctor Modificado Base Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas 5	**Golpes por capa 56**	**Peso Martillo 10 lb**		**Altura caída 18"**		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA 6000 g**			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	cc	0		420		840		1.260	
	%	0		7		14		21	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.456		10.566		10.643		9.423	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3.476		4.586		4.663		3.443	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.703		2.247		2.285		1.687	
Tarro No.		**ML-29**	**ML-D**	**ML-27**	**ML-25**	**ML-10**	**ML-13**	**V-5**	**B-4**
Tarro + suelo húmedo	F	96,03	99,13	90,56	93,44	112,33	117,09	98,33	97,54
Tarro + suelo seco	G	94,65	97,76	84,89	87,32	100,11	104,00	82,54	81,61
Peso de agua	H=F-G	1,38	1,37	5,67	6,12	12,22	13,09	15,79	15,93
Peso del tarro	I	19,10	20,40	16,06	18,20	21,30	20,60	11,70	12,26
Peso del suelo seco	J=G-I	75,55	77,36	68,83	69,12	78,81	83,40	70,84	69,35
Contenido de agua	K=H/J	1,83%	1,77%	8,24%	8,85%	15,51%	15,70%	22,29%	22,97%
Contenido de agua promedio	L	1,80%		8,55%		15,60%		22,63%	
Densidad seca (g/cm3)	M	1.673		2.070		1.976		1.376	

Figura 14. Proctor Modificado Base Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

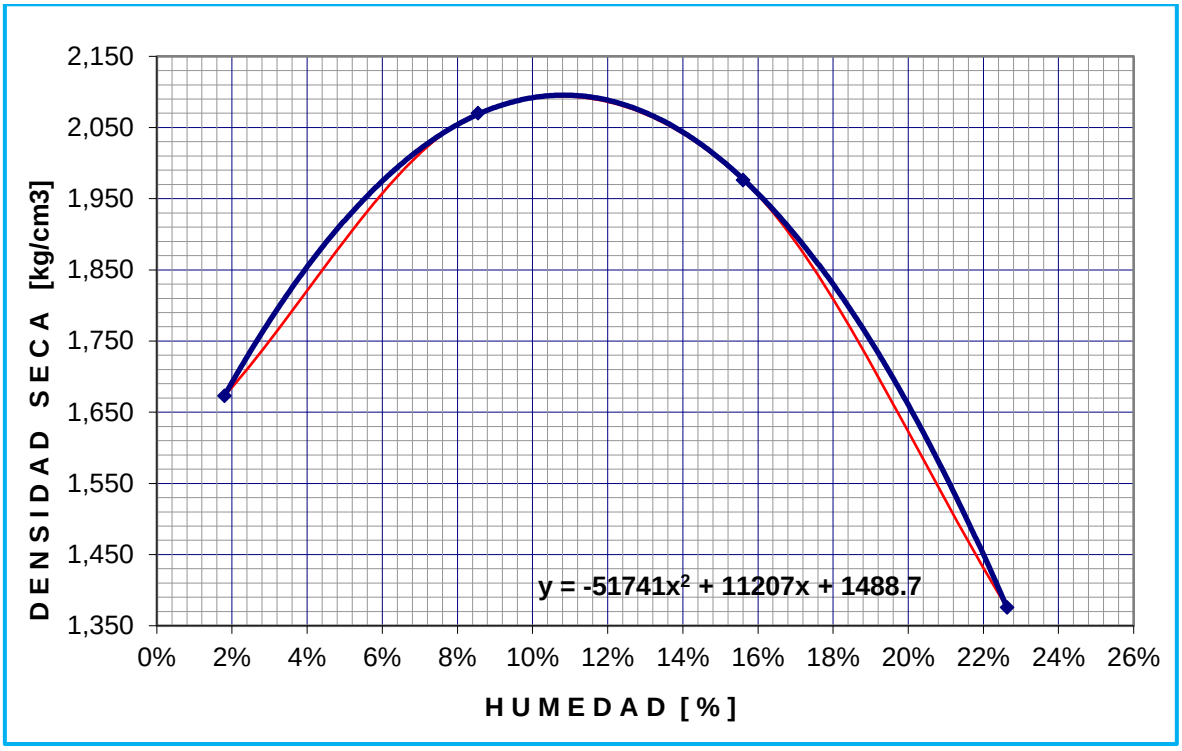


Tabla 57. Proctor Modificado Base Clase 2: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE 2	
Densidad máxima (kg/cm³)	2096
Humedad óptima (%)	10,83

2.9.6 Proctor Modificado Base Clase 3

Tabla 58. Proctor Modificado Base Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas 5	**Golpes por capa** 56	**Peso Martillo** 10 lb		**Altura caída** 18"		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA** 6000 g			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	**cc**	0		414		828		1.243	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.142		10.356		10.511		9.476	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3.162		4.376		4.531		3.496	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.549		2.144		2.220		1.713	
Tarro No.		**ML-3**	**ML-7**	**ML-23**	**ML-9**	**ML-16**	**ML-14**	**23**	**12**
Tarro + suelo húmedo	F	95,47	82,07	78,86	99,54	105,66	112,54	108,33	112,43
Tarro + suelo seco	G	92,43	79,05	73,82	93,00	96,09	102,33	95,56	99,56
Peso de agua	H=F-G	3,04	3,02	5,04	6,54	9,57	10,21	12,77	12,87
Peso del tarro	I	19,80	18,80	13,80	20,20	20,40	19,40	20,12	21,13
Peso del suelo seco	J=G-I	72,63	60,25	60,02	72,80	75,69	82,93	75,44	78,43
Contenido de agua	K=H/J	4,19%	5,01%	8,40%	8,98%	12,64%	12,31%	16,93%	16,41%
Contenido de agua promedio	L	4,60%		8,69%		12,48%		16,67%	
Densidad seca (g/cm3)	M	1.481		1.973		1.974		1.468	

Figura 15. Proctor Modificado Base Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

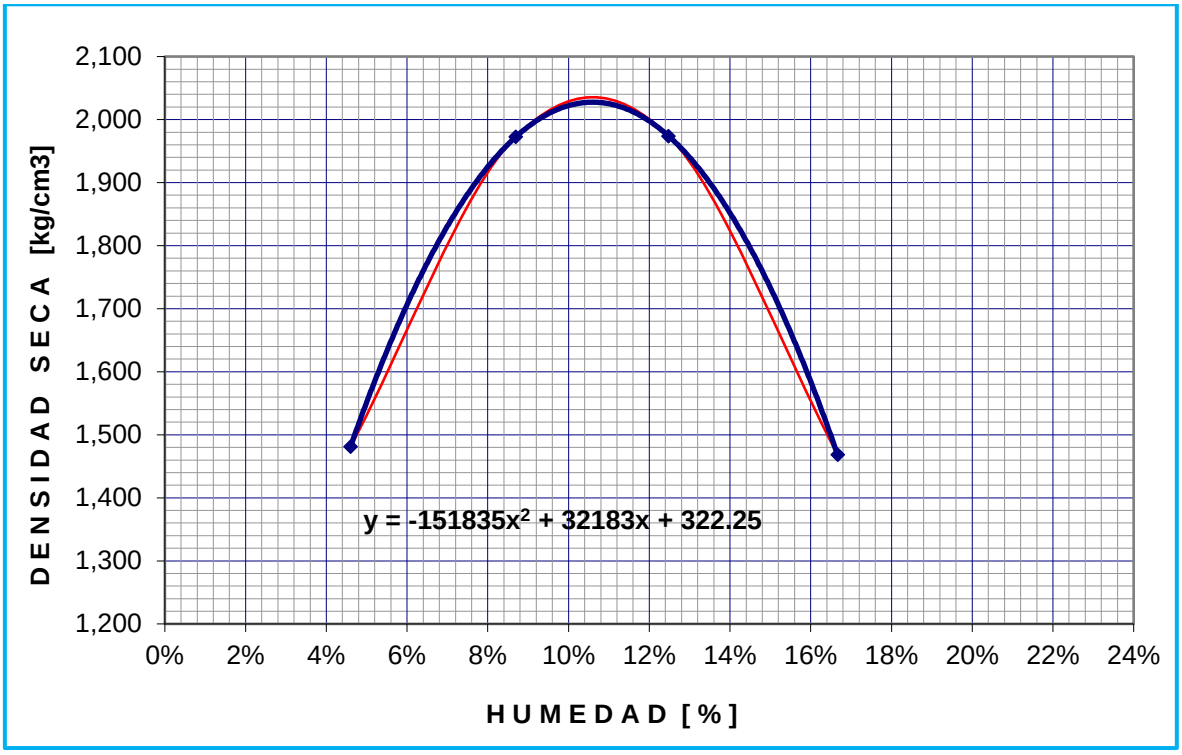


Tabla 59. Proctor Modificado Base Clase 3: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE 3	
Densidad máxima (kg/cm³)	2028
Humedad óptima (%)	10,6

2.9.7 Proctor Modificado Base Clase 4

Tabla 60. Proctor Modificado Base Clase 4: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	**Golpes por capa**	**Peso Martillo**		**Altura caída**		**PESO INICIAL DE LA MUESTRA**			
5	**56**	**10 lb**		**18"**		**6000 g**			
MUESTRA		**1**		**2**		**3**		**4**	
Molde No.		**A**		**A**		**A**		**A**	
Agua aumentada	cc	0		0		0		0	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde	A	8.843		10.181		10.342		9.214	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.863		4.201		4.362		3.234	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.403		2.058		2.137		1.585	
Tarro No.		**BA-37**	**D-36**	**B9**	**BC22**	**B10**	**M2**	**D38**	**M11**
Tarro + suelo húmedo	F	78,64	88,32	90,67	79,43	96,45	90,88	99,61	97,89
Tarro + suelo seco	G	75,49	85,12	85,01	74,54	87,68	82,00	87,56	86,00
Peso de agua	H=F-G	3,15	3,20	5,66	4,89	8,77	8,88	12,05	11,89
Peso del tarro	I	12,13	13,29	16,93	16,69	16,70	12,00	13,39	11,99
Peso del suelo seco	J=G-I	63,36	71,83	68,08	57,85	70,98	70,00	74,17	74,01
Contenido de agua	K=H/J	4,97%	4,45%	8,31%	8,45%	12,36%	12,69%	16,25%	16,07%
Contenido de agua promedio	L	4,71%		8,38%		12,52%		16,16%	
Densidad seca (g/cm3)	M	1.340		1.899		1.899		1.364	

Figura 16. Proctor Modificado Base Clase 4: Relación Densidad Seca – Humedad de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

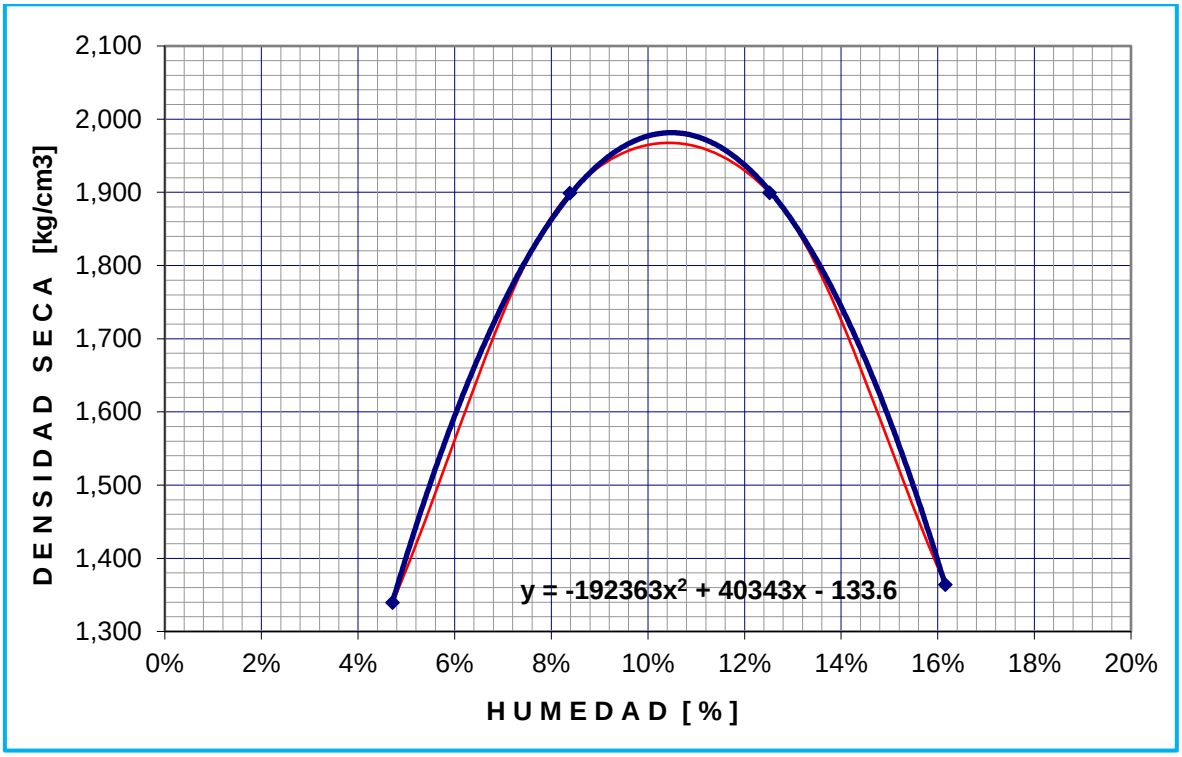


Tabla 61. Proctor Modificado Base Clase 4: Relación Densidad Seca – Humedad Óptima de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE 4	
Densidad máxima (kg/cm³)	1982
Humedad óptima (%)	10,49

2.9.8 C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 62. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	G8			D12			G6		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de	Antes de Remojar		Después de
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11979		12456	11093		11689	10575		11196
Peso del molde (Kgs)	7028		7028	6518		6518	6896		6896
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4951		5428	4575		5171	3679		4300
Volumen muestra (m³)	2286		2286	2366		2366	2205		2205
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,166		2,374	1,934		2,186	1,668		1,950
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Peso de muestra humedad + tarro (g)	JL-5	JL-2	AS-5	AS-5	TP-23	JL-5	JL-25	MS-3	JL-2
	70,03	75,42	80,16	79,45	89,42	96,78	99,02	90,65	93,39
Peso de muestra seca + tarro (g)	65,79	70,63	70,67	74,45	83,51	82,78	92,44	84,59	77,97
Peso del agua (g)	4,24	4,79	9,49	5,00	5,91	14,00	6,58	6,06	15,42
Peso del tarro (g)	20,14	19,56	20,40	20,40	20,12	20,14	20,09	19,05	19,56
Peso de la muestra seca (g)	45,65	51,07	50,27	54,05	63,39	62,64	72,35	65,54	58,41
Contenido de humedad %	9,29%	9,38%	18,88%	9,25%	9,32%	22,35%	9,09%	9,25%	26,40%
Contenido de humedad promedio, %	9,33%		18,88%	9,29%		22,35%	9,17%		26,40%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,981		1,997	1,769		1,786	1,528		1,543

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)										
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº G8			Molde Nº D12			Molde Nº G6		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-03	14h00	2	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-04	14h00	3	1	0,001	0,0219925	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-05	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-06	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,0659776	4	0,004	0,088

Datos del CBR									
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº G8			Molde Nº D12			Molde Nº G6		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		179	184		142	146		78	80	
0,050		391	403		281	289		134	138	
0,075		576	593		412	424		236	243	
0,100	1000	784	808	**74,00**	578	595	**54,00**	365	376	**37,80**
0,150		912	939		642	661		452	466	
0,200		1149	1183	**73,67**	789	813	**50,67**	524	540	**36,00**
0,250		1255	1293		823	848		579	596	
0,300		1278	1316		894	921		611	629	
0,400		1312	1351		911	938		623	642	
0,500		1355	1396		946	974		661	681	
0,600		1387	1429		978	1007		690	711	

Figura 17. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

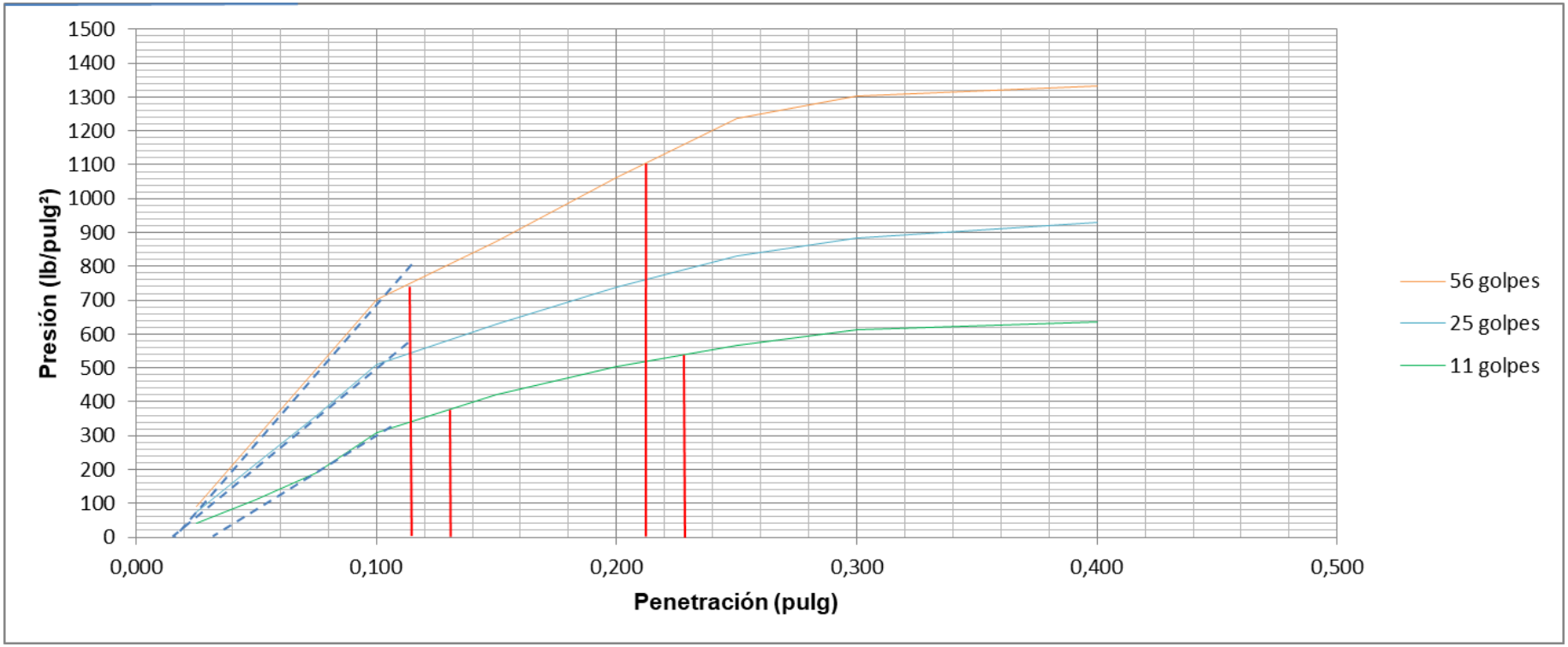
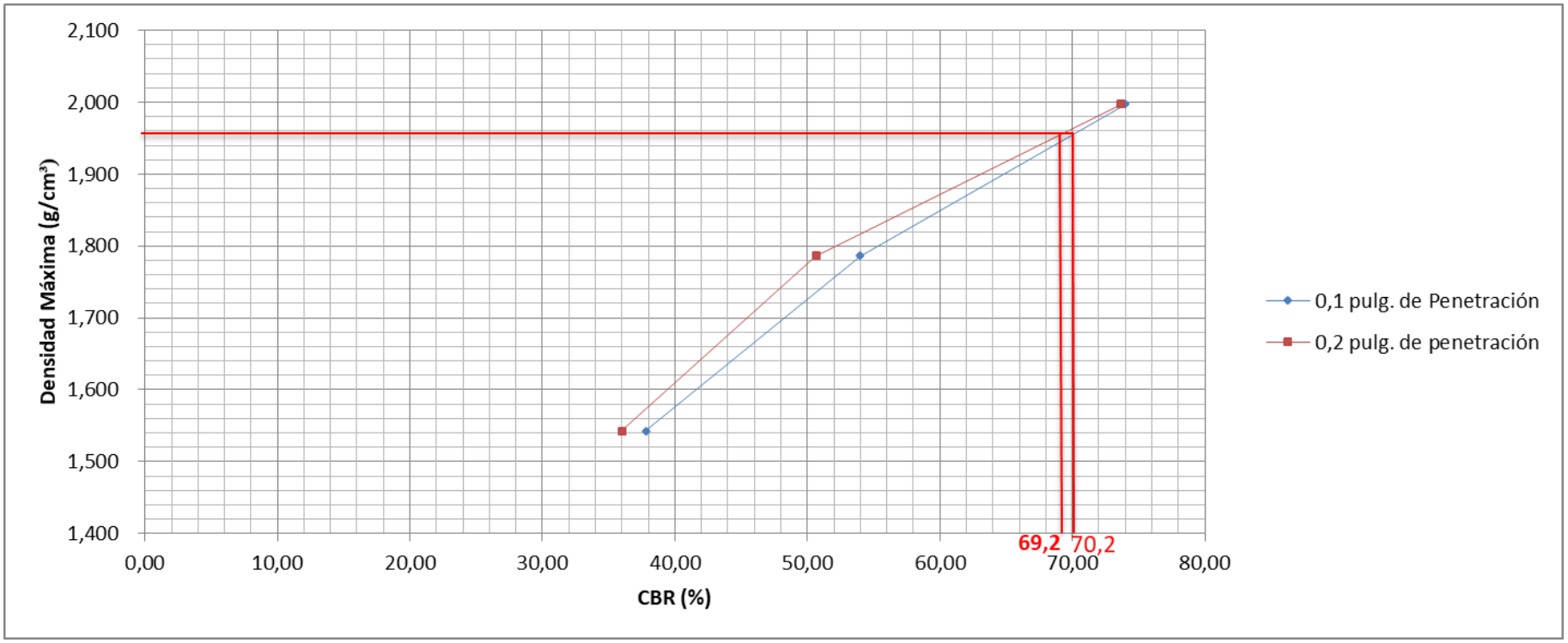


Tabla 63. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	**Carga Standard lb/pulg²**	Molde Nº G8			Molde Nº D12			Molde Nº G6		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	784	808	**74,00**	578	595	**54,00**	365	376	**37,80**
0,200	1500	1149	1183	**73,67**	789	813	**50,67**	524	540	**36,00**

Figura 18. C.B.R. Subbase Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.9.9 C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 64. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	MK-1			ML-24			ML-3		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12523		13245	11176		11963	10434		11223
Peso del molde (Kgs)	7670		7670	6998		6998	7005		7005
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4853		5575	4178		4965	3429		4218
Volumen muestra (m³)	2323		2323	2286		2286	2205		2205
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,089		2,400	1,828		2,172	1,555		1,913
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Tarro N°	C-17	23	8	P-11	8	23	ML-2	W-5	P-11
Peso de muestra humedad + tarro (g)	75,76	78,37	94,84	86,34	88,45	100,51	94,17	95,82	109,48
Peso de muestra seca + tarro (g)	71,12	73,33	80,03	80,87	82,54	82,45	87,98	89,36	87,82
Peso del agua (g)	4,64	5,04	14,81	5,47	5,91	18,06	6,19	6,46	21,66
Peso del tarro (g)	20,16	20,12	20,00	21,08	20,00	20,12	20,40	20,14	21,08
Peso de la muestra seca (g)	50,96	53,21	60,03	59,79	62,54	62,33	67,58	69,22	66,74
Contenido de humedad %	9,11%	9,47%	24,67%	9,15%	9,45%	28,97%	9,16%	9,33%	32,45%
Contenido de humedad promedio, %	9,29%		24,67%	9,30%		28,97%	9,25%		32,45%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,912		1,925	1,672		1,684	1,423		1,444

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº MK-1			Molde Nº ML-24			Molde Nº ML3		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-03	14h00	2	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2018-07-04	14h00	3	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2018-07-05	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-06	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,0659776	4	0,004	0,088

Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº MK-1			Molde Nº ML-24			Molde Nº ML3		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		178	183		133	137		45	46	
0,050		392	404		265	273		89	92	
0,075		570	587		324	334		109	112	
0,100	1000	754	777	**72,00**	451	465	**42,00**	145	149	**14,00**
0,150		871	897		511	526		163	168	
0,200		1132	1166	**71,87**	598	616	**39,33**	192	198	**13,13**
0,250		1189	1225		632	651		233	240	
0,300		1234	1271		657	677		256	264	
0,400		1267	1305		678	698		297	306	
0,500		1283	1321		683	703		311	320	
0,600		1291	1330		711	732		319	329	

Figura 19. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

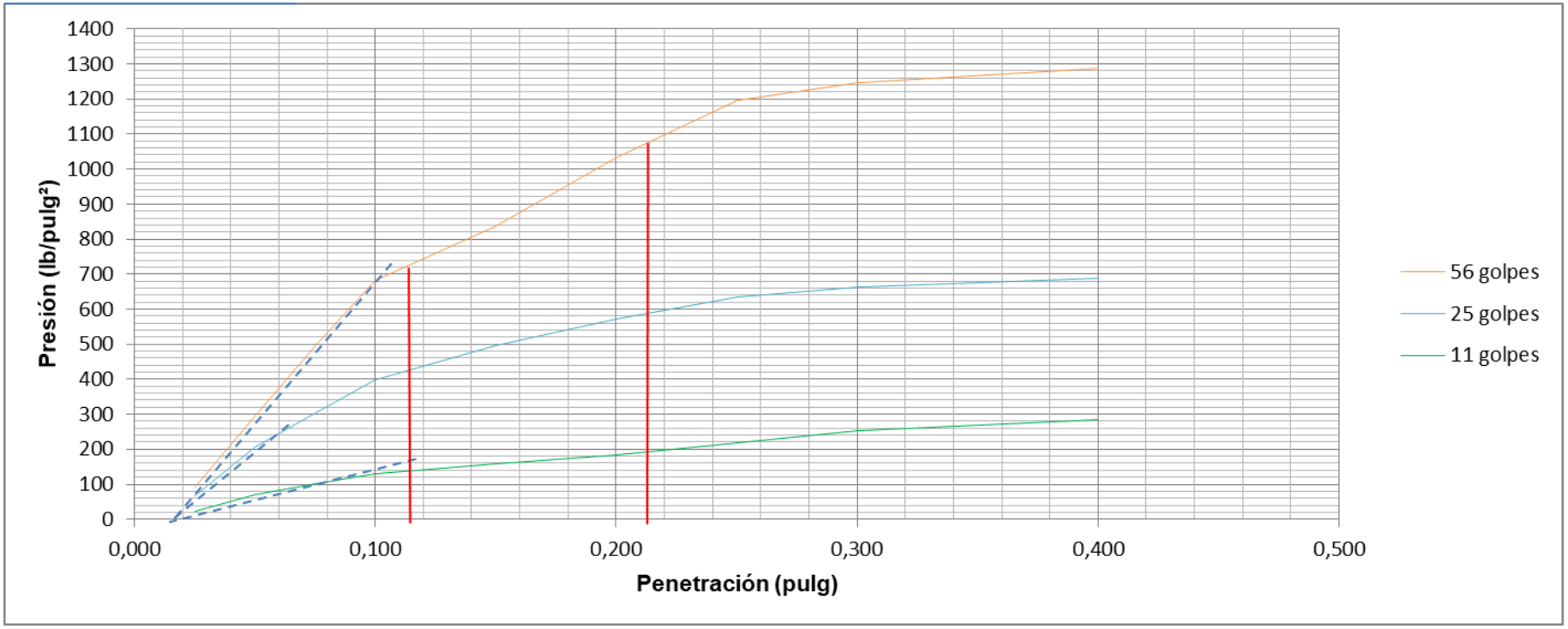
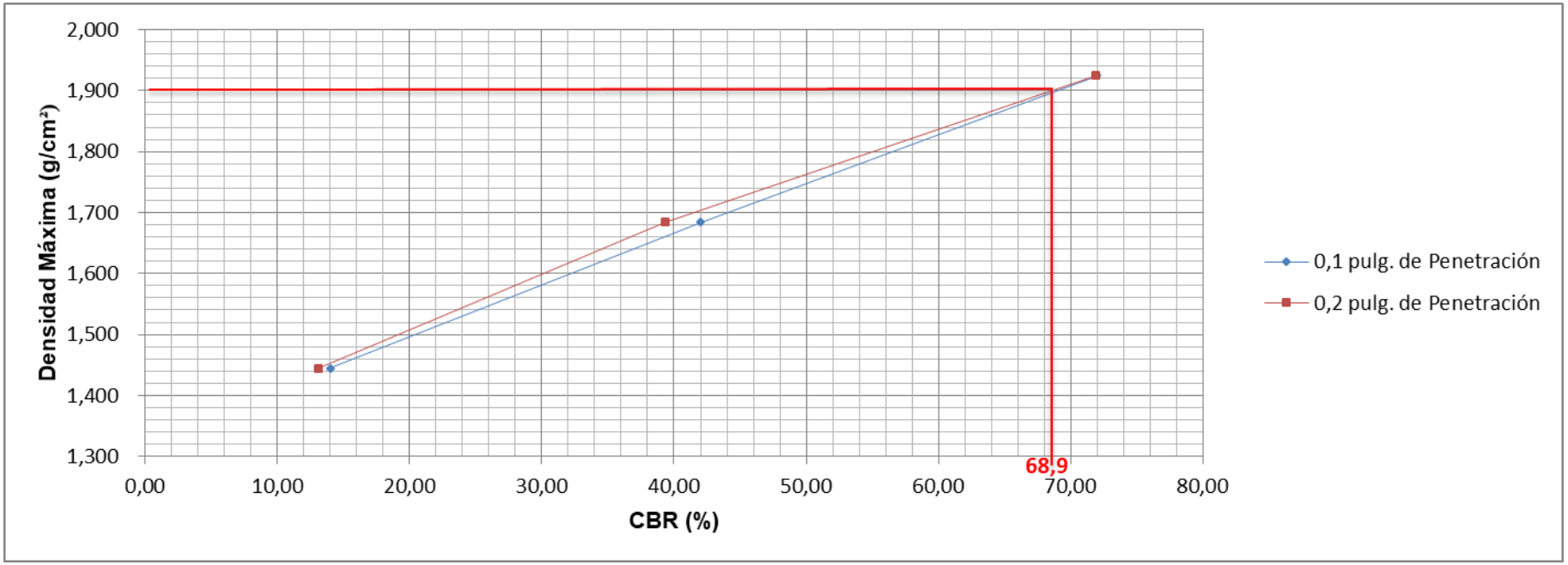


Tabla 65. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº MK-1			Molde Nº ML-24			Molde Nº ML3		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	754	777	**72,00**	451	465	**42,00**	145	149	**14,00**
0,200	1500	1132	1166	**71,87**	598	616	**39,33**	192	198	**13,13**

Figura 20. C.B.R. Subbase Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.9.10 C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 66. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	**1**			**2**			**3**		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	**Antes de Remojar**		**Después de Remojar**	**Antes de Remojar**		**Después de Remojar**	**Antes de Remojar**		**Después de Remojar**
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	10.434		10.912	9.786		10.342	9.211		9.980
Peso del molde (Kgs)	6.045		6.045	6.004		6.004	6.049		6.049
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4.389		4.867	3.782		4.338	3.162		3.931
Volumen muestra (m³)	2.116		2.116	2.116		2.116	2.116		2.116
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,074		2,300	1,787		2,050	1,494		1,858
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	**Fondo**	**Arriba**	**1" de Arriba**	**Fondo**	**Arriba**	**1" de Arriba**	**Fondo**	**Arriba**	**1" de Arriba**
Peso de muestra humedad + tarro (g)	X1	Z	42,0	86,0	T	TIN	13,0	TIN	13,0
	190,4	190,7	175,8	196,2	204,1	138,8	164,2	192,8	166,8
Peso de muestra seca + tarro (g)	176,9	177,0	151,5	182,1	189,2	116,7	152,9	179,0	132,0
Peso del agua (g)	13,5	13,7	24,3	14,1	14,9	22,1	11,3	13,8	34,8
Peso del tarro (g)	28,7	27,9	28,3	28,1	28,3	27,8	27,7	27,9	27,7
Peso de la muestra seca (g)	148,2	149,1	123,2	154,0	160,9	88,9	125,2	151,1	104,3
Contenido de humedad %	9,12%	9,18%	19,72%	9,16%	9,26%	24,90%	9,03%	9,13%	33,37%
Contenido de humedad promedio, %	9,15%		19,72%	9,21%		24,90%	9,08%		33,37%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,900		1,921	1,637		1,641	1,370		1,393

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº 1			Molde Nº 2			Molde Nº 3		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-03	14h00	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-04	14h00	3	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2018-07-05	14h00	4	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2018-07-06	14h00	5	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,0879701	4	0,004	0,088

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	**Carga Standard lb/pulg²**	Molde Nº 1			Molde Nº 2			Molde Nº 3		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		158	163		128	132		28	29	
0,050		310	319		205	211		58	60	
0,075		522	538		264	272		81	83	
0,100	1000	722	744	**69,00**	325	335	**31,70**	124	128	**11,80**
0,150		865	891		370	381		137	141	
0,200		1058	1090	**68,53**	420	433	**27,80**	180	185	**11,87**
0,250		1125	1159		450	464		210	216	
0,300		1189	1225		500	515		240	247	
0,400		1216	1252		520	536		286	295	
0,500		1243	1280		620	639		294	303	
0,600		1256	1294		688	709		311	320	

Figura 21. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

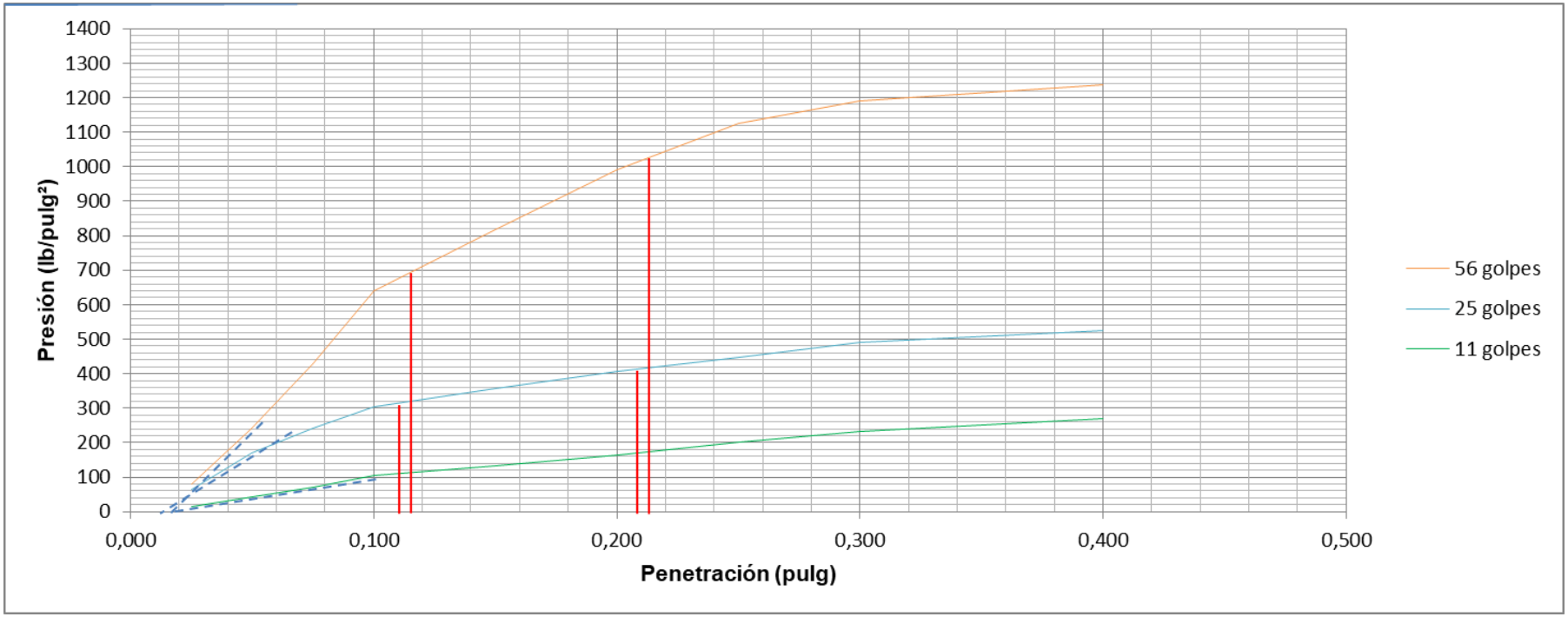
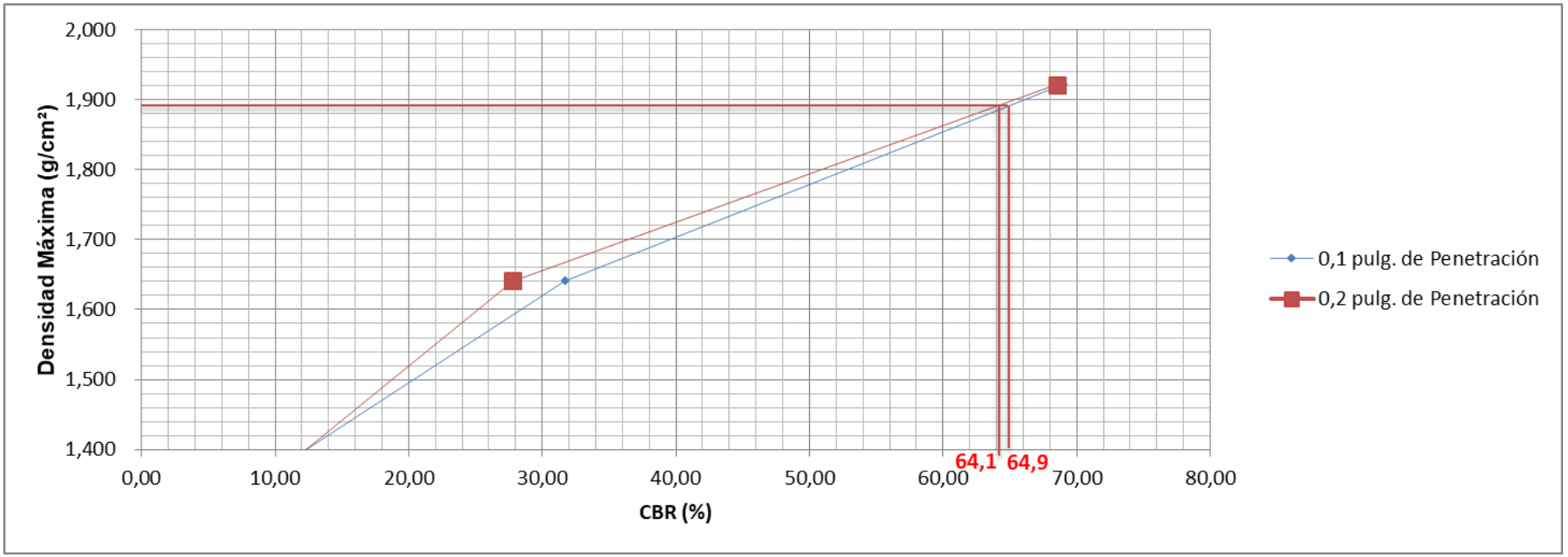


Tabla 67. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº 1			Molde Nº 2			Molde Nº 3		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	722	744	**69,00**	325	335	**31,70**	124	128	**11,80**
0,200	1500	1058	1090	**68,53**	420	433	**27,80**	180	185	**11,87**

Figura 22. C.B.R. Subbase Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.9.11 C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 68. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	SL12			SL11			LL22		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12545		12876	11643		12089	11243		11854
Peso del molde (Kgs)	7110		7110	6996		6996	7088		7088
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5435		5766	4647		5093	4155		4766
Volumen muestra (m³)	2270		2270	2226		2226	2286		2286
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,394		2,540	2,088		2,288	1,818		2,085
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	B-26	B-13	B-7	D-1	D-12	BA-8	B-10	D-26	BA-16
Peso de muestra humedad + tarro (g)	70,09	71,03	54,49	54,05	56,48	55,93	66,16	64,12	69,98
Peso de muestra seca + tarro (g)	65,00	65,76	48,96	50,12	52,23	48,34	61,45	59,23	58,44
Peso del agua (g)	5,09	5,27	5,53	3,93	4,25	7,59	4,71	4,89	11,54
Peso del tarro (g)	17,26	17,22	16,28	13,13	13,40	12,14	16,70	13,55	12,08
Peso de la muestra seca (g)	47,74	48,54	32,68	36,99	38,83	36,20	44,75	45,68	46,36
Contenido de humedad %	10,66%	10,86%	16,92%	10,62%	10,95%	20,97%	10,53%	10,70%	24,89%
Contenido de humedad promedio, %	10,76%		16,92%	10,78%		20,97%	10,62%		24,89%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,162		2,172	1,884		1,891	1,643		1,669

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº SL12			Molde Nº SL11			Molde Nº LL22		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-03	14h00	2	2	0,002	0,043985	1	0,001	0,022	4	0,004	0,088
2018-07-04	14h00	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-05	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-06	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº SL12			Molde Nº SL11			Molde Nº LL22		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		395	407		312	321		194	200	
0,050		579	596		425	438		276	284	
0,075		791	815		567	584		323	333	
0,100	1000	965	994	**92,50**	771	794	**70,50**	489	504	**43,80**
0,150		1154	1189		795	819		579	596	
0,200		1442	1485	**90,53**	1094	1127	**66,67**	677	697	**43,87**
0,250		1426	1469		1174	1209		708	729	
0,300		1466	1510		1223	1260		752	775	
0,400		1483	1527		1256	1294		779	802	
0,500		1502	1547		1287	1326		804	828	
0,600		1522	1568		1306	1345		838	863	

Figura 23. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

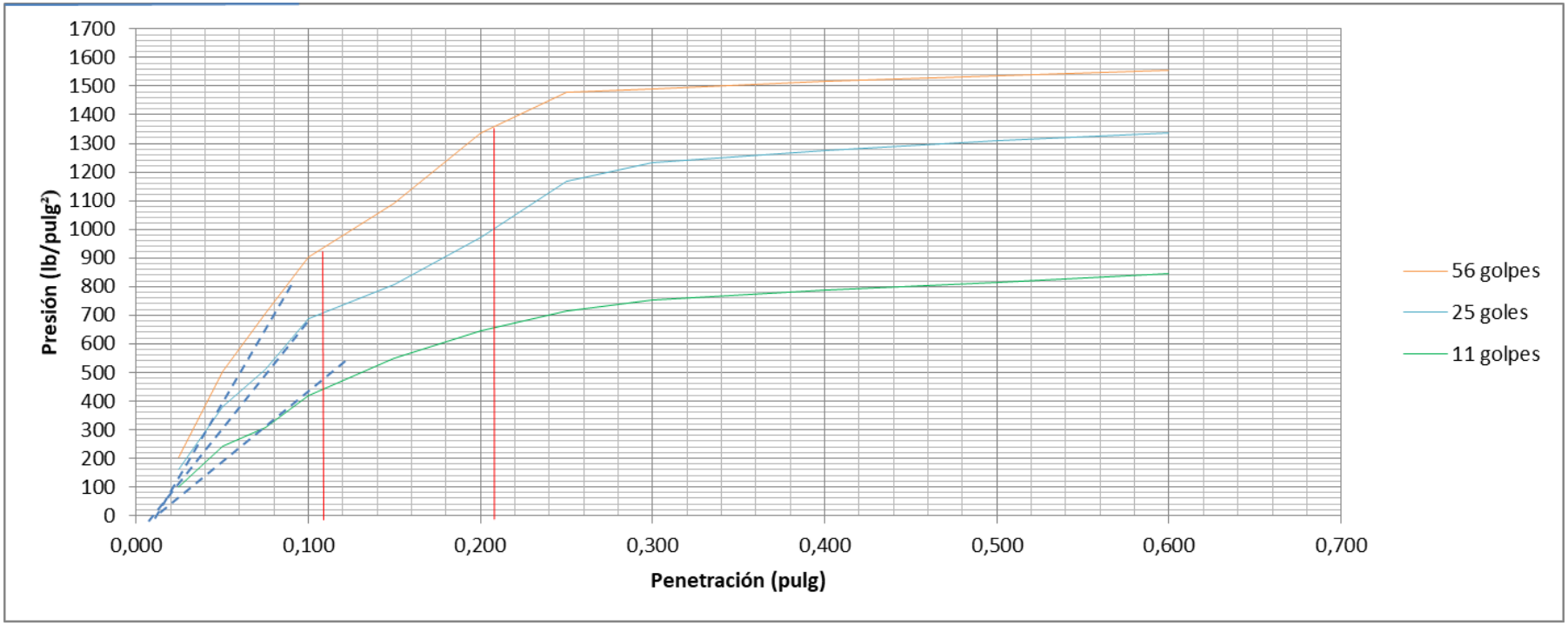
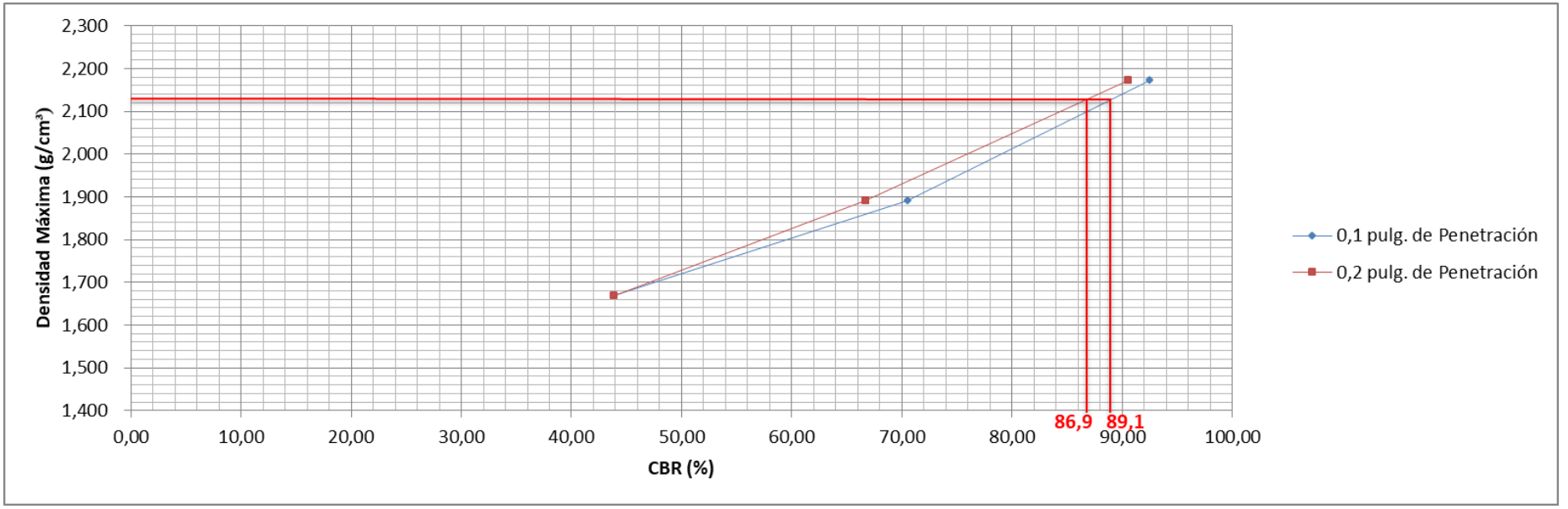


Tabla 69. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº SL12			Molde Nº SL11			Molde Nº LL22		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	965	994	**92,50**	771	794	**70,50**	489	504	**43,80**
0,200	1500	1442	1485	**90,53**	1094	1127	**66,67**	677	697	**43,87**

Figura 24. C.B.R. Base Clase 1 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.9.12 C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 70. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	D 2			CM14			CM3		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12002		12389	11789		12234	11209		11848
Peso del molde (Kgs)	6518		6518	7111		7111	7120		7120
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5484		5871	4678		5123	4089		4728
Volumen muestra (m³)	2366		2366	2288		2288	2288		2288
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,318		2,481	2,045		2,239	1,787		2,066
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	B-11	B-8	BA-30	B-17	BA-2	BA-2	BA-21	BA-30	B-31
Peso de muestra humedad + tarro (g)	62,09	61,35	61,41	60,44	56,82	52,66	58,58	59,10	67,62
Peso de muestra seca + tarro (g)	57,88	57,12	54,04	56,34	52,57	45,79	54,25	54,65	56,99
Peso del agua (g)	4,21	4,23	7,37	4,10	4,25	6,87	4,33	4,45	10,63
Peso del tarro (g)	16,79	16,49	12,16	16,48	11,89	12,04	12,04	12,16	16,92
Peso de la muestra seca (g)	41,09	40,63	41,88	39,86	40,68	33,75	42,21	42,49	40,07
Contenido de humedad %	10,25%	10,41%	17,60%	10,29%	10,45%	20,36%	10,26%	10,47%	26,53%
Contenido de humedad promedio, %	10,33%		17,60%	10,37%		20,36%	10,37%		26,53%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,101		2,110	1,853		1,860	1,619		1,633

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº D 2			Molde Nº CM14			Molde Nº CM3		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-03	14h00	2	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2018-07-04	14h00	3	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2018-07-05	14h00	4	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2018-07-06	14h00	5	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066

Datos del CBR									
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº D 2			Molde Nº CM14			Molde Nº CM3		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		378	389		290	299		186	192	
0,050		521	537		409	421		243	250	
0,075		749	771		533	549		299	308	
0,100	1000	885	912	**86,00**	722	744	**66,00**	477	491	**41,70**
0,150		1124	1158		781	804		561	578	
0,200		1332	1372	**85,33**	1020	1051	**63,33**	662	682	**42,67**
0,250		1399	1441		1161	1196		693	714	
0,300		1441	1484		1195	1231		744	766	
0,400		1465	1509		1233	1270		768	791	
0,500		1488	1533		1278	1316		792	816	
0,600		1512	1557		1294	1333		823	848	

Figura 25. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

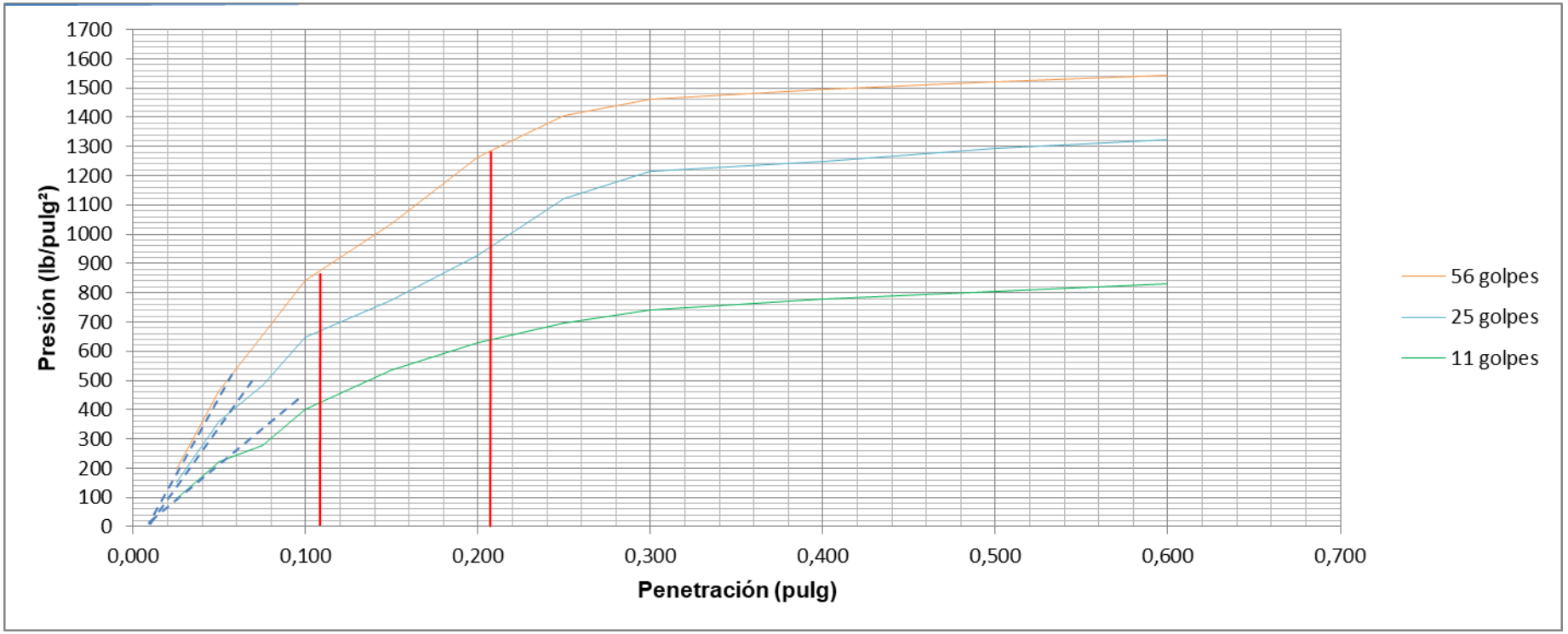
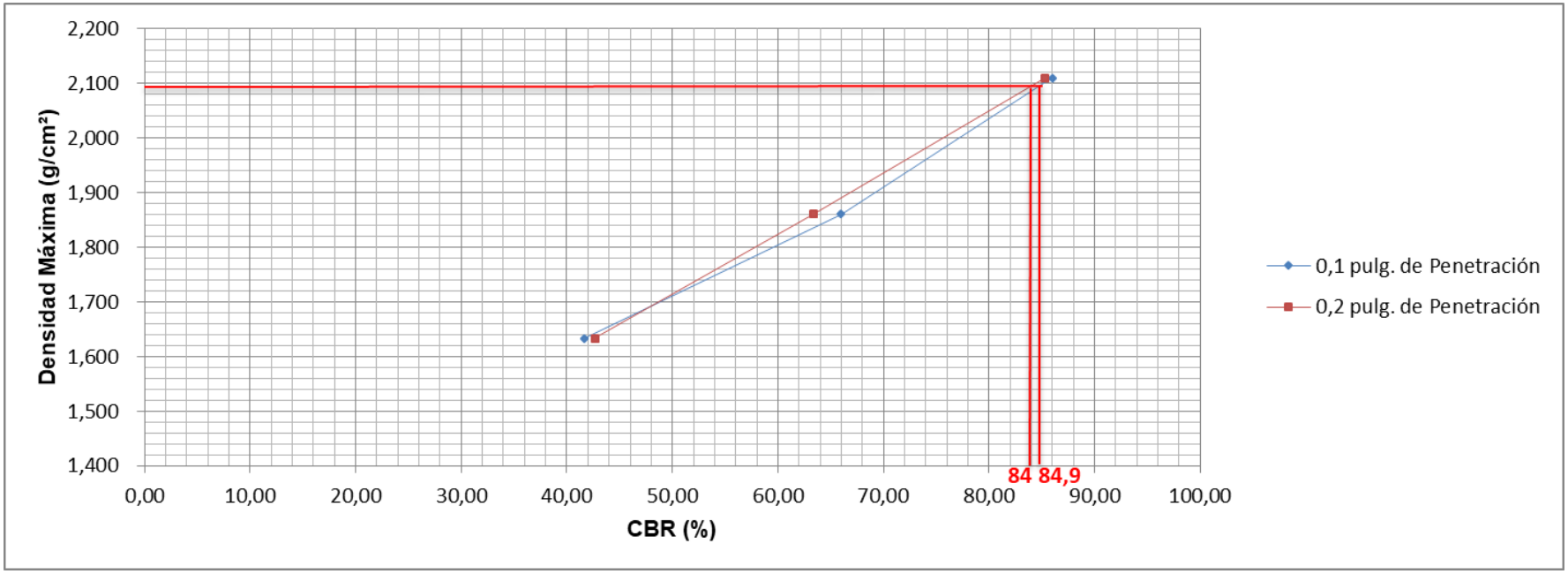


Tabla 71. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº D 2			Molde Nº CM14			Molde Nº CM3		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	885	912	**86,00**	722	744	**66,00**	477	491	**41,70**
0,200	1500	1332	1372	**85,33**	1020	1051	**63,33**	662	682	**42,67**

Figura 26. C.B.R. Base Clase 2 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.9.13 C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 72. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	D11			B6			D9		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12943		13390	11456		12022	10988		11609
Peso del molde (Kgs)	7670		7670	6895		6895	6998		6998
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5273		5720	4561		5127	3990		4611
Volumen muestra (m³)	2323		2323	2317		2317	2286		2286
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,270		2,462	1,968		2,213	1,745		2,017
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	B-7	M-9	D-22	M-20	D-19	B-2	D-2	M-7	M-17
Peso de muestra humedad + tarro (g)	55,42	59,16	60,74	62,78	58,71	77,43	55,17	60,09	62,39
Peso de muestra seca + tarro (g)	51,78	54,67	53,43	58,08	54,44	65,92	51,30	55,54	51,89
Peso del agua (g)	3,64	4,49	7,31	4,70	4,27	11,51	3,87	4,55	10,50
Peso del tarro (g)	16,28	11,65	13,29	12,07	13,27	16,31	13,51	11,74	12,18
Peso de la muestra seca (g)	35,50	43,02	40,14	46,01	41,17	49,61	37,79	43,80	39,71
Contenido de humedad %	10,25%	10,44%	18,21%	10,22%	10,37%	23,20%	10,24%	10,39%	26,44%
Contenido de humedad promedio, %	10,35%		18,21%	10,29%		23,20%	10,31%		26,44%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,057		2,083	1,785		1,796	1,582		1,595

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº D11			Molde Nº B6			Molde Nº D9		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2018-07-03	14h00	2	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2018-07-04	14h00	3	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2018-07-05	14h00	4	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	4	0,004	0,088
2018-07-06	14h00	5	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	4	0,004	0,088

Datos del CBR									
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº D11			Molde Nº B6			Molde Nº D9		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		311	320		265	273		154	159	
0,050		492	507		371	382		198	204	
0,075		711	732		492	507		276	284	
0,100	1000	853	879	**83,00**	674	694	**62,00**	454	468	**45,00**
0,150		1076	1108		722	744		532	548	
0,200		1287	1326	**82,53**	923	951	**57,67**	598	616	**41,27**
0,250		1335	1375		964	993		652	672	
0,300		1377	1418		988	1018		712	733	
0,400		1421	1464		1024	1055		746	768	
0,500		1456	1500		1065	1097		778	801	
0,600		1488	1533		1098	1131		808	832	

Figura 27. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

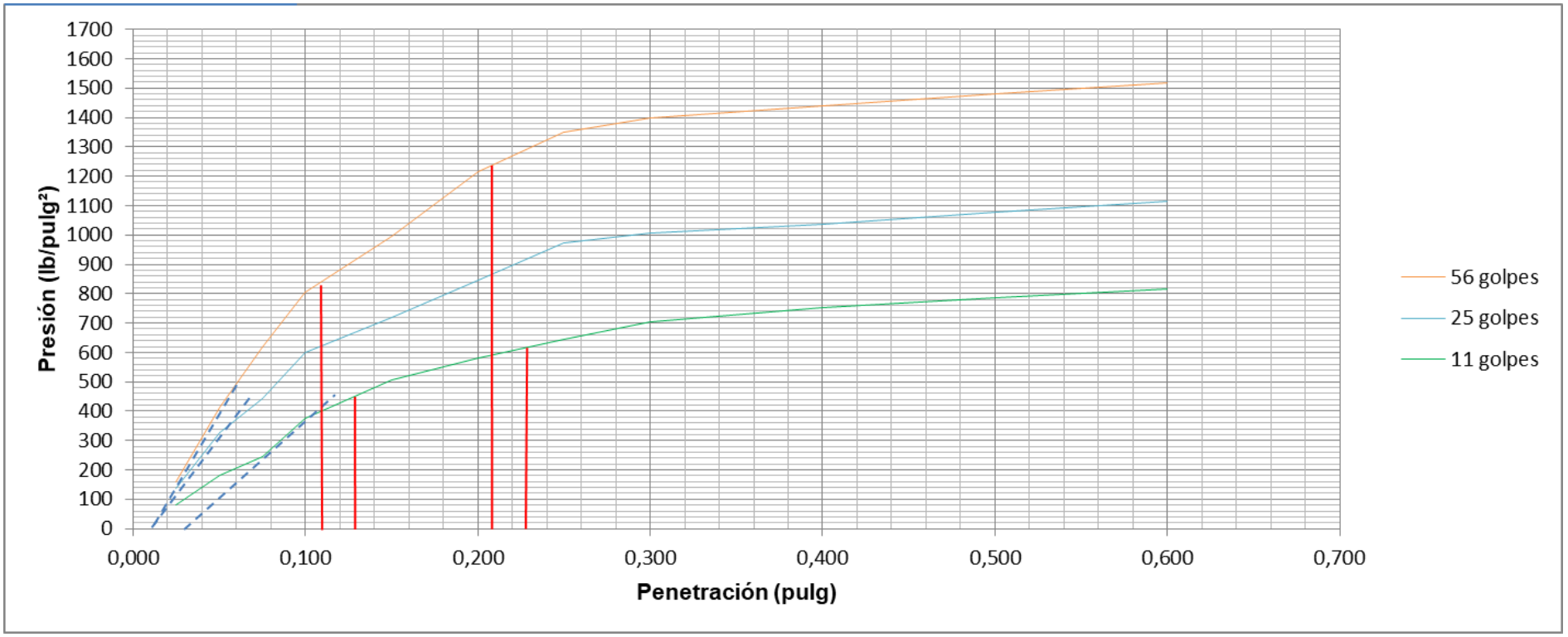
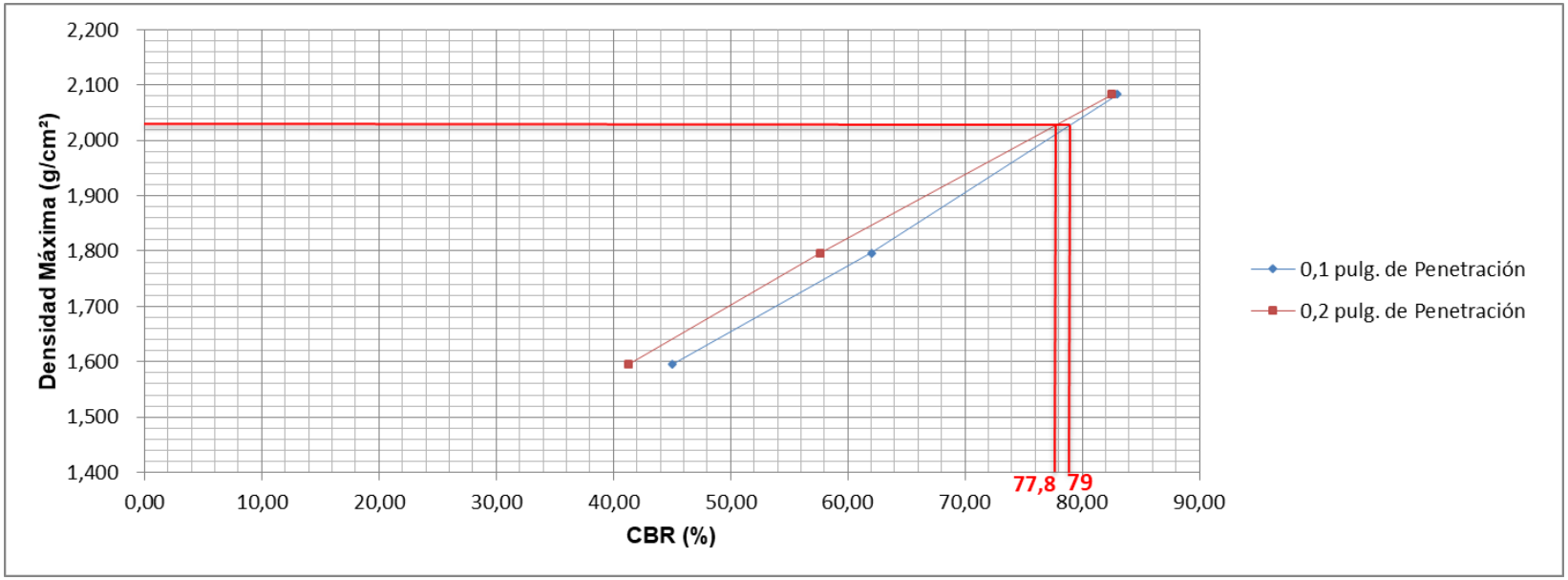


Tabla 73. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº D11			Molde Nº B6			Molde Nº D9		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	853	879	**83,00**	674	694	**62,00**	454	468	**45,00**
0,200	1500	1287	1326	**82,53**	923	951	**57,67**	598	616	**41,27**

Figura 28. C.B.R. Base Clase 3 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.9.14 C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Tabla 74. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura).

Contenido de Humedad y Peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	M6			M11			M4		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12789		13040	12756		12488	10911		12211
Peso del molde (Kgs)	7504		7504	8299		7504	6987		7504
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5285		5536	4457		4984	3924		4707
Volumen muestra (m³)	2403		2403	2353		2403	2286		2403
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,199		2,304	1,894		2,074	1,717		1,959
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	B-35	D-37	M-11	D-3	M-9	B-9	M-6	B-14	B-18
Peso de muestra humedad + tarro (g)	51,23	65,42	73,00	68,91	56,79	55,48	76,23	50,09	68,32
Peso de muestra seca + tarro (g)	48,16	60,67	65,45	63,89	52,69	49,19	70,44	46,90	58,54
Peso del agua (g)	3,07	4,75	7,55	5,02	4,10	6,29	5,79	3,19	9,78
Peso del tarro (g)	17,36	13,31	12,24	13,20	11,65	16,93	12,18	14,90	16,66
Peso de la muestra seca (g)	30,80	47,36	53,21	50,69	41,04	32,26	58,26	32,00	41,88
Contenido de humedad %	9,97%	10,03%	14,19%	9,90%	9,99%	19,50%	9,94%	9,97%	23,35%
Contenido de humedad promedio, %	10,00%		14,19%	9,95%		19,50%	9,95%		23,35%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,999		2,018	1,723		1,736	1,561		1,588

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)										
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº M6			Molde Nº M11			Molde Nº M4	
			Lectura del	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2018-07-02	14h00	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2018-07-03	14h00	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2018-07-04	14h00	3	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2018-07-05	14h00	4	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2018-07-06	14h00	5	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088

Datos del CBR									
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº M6			Molde Nº M11			Molde Nº M4		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		266	274		212	218		94	97	
0,050		454	468		323	333		132	136	
0,075		641	660		458	472		247	254	
0,100	1000	821	846	**78,00**	612	630	**57,70**	389	401	**41,80**
0,150		979	1008		677	697		455	469	
0,200		1192	1228	**76,13**	785	809	**52,00**	492	507	**34,67**
0,250		1281	1319		854	880		541	557	
0,300		1338	1378		909	936		590	608	
0,400		1397	1439		934	962		627	646	
0,500		1409	1451		965	994		645	664	
0,600		1423	1466		989	1019		656	676	

Figura 29. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Presión vs Penetración.

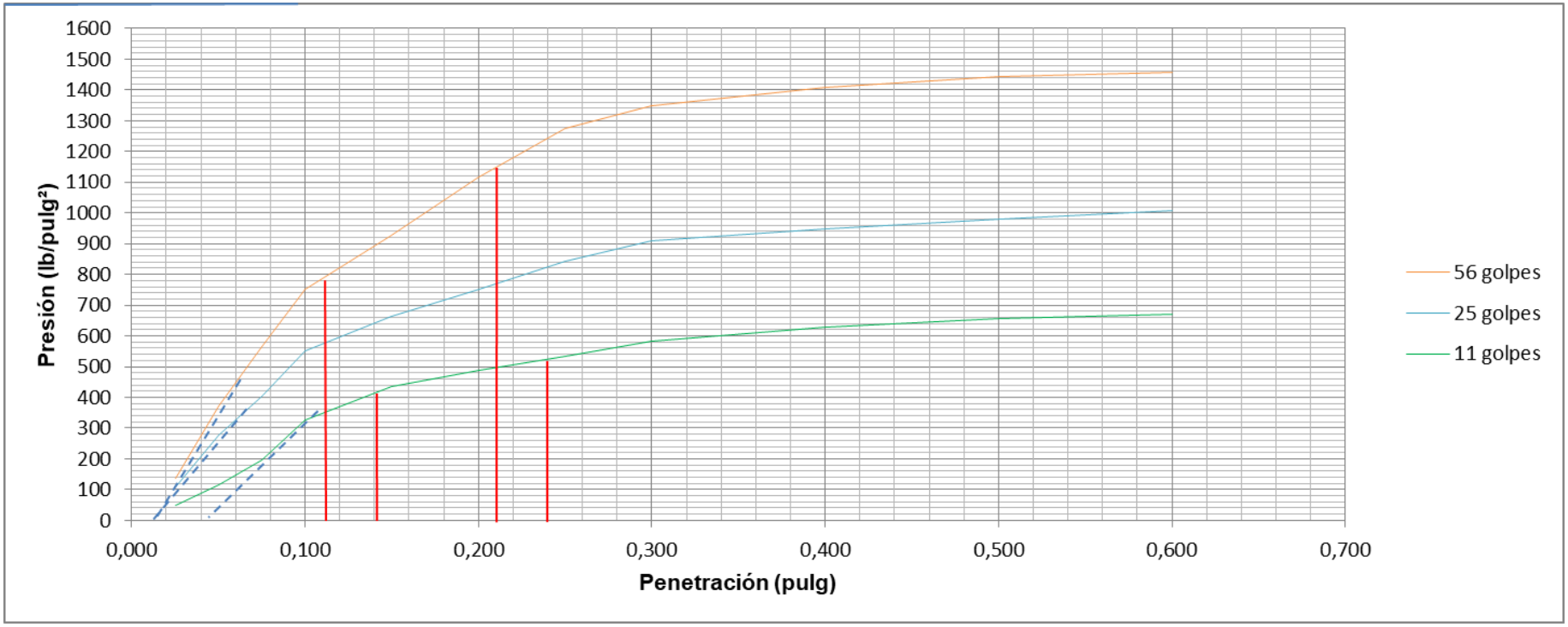
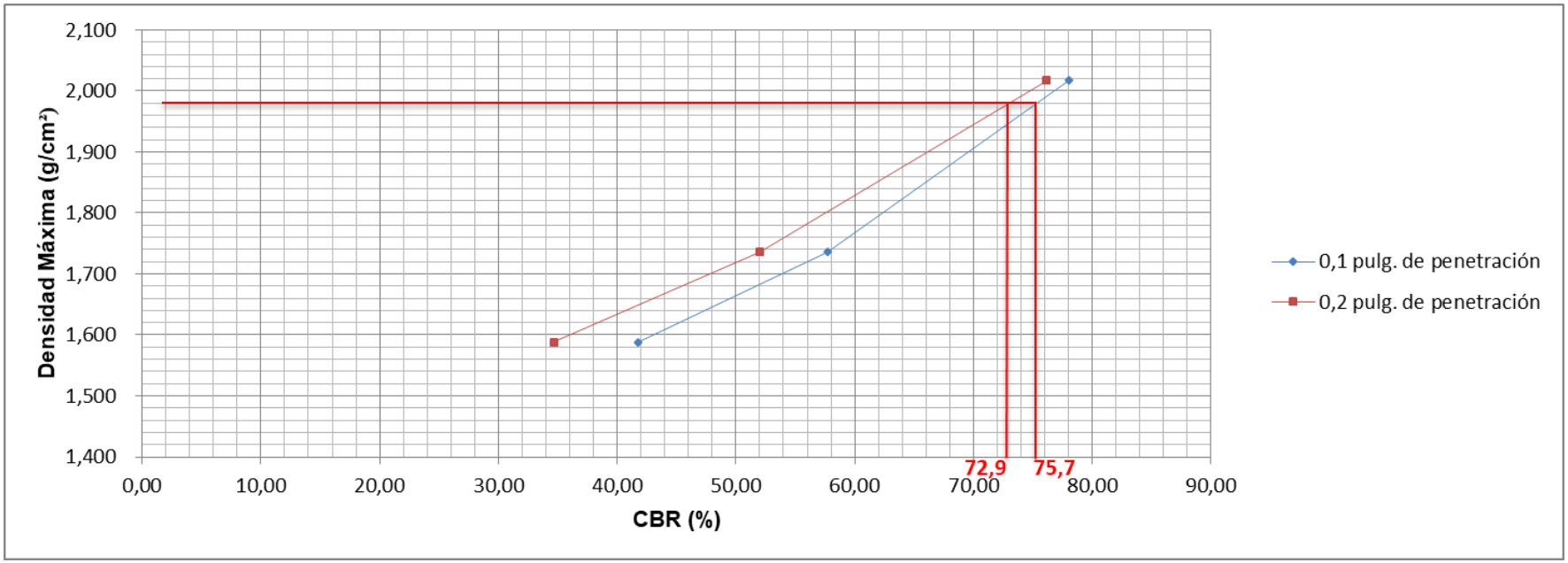


Tabla 75. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Datos de penetración (Corrección).

Datos del CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard lb/pulg²	Molde Nº M6			Molde Nº M11			Molde Nº M4		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,100	1000	821	846	**78,00**	612	630	**57,70**	389	401	**41,80**
0,200	1500	1192	1228	**76,13**	785	809	**52,00**	492	507	**34,67**

Figura 30. C.B.R. Base Clase 4 de la Mina Punto Azul (Ibarra–Imbabura): Densidad Máxima vs C.B.R.



2.10 MÓDULO DE YOUNG

Tabla 76. Valores de Módulo de Young y Módulo Resiliente para los diferentes tipos de Bases y Subbases.

TIPO	MÓDULO DE YOUNG (MPa)			MÓDULO DE YOUNG PROMEDIO (Mpa)	MÓDULO RESILIENTE (Psi)			MÓDULO RESILIENTE PROMEDIO (Psi)
	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3		MR 1	MR 2	MR 3	
SUBBASE CLASE 1	122,76	124,66	120,54	122,65	17804,83	18080,40	17482,85	17789,36
SUBBASE CLASE 2	118,83	120,94	122,74	120,84	17234,83	17540,86	17801,93	17525,88
SUBBASE CLASE 3	115,54	114,93	116,72	115,73	16757,66	16669,19	16928,80	16785,22
BASE CLASE 1 TIPO A	130,34	134,67	132,88	132,63	18904,22	19532,23	19272,61	19236,36
BASE CLASE 2	128,75	130,64	126,34	128,58	18673,61	18947,73	18324,07	18648,47
BASE CLASE 3	126,56	126,28	124,79	125,88	18355,98	18315,37	18099,26	18256,87
BASE CLASE 4	126,76	124,8	122,5	124,69	18384,98	18100,71	17767,12	18084,27

CAPÍTULO III

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Tabla 77. Resumen de Resultados de los Ensayos de Laboratorio

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO								
ENSAYO	**NORMA**	**ESPECIF. (%)**	**TIPO**	**TAMIZ #**	**% PASA**	**CLASIFICACIÓN**		**OBSERVACIÓN**
						SUCS	**AASHTO**	
GRANULOMETRÍA	ASTM C33 NEVI-12-MTOP	100 30 -70 10 - 35 0 -15	SUBBASE CLASE 1	1 1/2 No. 4 No. 40 No. 200	100 50,63 26,91 6,38	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
		100 70 - 100 30 - 70 15 - 40 0 - 20	SUBBASE CLASE 2	2 1 1/2 No. 4 No. 40 No. 200	100 94,08 44,53 21,43 9,39	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
		100 30 - 70 0 - 20	SUBBASE CLASE 3	3 No. 4 No. 200	100 41,57 5,2	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
		100 70 - 100 55 - 85 50 - 80 35 - 70 25 - 50 20 - 40 10 - 25 2 - 12	BASE CLASE 1 TIPO A	2 1 1/2 1 3/4 3/8 No. 4 No. 10 No. 40 No. 200	100 86,04 74,85 69,26 55,76 34,36 23,34 14,64 4,94	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
		100 70 - 100 50 - 80 35 - 65 25 - 30 15 - 30 3 - 15	BASE CLASE 2	1 3/4 3/8 No. 4 No. 10 No. 40 No. 200	100 86,25 67,7 46,26 32,67 19,02 7,12	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
		100 45 - 80 30 - 60 20 - 35 3 - 15	BASE CLASE 3	3/4 No. 4 No. 10 No. 40 No. 200	100 52,57 38,41 23,91 10,69	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
		100 60 - 90 20 - 50 0 - 15	BASE CLASE 4	2 1 No. 4 No. 200	100 82,76 40,94 9,35	GP - GW	A - 1 - a	CUMPLE
				VALOR		**UNIDAD**		
GRAVEDAD ESPECÍCA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO	ASTM C128 NEVI-12-MTOP		GRAVEDAD ESPECÍFICA ABSORCIÓN	2,76 2,2		Sin Unidad %		CUMPLE
GRAVEDAD ESPECÍCA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO	ASTM C127 NEVI-12-MTOP		GRAVEDAD ESPECÍFICA ABSORCIÓN	2,61 1,28		Sin Unidad %		CUMPLE
CONTENIDO ORGÁNICO	ASTM C40-99 NEVI-12-MTOP	MÁX. COLOR 3	AGREGADO FINO	COLOR 2		Sin Unidad		CUMPLE
TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES	ASTM C142-97 NEVI-12-MTOP	MÁX. 1%	AGREGADO FINO	0,30		%		CUMPLE
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A SULFATOS	ASTM C88 NEVI-12-MTOP	MÁX. 18%	AGREGADO FINO AGREGADO GRUESO	6 8		% de desgaste % de desgaste		CUMPLE
EQUIVALENTE DE ARENA	ASTM D249 NEVI-12-MTOP	>50%	AGREGADO FINO	89		%		CUMPLE
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ABRASIÓN	ASTM C131 NEVI-12-MTOP	<50% >40%	SUBBASE BASE	14,94 22,86		% de desgaste % de desgaste		CUMPLE
CONTENIDO DE HUMEDAD	ASTM D4318-84 NEVI-12-MTOP		SUBBASE CLASE 1 SUBBASE CLASE 2 SUBBASE CLASE 3 BASE CLASE 1 TIPO A BASE CLASE 2 BASE CLASE 3 BASE CLASE 4	9,29 9,44 10,43 9,08 9,58 9,18 10,13		% % % % % % %		CUMPLE
LÍMITES DE ATTERBERG	ASTM D4318-84 NEVI-12-MTOP		AGREGADO FINO	NP				Alto contenido de arena

Tabla 78. Resumen de Parámetros de C.B.R.

RESUMEN DE PARÁMETROS DE C.B.R.			
TIPO	**HUMEDAD ÓPTIMA (%)**	**DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³)**	**C.B.R. (%)**
SUBBASE CLASE 1	9,96	1958	69,7
SUBBASE CLASE 2	10,04	1904	68,9
SUBBASE CLASE 3	9,4	1884	64,5
BASE CLASE 1 TIPO A	10,96	2136	88
BASE CLASE 2	10,83	2096	84,45
BASE CLASE 3	10,6	2028	78,4
BASE CLASE 4	10,49	1982	74,3

Tabla 79. Módulo de Young y Módulo Resiliente

TIPO	**MÓDULO DE YOUNG PROMEDIO (Mpa)**	**MÓDULO RESILIENTE PROMEDIO (Psi)**
SUBBASE CLASE 1	122,65	17789,36
SUBBASE CLASE 2	120,84	17525,88
SUBBASE CLASE 3	115,73	16785,22
BASE CLASE 1 TIPO A	132,63	19236,36
BASE CLASE 2	128,58	18648,47
BASE CLASE 3	125,88	18256,87
BASE CLASE 4	124,69	18084,27

CAPÍTULO IV

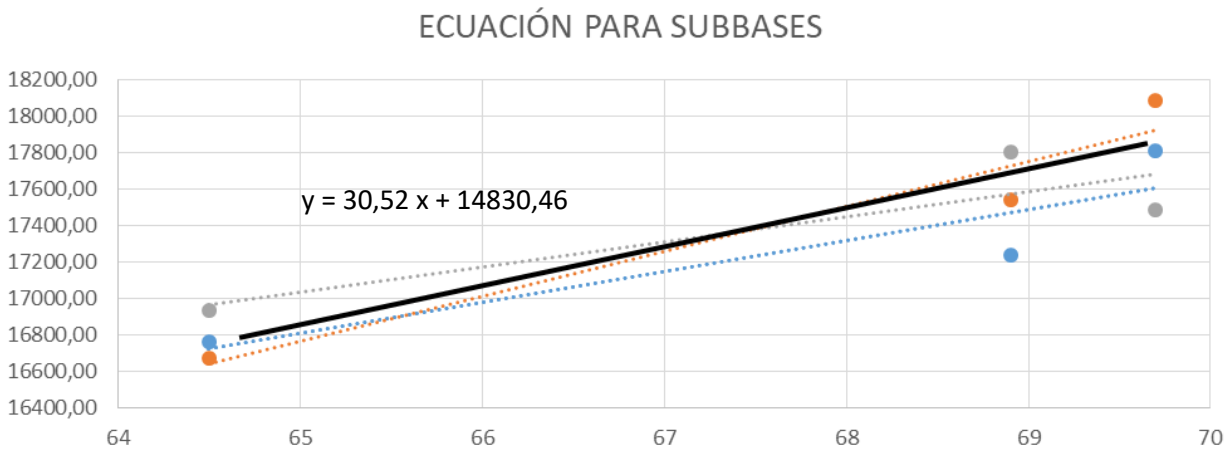
CORRELACIÓN C.B.R – MÓDULO RESILIENTE

Mediante la determinación de una ecuación empírica, con los datos de C.B.R. y Módulo de Young obtenidos de los ensayos realizados, se puede obtener los valores de Módulo Resiliente; la ecuación sirve para determinar los valores de Módulo Resiliente para Bases y Subbases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura), a partir del C.B.R. (%).

Tabla 80. Valores de C.B.R. y Módulo Resiliente de Subbases y Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)

TIPO	C.B.R. (%)	MÓDULO RESILIENTE (Psi)		
		MR 1	MR 2	MR 3
SUBBASE CLASE 1	69,7	17804,83	18080,40	17482,85
SUBBASE CLASE 2	68,9	17234,83	17540,86	17801,93
SUBBASE CLASE 3	64,5	16757,66	16669,19	16928,80
BASE CLASE 1 TIPO A	88	18904,22	19532,23	19272,61
BASE CLASE 2	84,45	18673,61	18947,73	18324,07
BASE CLASE 3	78,4	18355,98	18315,37	18099,26
BASE CLASE 4	74,3	18384,98	18100,71	17767,12

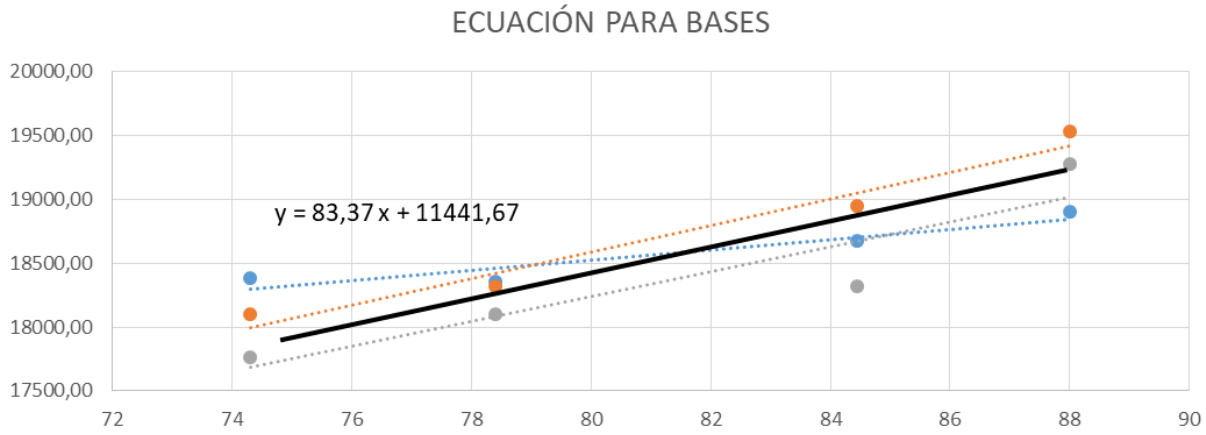
Figura 31. Ecuación de Módulo Resiliente para Subbases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



La ecuación desarrollada para Subbases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura), es la siguiente:

$$Mr\ (MPa) = 30{,}52\ \text{x C. B. R.}\ (\%)\ +\ 14830{,}46$$

Figura 32. Ecuación de Módulo Resiliente para Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



La ecuación desarrollada para Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura), es la siguiente:

$$Mr\ (MPa) = 83{,}37\ \text{x C. B. R.}\ (\%)\ +\ 11441{,}67$$

Tabla 81. Módulo Resiliente para Subbases y Bases de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura) obtenidos a partir de las ecuaciones de la correlación.

TIPO	C.B.R. (%)	MÓDULO RESILIENTE CORRELACIÓN (Psi)
SUBBASE CLASE 1	69,7	16957,70
SUBBASE CLASE 2	68,9	16933,29
SUBBASE CLASE 3	64,5	16799,00
BASE CLASE 1 TIPO A	88	18778,23
BASE CLASE 2	84,45	18482,27
BASE CLASE 3	78,4	17977,88
BASE CLASE 4	74,3	17636,06

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIAL

Para realizar el diseño de las diferentes capas que conforman la estructura de una vía como son: Subbase y Base; se utiliza el método AASHTO 1993 y se toman los valores de “Veloz Aguirre, M. A.(2014). Evaluación y diseño de pavimentos por el método no destructivo - georadar (gpr) y deflectómetro de la antigua vía a Conocoto. Quito, Ecuador”.

1. TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) determinado por conteo vehicular.

.Tabla 82. Tráfico Promedio Anual (TPDA).

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)	
CATEGORÍA	**TPDA POR CATEGORÍA**
Livianos	9229
Buses	577
Camiones 2 ejes	560
Camiones 3 ejes	57
Camiones 4 ejes	13
TPDA	10436

Fuente: Veloz Aguirre, M. A. (2014). Evaluación y diseño de pavimentos por el método no destructivo - georadar (gpr) y deflectómetro de la antigua vía a Conocoto. Quito, Ecuador

2. El nivel de confianza que se utiliza para el diseño es C=90%, por ser una Arteria Principal ubicada en el sector urbano.

Tabla 83. Nivel de confianza según la clasificación funcional de una vía.

Clasificación Funcional	Nivel de confianza recomendados	
	Urbano	Rural
Interestatal y Autopista	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteria Principal	80 - 99	75 - 95
Calles Colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

3. El valor de desviación estándar que se utiliza para este caso es So=0,44

Tabla 84. Valores recomendados para la variación estándar So

Valores recomendados para la desviación estándar So	
Condición de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0,49

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

4. El valor de distribución del tráfico es 100% del TPDA y se toma el mayor valor de TPDA entre los dos sentidos debido a que existe dos contadores, uno para cada sentido. Si se tiene un solo contador para los dos sentidos se toma el 50% del TPDA.

Distribución del tráfico (Dt) = 100%

Dt = 1

5. El periodo de diseño definido es igual a 10 años.

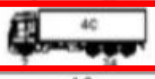
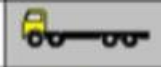
n = 10 años

6. La tasa de crecimiento adoptada es igual al 3%.

i = 3%

7. De acuerdo a la categoría de vehículos del TPDA, asignamos un tipo en base a la tabla 85.

Tabla 85. Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques

CUADRO DEMOSTRATIVOS DE TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
					largo	Ancho	Alto
2 D			CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA			CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB			CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3-A			CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10
4-C			CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10
4-0			CAMIÓN CON TAMDEM DIRECCIONAL Y TAMDEM POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB			VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	2,60	4,10
V3A			VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2013). Tabla 2A. 106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: Tipos de vehículos motorizados, remolques y semiremolques. Vol No. 2-Libro A norma para estudios y diseños viales. Quito, Ecuador.

8. Calculo del TPDA final:

$$TPDA\ final = TPDA\ o\ x\ (1 + i\ )^n$$

Tabla 86. TPDA final

TPDA final			
CATEGORÍA	**TPDAo**	**%**	**TPDA final**
Buses	577	48	578
Camiones 2 ejes	560	46	561
Camiones 3 ejes	57	5	58
Camiones 4 ejes	13	1	14
TPDA	1207		1212

9. Se determina el factor de carga equivalente con las expresiones siguientes:

Para eje simple: $Fss = (\frac{Lss}{6,6})^4$

Para eje doble: $Fsd = (\frac{Lsd}{8,2})^4$

Para eje tándem: $Ft = (\frac{Lt}{15})^4$

Fuente: Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

Tabla 87. Factor de carga equivalente

Tipo	Carga Total (T)	Carga por eje (T)	%	Fce por eje
2D	7	3	48	0,0205
		4		0,0648
2DB	18	7	46	0,5821
		11		1,4896
3A	27	7	5	0,0633
		20		1,7694
4C	31	7	1	0,0127
		24		0,0655
			FCE	4,0678

10. Número de ejes de 8.2 Ton.

$$N\ (8.2T) = \left(\frac{TPDA\ o + TPDA\ final}{2}\right)\ x\ 365\ x\ Dt\ x\ n\ x\ FCE$$

$$\boldsymbol{N\ (8.2T) = 17.96\ x10^{6}}$$

11. Se asume un valor de C.B.R. para la Subrasante: la vía en análisis es la antigua vía a Conocoto, por tal motivo tenemos presencia de un suelo con clasificación ML-CL, con un C.B.R.=11.00%.

$$Mr\ (psi) = 2555\ x\ C.B.R.^{0,64}$$

$$C.B.R. > 10\%$$

$$Mr\ (psi) = 11854.47\ psi$$

$$\boldsymbol{Mr\ (psi) = 11000\ psi}$$

12. Perdida de serviciabilidad:

Po valores entre: 4,2 – 4,5

Po=4,2

Pt valores entre: 5 – 4 Muy bueno

4 – 3 Bueno

3 – 2 Regular

2 – 1 Malo

1 – 0 Muy malo

Pt=2,2

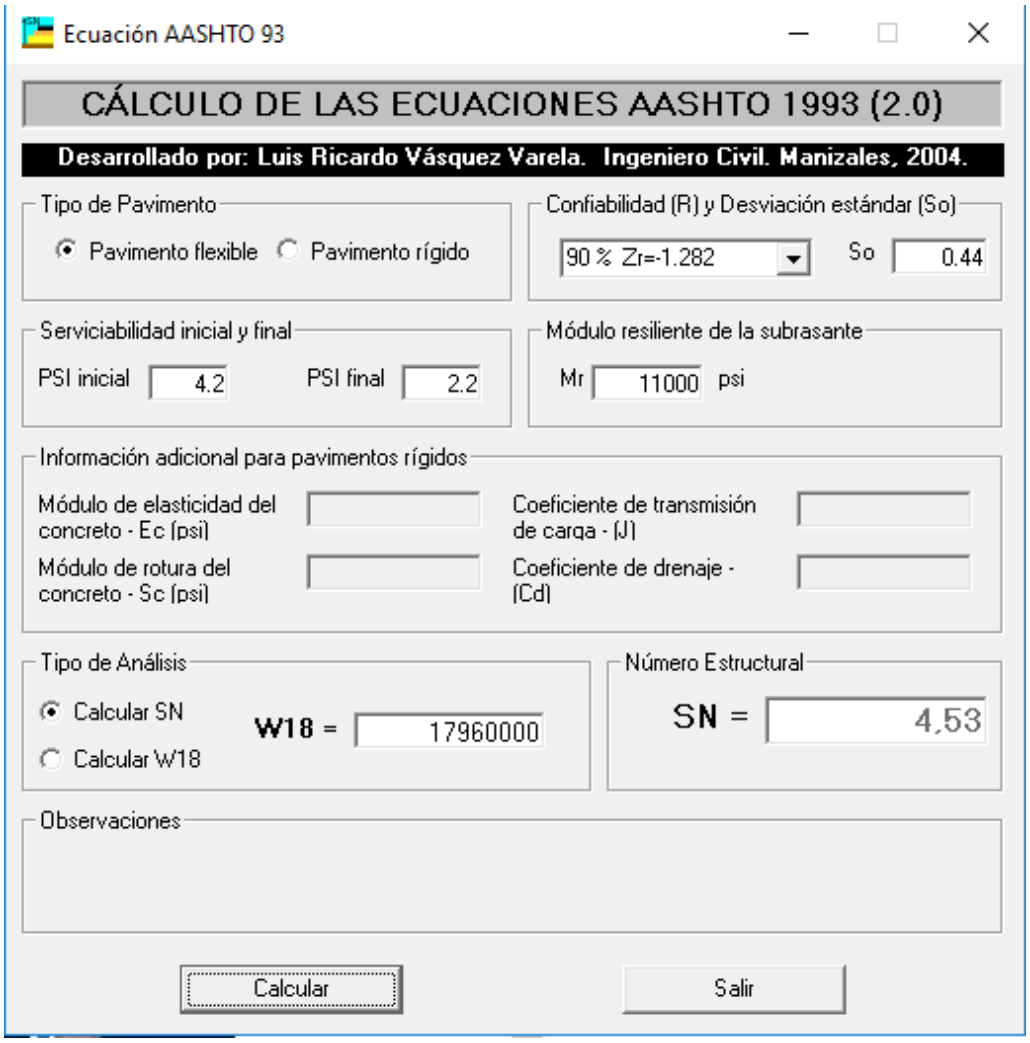
$$PSI = Po - Pt$$

$$\boldsymbol{PSI = 2}$$

13. Numero estructural para cada capa:

- **SUBRASANTE**

Figura 33. Número estructural de la Subrasante obtenido por el programa de AASHTO (93)



SN = 4,53

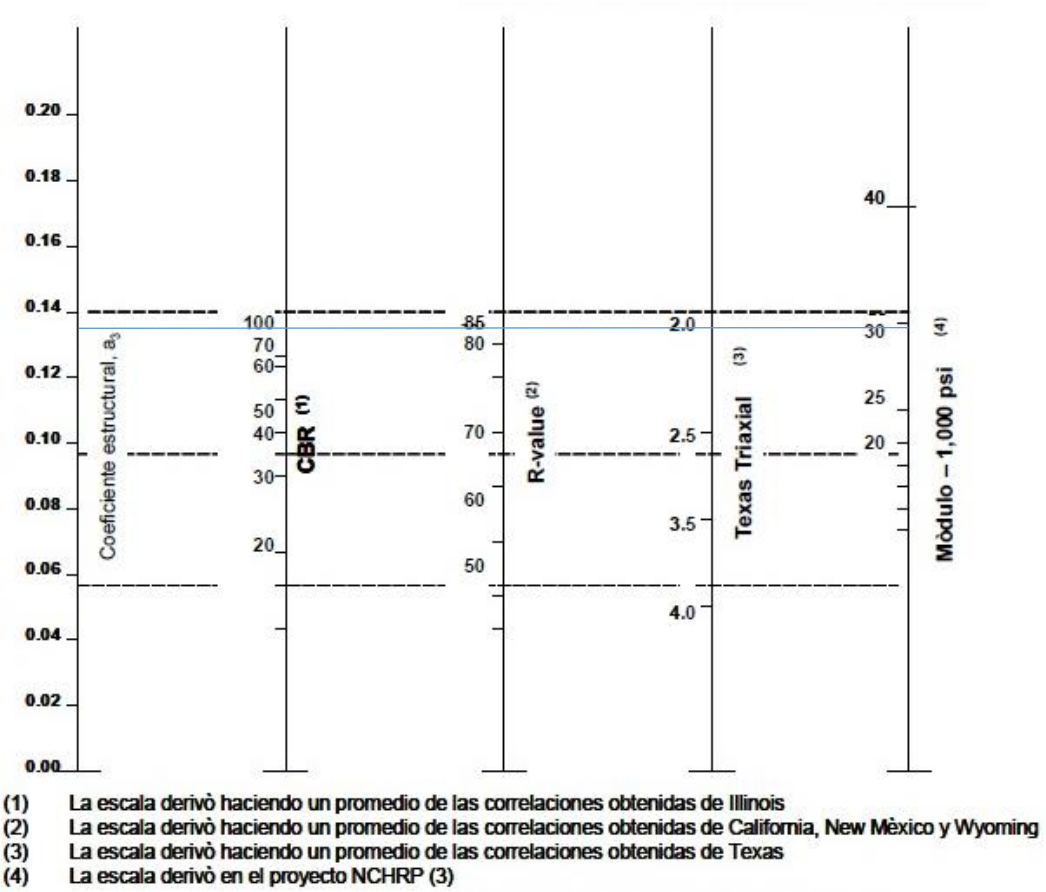
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- **BASE CLASE 1 TIPO A**

C.B.R. = 88.00 %

m= 1 (coeficiente de drenaje)

Figura 34. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A

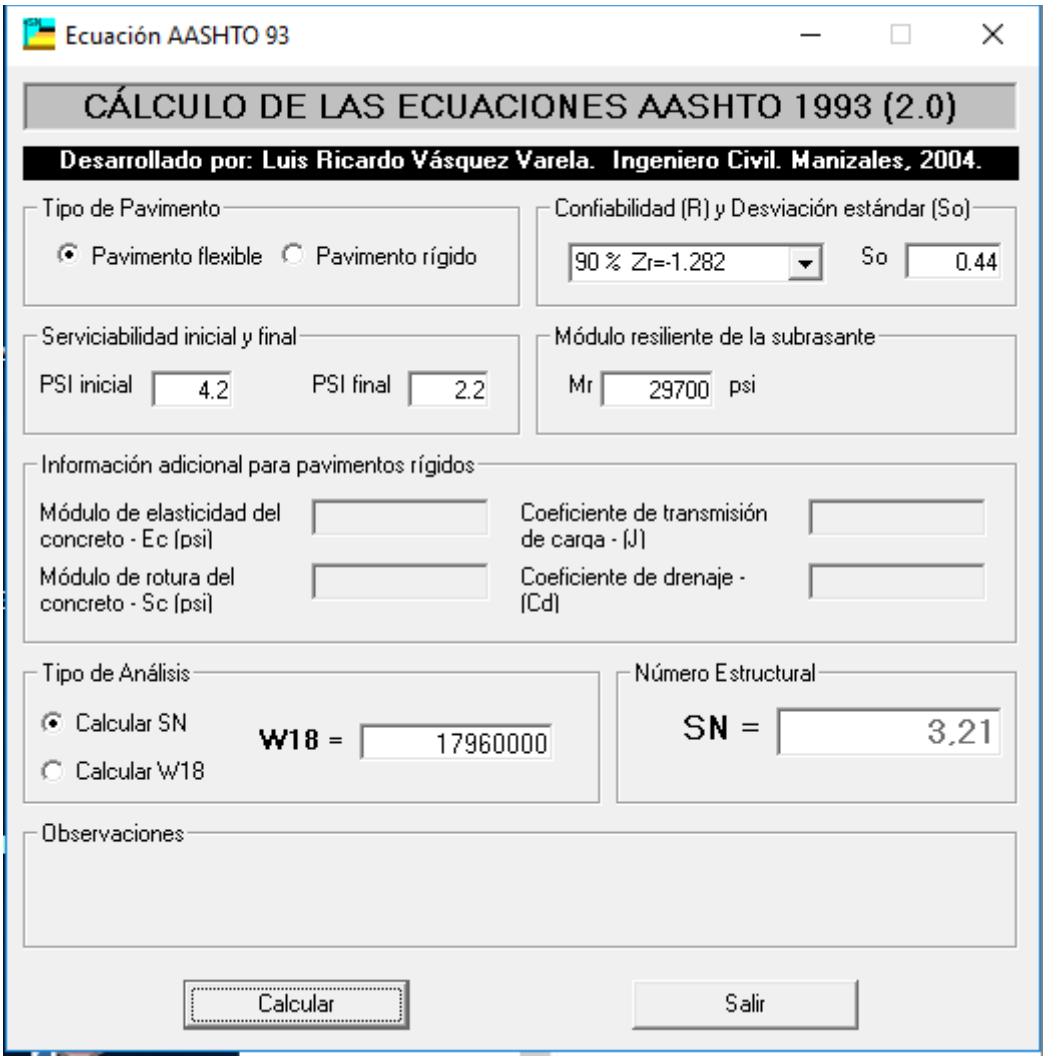


Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

a2 = (0.135pulg/2.54cm) = 0.0531 cm

Mr = 29700 psi

Figura 35. Número estructural de la Base Clase 1 Tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93)



SN = 3.21

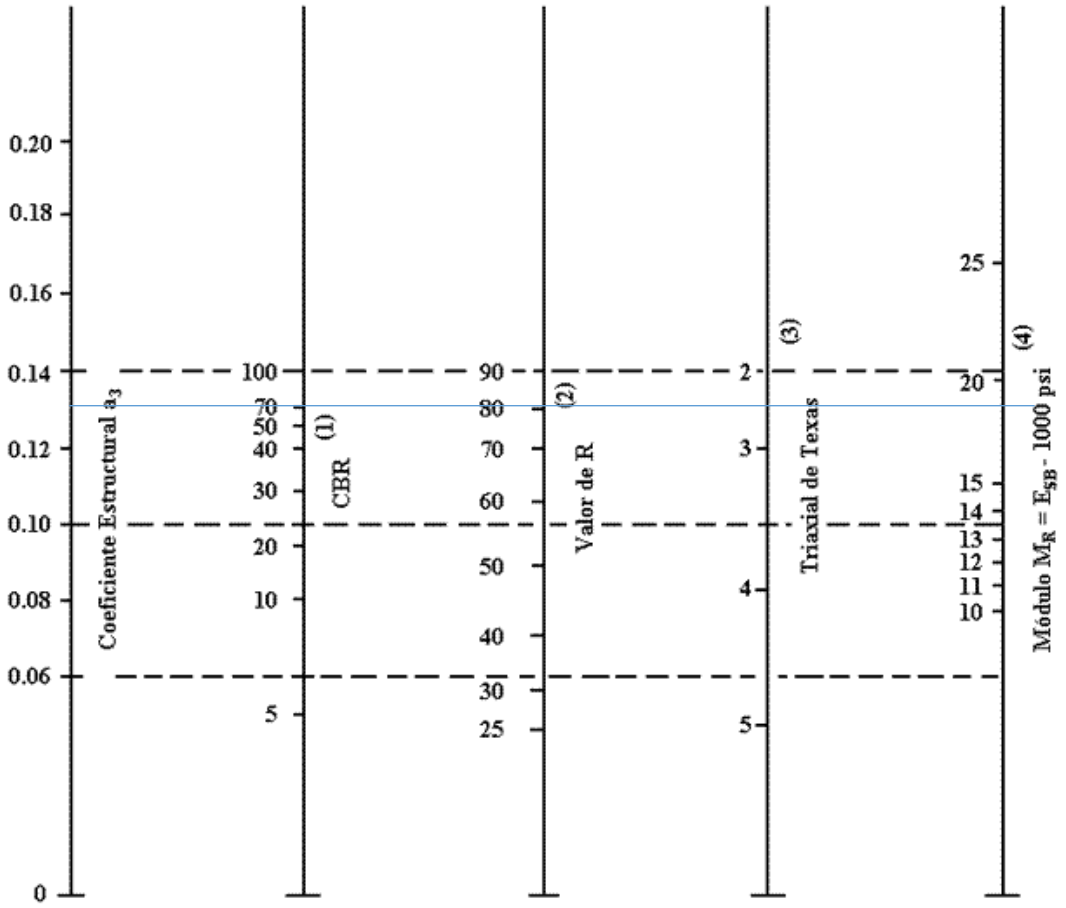
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- **SUBBASE CLASE 1**

C.B.R. = 69,70 %

m= 1 (coeficiente de drenaje)

Figura 36. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Subbase Clase 1



(1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
(2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
(3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
(4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

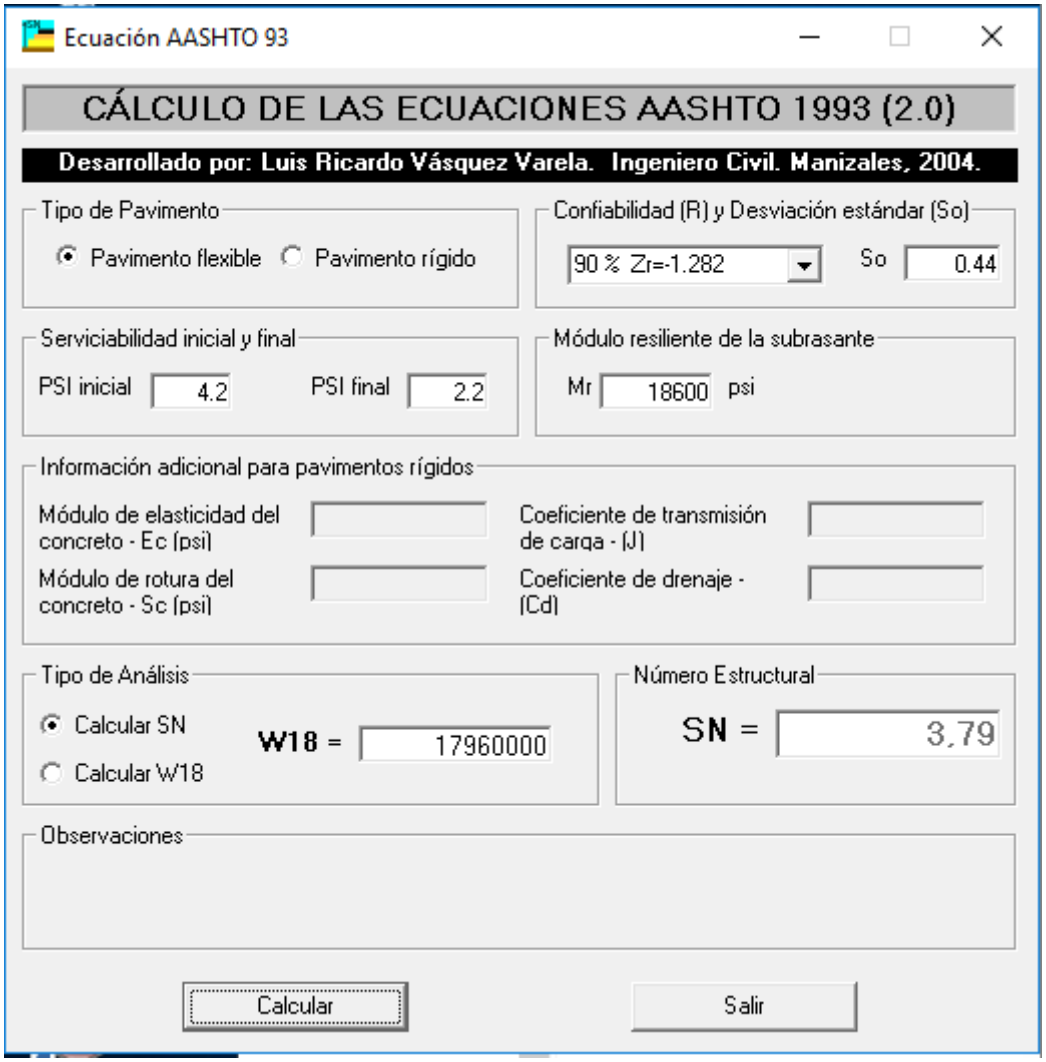
a3= (0.130pulg/2.54cm) = 0.0512 cm

Mr= 18600 psi

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos

Figura 37. Número estructural de la Subbase Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93)



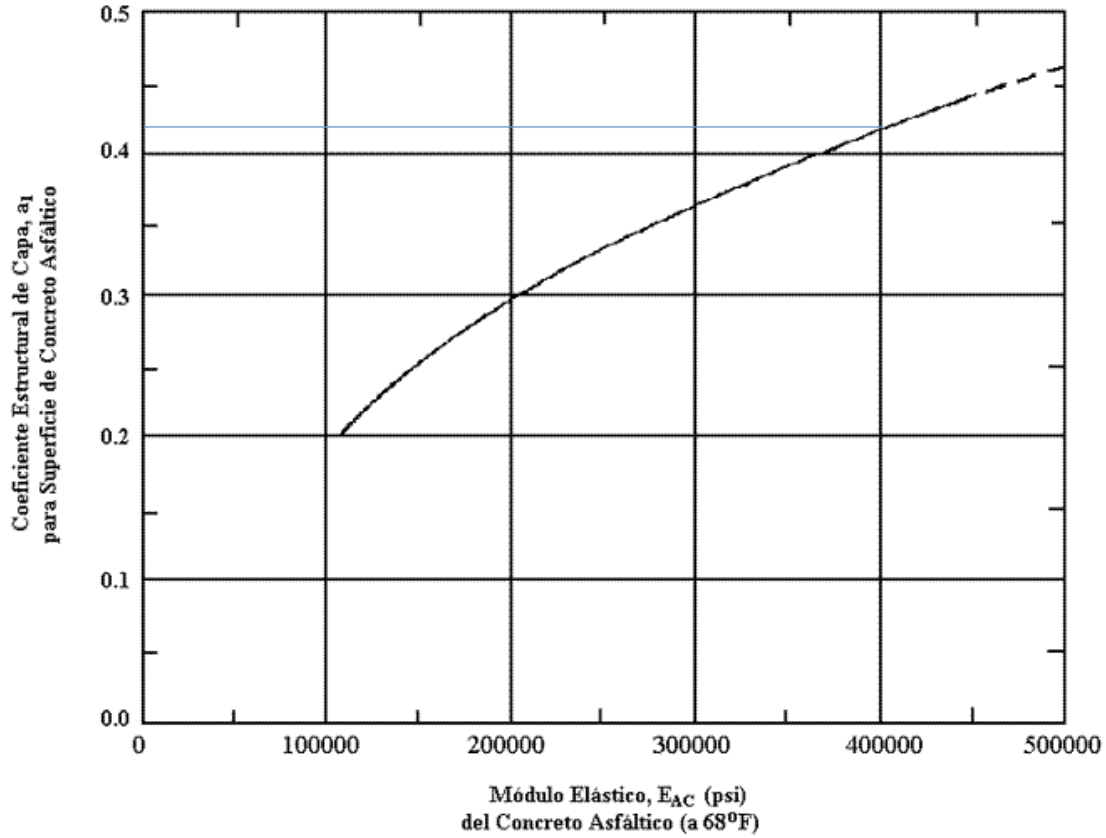
SN = 3, 79

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- **CARPETA ASFÁLTICA**

Módulo Resiliente adoptado para cumplir normativas del medio, MR=400.000 psi.

Figura 38. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica.



a1= (0.43pulg/2.54cm) = 0.169 cm

m = 1

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

14. Espesores de las capas:

- **Carpeta Asfáltica**

$$\boldsymbol{D1} = \frac{3.21}{0.169\ x\ 1} = 18.99\ cm\ \approx \mathbf{20\ cm}$$

$$SN\ real = 15\ x\ 0.169\ x\ 1 = 3.38$$

- **Base**

$$\boldsymbol{D2} = \frac{3.79 - 3.38}{0.0531\ x\ 1} = 7.72\ cm\ \approx \mathbf{15\ cm}$$

$$SN\ real = 15\ x\ 0.0531\ x\ 1 = 0.80$$

- **Subbase**

$$\boldsymbol{D3} = \frac{4.53 - 0.80 - 3.38}{0.0512\ x\ 1} = 6.84\ cm\ \approx \mathbf{15\ cm}$$

$$SN\ real = 15\ x\ 0.0512\ x\ 1 = 0.77$$

Comprobación:

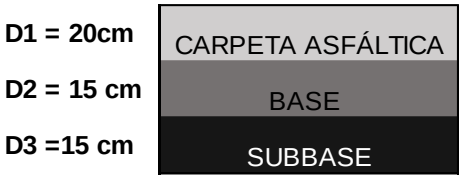
$$3.38 + 0.80 + 0.77 > 4.70$$

$$4.95 > 4.70$$

CUMPLE

Estructura del pavimento:

Figura 39. Espesores de la estructura vial por el método AASHTO (1993)

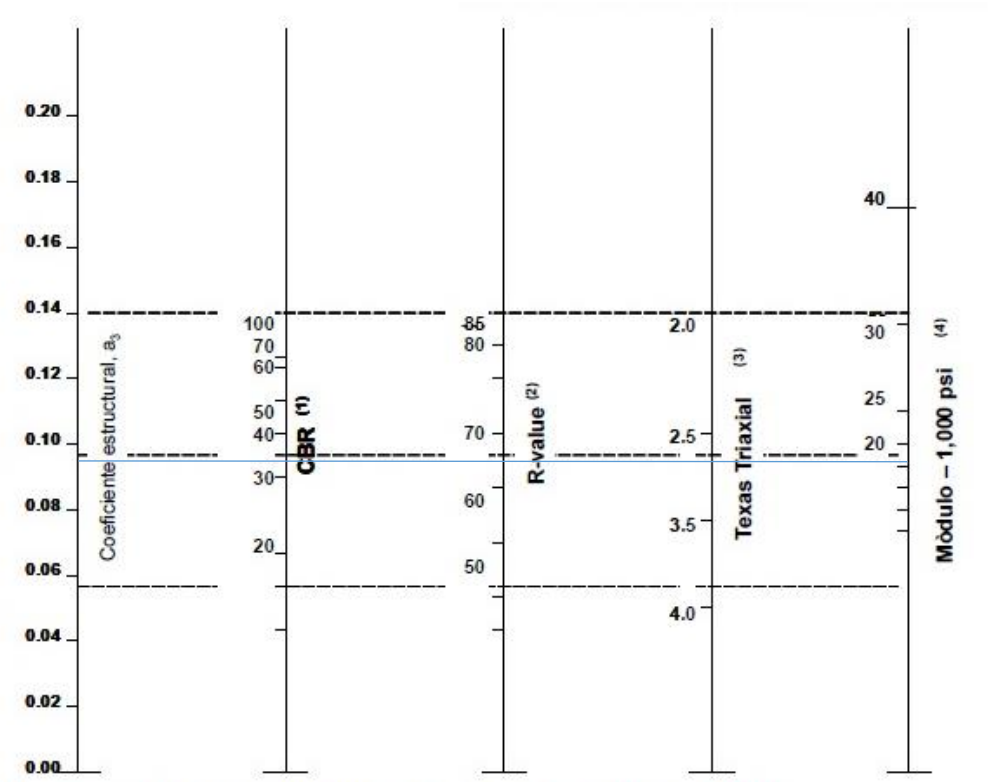


Cálculo de los espesores de la Base y Subbase con los valores obtenidos de la correlación:

- **BASE CLASE 1 TIPO A**

Mr = 19236,36 psi

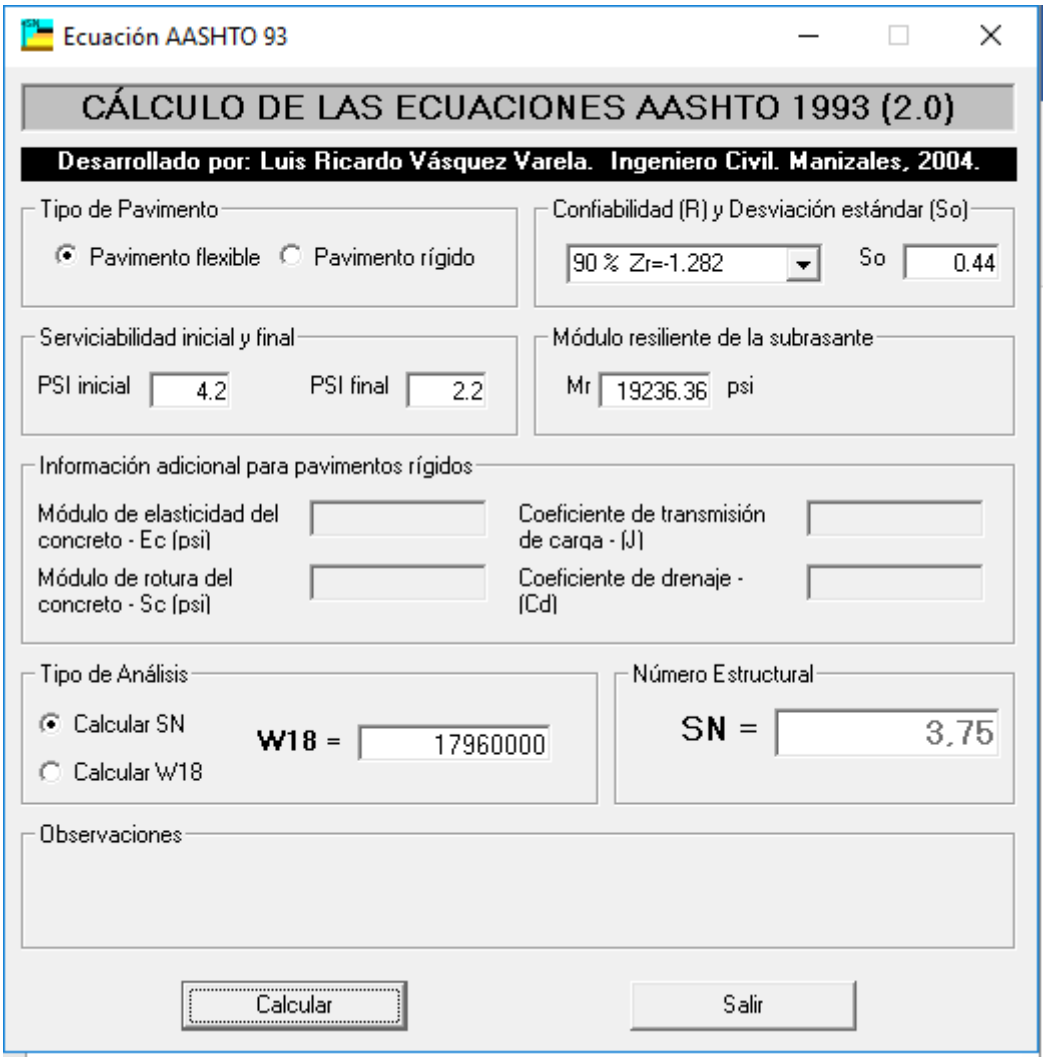
Figura 40. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A



a2 = (0.094pulg/2.54cm) = 0.037 cm

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos

Figura 41. Número estructural de la Base Clase 1 tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93)



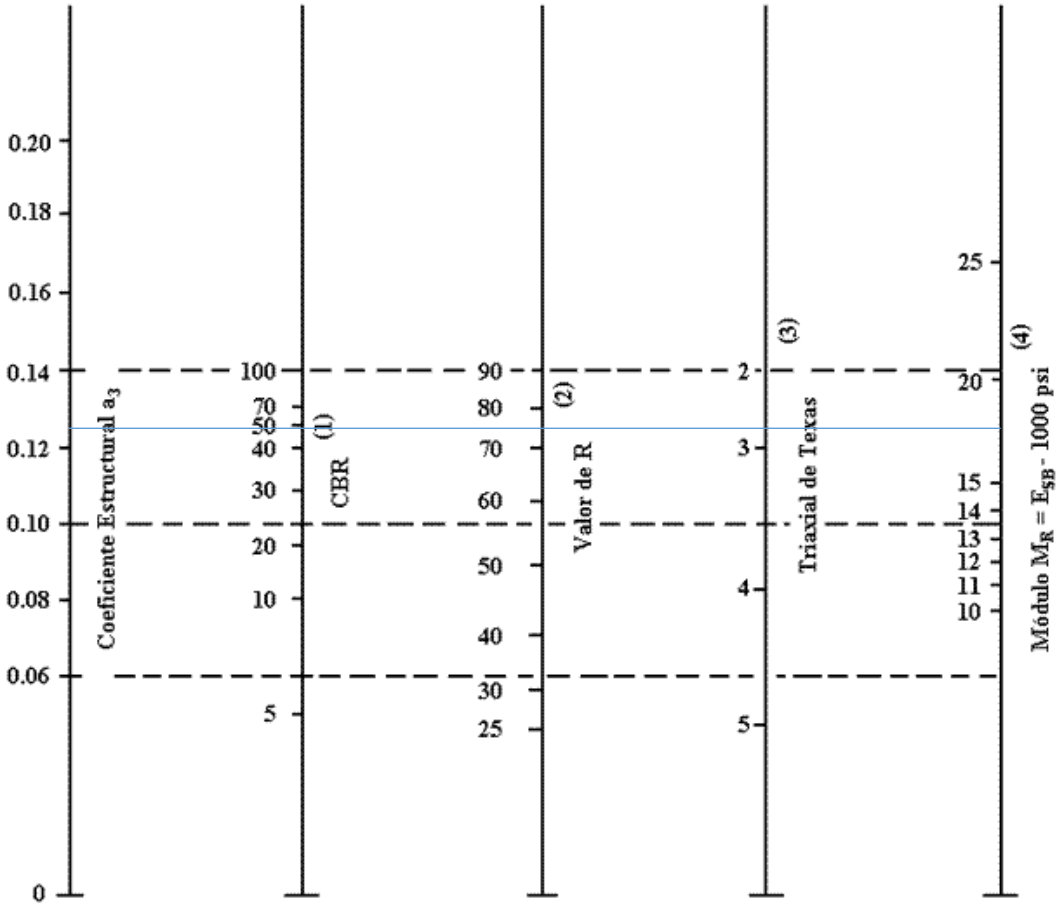
SN = 3,75

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- **SUBBASE CLASE 1**

Mr = 17789,36 psi

Figura 42. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Subbase Clase 1

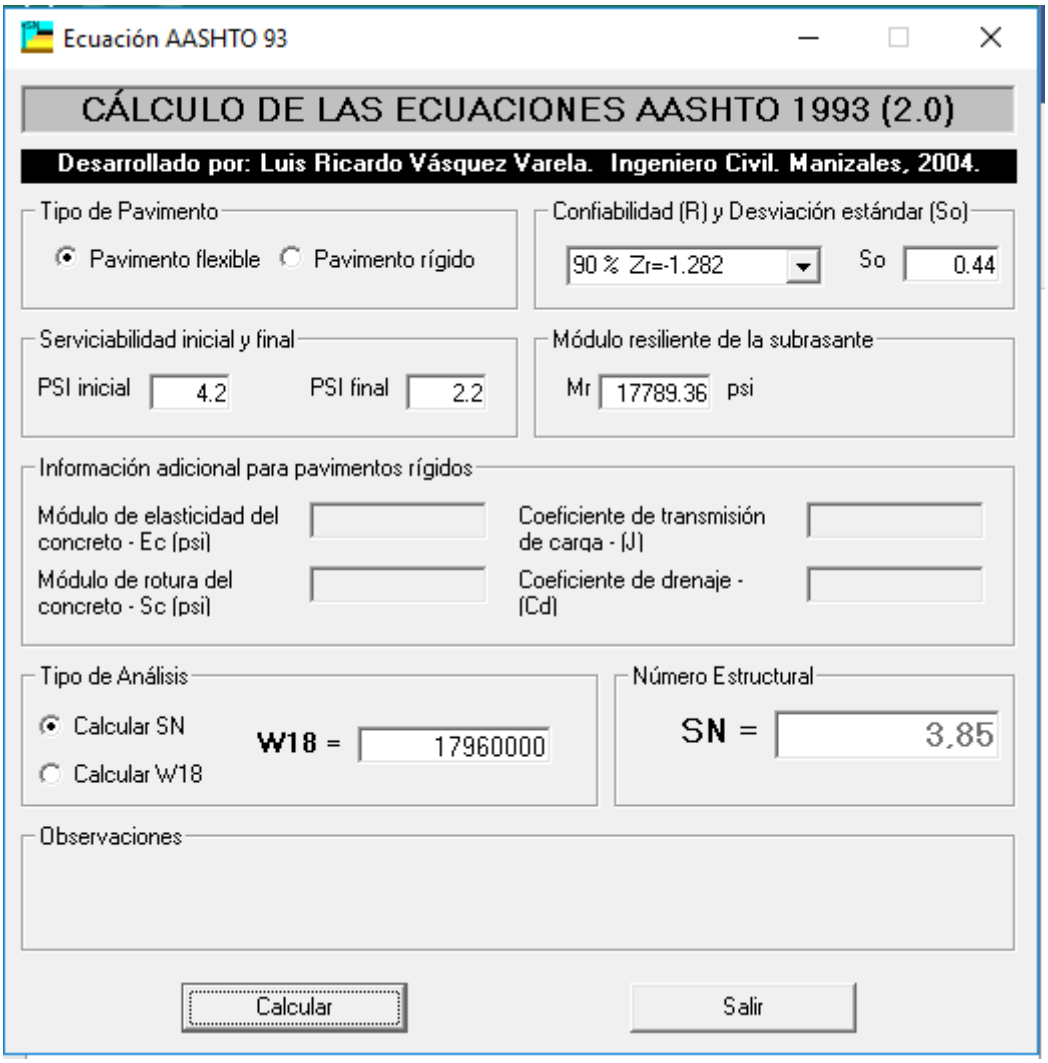


(1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
(2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
(3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
(4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

a3 = (0.125pulg/2.54cm) = 0.049 cm

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

Figura 43. Número estructural de la Sub-base Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93)



SN = 3.85

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

15. Espesores de las capas:

Para realizar el cálculo se toman los valores antes calculados para la Subrasante:

Mr = 11000 psi

SN = 4.53

- **Carpeta Asfáltica**

$$\boldsymbol{D1} = \frac{3.75}{0.169\ x\ 1} = 22.19\ cm\ \approx \boldsymbol{22.5\ cm}$$

$$SN\ real = 22.5\ x\ 0.169\ x\ 1 = 3.80$$

- **Base**

$$\boldsymbol{D2} = \frac{3.85 - 3.80}{0.037\ x\ 1} = 1.35\ cm\ \approx \boldsymbol{15\ cm}$$

$$SN\ real = 15\ x\ 0.037\ x\ 1 = 0.555$$

- **Subbase**

$$\boldsymbol{D3} = \frac{4.53 - 0.555 - 3.80}{0.049\ x\ 1} = 3.57\ cm\ \approx \boldsymbol{15\ cm}$$

$$SN\ real = 15\ x\ 0.049\ x\ 1 = 0.74$$

Comprobación:

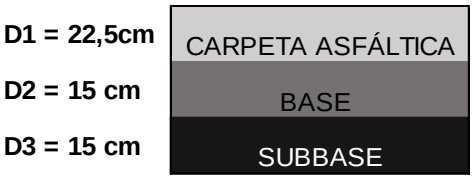
$$3.80 + 0.555 + 0.74 > 4.70$$

$$5.10 > 4.70$$

CUMPLE

Estructura del pavimento:

Figura 44. Espesores de la estructura vial por correlación obtenida



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Los valores de Módulo Resiliente obtenidos en campo con el equipo GeoGauge, fueron menores a los valores determinados empíricamente por el método de la AASHTO 93; lo anterior debido a que las condiciones de desarrollo influyen en la humedad óptima y densidad máxima previamente determinados en el laboratorio por el ensayo de Proctor Modificado.
- En el caso de la caracterización del agregado para Base y para Subbase de la Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura), se puede determinar que todos los ensayos involucrados cumplen con las exigencias y rangos de las normas ASTM y NEVI-12-MTOP, como se puede observar en la tabla 77, esto nos garantiza que los resultados obtenidos del C.B.R. (%) y posteriormente del Módulo Resiliente pueden ser utilizados en un futuro proyecto que involucre los agregados de dicha mina.
- Una vez determinado los porcentajes del C.B.R. tanto para Base como para Subbase, se debe obtener su correlación respectiva con el Módulo Resiliente, lo que nos ayuda posteriormente a calcular un valor aproximado del Módulo Resiliente y así hallar los espesores correspondientes a la estructura de una vía, que para este trabajo de investigación resultaron mayores que los calculados por el método tradicional de la AASHTO 93.
- Los porcentajes de C.B.R. de Base correspondientes a la mina en estudio están en el rango de 70% a 90% y los de la Subbase entre 60% y 70%, lo que nos lleva a concluir que es un material de buena calidad y puede ser utilizado en cualquier proyecto vial.

- Cuando la gráfica del C.B.R. presenta deflexiones notables es indispensable hacer la corrección del origen debido a que hubo falla en la colocación del pistón y éste no estuvo normal respecto a la superficie de contacto con la muestra.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar el ensayo con el equipo GeoGauge se recomienda realizar los ensayos en laboratorio del Proctor Modificado lo más cuidadosamente posible y respetando las normativas para así obtener resultados precisos y confiables de la humedad óptima y densidad máxima, ya que de ello depende la determinación del Módulo de Young y finalmente del Módulo Resiliente; también el ensayo de C.B.R.
- La compactación para la recreación del modelo estructural de una vía debe realizarse con un sapo mecánico para lograr acercarse lo más posible al valor real de la densidad máxima obtenida en laboratorio, y así garantizar los resultados que dependan de este parámetro.
- Para asegurar el valor de la densidad máxima después de la compactación se debe emplear el Densímetro Nuclear, y con ello acercarse lo más posible a la realidad y lograr de esta manera la consecución del proyecto deseado.
- Es importante mencionar que se debe almacenar el material en un lugar donde se pueda conservar las características naturales del mismo por un tiempo prolongado o en su defecto realizar los ensayos lo más rápido posible después de sustraer el material de la mina.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

Aguirre, A. M. (2014). EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS POR EL MÉTODO NO DESTRUCTIVO - GEORADAR (GPR) Y DEFLECTÓMETRO DE LA ANTIGUA VÍA A CONOCOTO. Quito, Ecuador.

ASTM INTERNATIONA. (2006). ASTM C142-97 Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2005). ASTM D4318-05-Los métodos de estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad de los suelos. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C127-Gravedad específica y absorción del agregado grueso. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C128-Gravedad específica y absorción del agregado fino. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131-Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C-33. Granulometría de los agregados.* West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C40-99-Contenido orgánico de la arena. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C88-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D1557-Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado). West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D1883-Standard Test Method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D2419-Equivalente de arena en suelos y agregado fino. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D-2487-17-Standar Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Classification System). West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D-2487-17-Standar Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, Estados Unidos.

Badillo, J., & Rodríguez, R. (2004). *Mecánica de Suelos Tomo 2: TEORÍA Y APLICACIÓN DE LA MECÁNICA DE SUELOS.* MÉXICO: LIMUSA.

Braja M. Das. (1998). *Principles of Geotechnical Engineering.*

Google Maps. (2019).

Ministerio de Obras Públicas. (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Quito , Ecuador.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2013). *Norma Ecuatoriana Vial.* Quito, Ecuador.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2013). Tabla 2A. 106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: Tipos de vehículos motorizados, remolques y semiremolques. Vol No. 2-Libro A norma para estudios y diseños viales. Quito, Ecuador.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. .

Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Salvador, P. (2001). *Manual Visualizado en Ensayo de Pavimentos.* Quito.

Yánez C, G. (s.f.). Guía Laboratorio de Pavimentos 2018. Quito , Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



Anexo 2. Almacenaje de materiales, Mina Punto Azul (Ibarra – Imbabura)



Anexo 3. Muestras para contenido de humedad de los agregados



Anexo 4. Tamizado de los agregados



Anexo 5. Compactación del material para el ensayo de C.B.R.



Anexo 6. Tendido del material para ensayo con equipo GeoGauge



Anexo 7. Compactado de material para ensayo con equipo GeoGauge

