PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

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

COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE CBR Y MÓDULO DE YOUNG PARA BASE Y SUB BASE. CASO DE ESTUDIO MINA MULALÓ – COTOPAXI.

AUTOR: ALVARADO GONZÁLEZ MILTON ABEL

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, SEPTIEMBRE 2019

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, el único que sabe las adversidades que ha pasado mi familia y yo para culminar este proceso, por siempre cuidarme y seguirme dando una vida maravillosa.

A mi madre, mujer única, fuerte y generosa, por siempre apoyarme, por sus palabras de aliento y no permitir que me dé por vencido.

Al Ing. Wladimir Fustillos, padre, amigo y mentor, por darme una educación de calidad, apoyarme en las buenas y en las malas, y jamás abandonarme.

A mis hermanos, Cami y Nico, por todas las molestias causadas, los amo.

A la Arq. Elcy Vilaña, mi mejor amiga, novia y compañera, nunca dejas de brindarme tu apoyo y amor, pero sobre todo gracias por siempre creer en mí.

A mi amigo Milton Cox gracias por todo, uno de los mejores seres humanos que he tenido el placer de conocer.

A mis amigos de toda la vida, infaltables, los mejores, Carlos Trujillo y Alfonso Chanabá, por toda la ayuda que me dieron, por vestirse de albañiles y por el pan con cola.

A todos mis amigos de la carrera, por el apoyo y el compañerismo que siempre me demostraron, siempre rodeado de gente única e increíble.

Al Ing. Wilson Cando por la ayuda, consejos y experiencias compartidas, a los Ingenieros Gustavo Yánez y Mauricio Cely por dedicar su tiempo y colaboración.

Abel Alvarado González.

DEDICATORIA:

Esto es para ti mamá, gracias por haberme brindado tus palabras de apoyo, consuelo y por todos los sacrificios que ha realizado para que yo pueda convertirme en Ingeniero, espero algún día hacerte sentir muy orgullosa, me esforzaré.

A mis tías, mujeres espectaculares que son mi esencia, por ellas soy la persona que soy en la actualidad, las extraño mucho.

A mi abuela, que desde antes que naciera supo me convertiría algún día en Ingeniero, mi segunda madre. Para ti Pilito.

Abel Alvarado González.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 1

1. GENERALIDADES: 1

1.1 JUSTIFICACIÓN: 1

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: 2

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA: 2

1.4 OBJETIVOS: 3

1.4.1 OBJETIVO GENERAL: 3

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 3

1.5 ALCANCE: 3

CAPÍTULO 2 5

2. MARCO TEÓRICO: 5

2.1 ANTECEDENTES: 5

2.2 MARCO CONCEPTUAL: 6

2.2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO: 6

2.2.2 SUB BASES: 7

2.2.3 BASES: 8

2.3 UBICACIÓN DE LA MINA: 10

CAPÍTULO 3 13

3. ENSAYOS DE LABORATORIO: 13

3.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS (ASTM C-33): 13

3.1.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ: 13

3.1.2 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO MNA MULALÓ: 14

3.2 GRANULOMETRÍA DE SUB BASES: 15

3.2.1 GRANULOMETRÍA SUB BASE 1 MINA MULALÓ: 15

3.2.2 GRANULOMETRÍA SUB BASE 2 MINA MULALÓ: 16

3.2.3 GRANULOMETRÍA SUB BASE 3 MINA MULALÓ: 17

3.3 GRANULOMETRÍA DE BASES: 18

3.3.1 GRANULOMETRÍA BASE 1 TIPO B MINA MULALÓ: 18

3.3.2 GRANULOMETRÍA BASE 2 MINA MULALÓ: 19

3.3.3 GRANULOMETRÍA BASE 3 MINA MULALÓ: 20

3.3.4 GRANULOMETRÍA BASE 4 MINA MULALÓ: 21

3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS (ASTM C-566): 22
3.4.1 HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:.....23
3.4.2 HUMEDAD DEL AGREGADO FINO MINA MULALÓ: 23
3.5 EQUIVALENTE DE ARENA MINA MULALÓ (AASHTO T-176): 23
3.6 ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C-131):.....24
3.7 MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 200 (ASTM C-117):.....24
3.8 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS MINA MULALÓ (ASTM C-29): 25
3.8.1 PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:.....25
3.8.2 PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO MINA MULALÓ: 25
3.9 TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS MINA MULALÓ (ASTM C-142): 26
3.9.1 TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO GRUEO MINA MULALÓ:.....26
3.9.2 TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO FINO MINA MULALÓ: 26
3.10 GRAVEDAD ESPECÍFICA EN LOS AGREGADOS (ASTM C-127 Y C-128): 26
3.10.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA EN EL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ: 27
3.10.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA EN EL AGREGADO FINO MINA MULALÓ:.....27
3.11 DESGASTE DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO (ASTM C-88): 27
3.11.1 DESGASTE A LOS SULFATOS AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ: 28
3.11.2 DESGASTE A LOS SULFATOS AGREGADO FINO MINA MULALÓ: 28
3.12 DELETÉREOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-123):.....28
3.12.1 DELETÉREOS AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:.....29
3.12.2 DELETÉREOS AGREGADO FINO MINA MULALÓ: 29
CAPÍTULO 4 30
4. CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO): 30
4.1 PROCTOR MODIFICADO: 30
4.1.1 PROCTOR MODIFICADO SUB BASE 1 MINA MULALÓ: 30
4.1.2 PROCTOR MODIFICADO SUB BASE 2 MINA MULALÓ: 31
4.1.3 PROCTOR MODIFICADO SUB BASE 3 MINA MULALÓ: 33
4.1.4 PROCTOR MODIFICADO BASE 1 TIPO B MINA MULALÓ: 34
4.1.5 PROCTOR MODIFICADO BASE 2 MINA MULALÓ:.....35
4.1.6 PROCTOR MODIFICADO BASE 3 MINA MULALÓ:.....37
4.1.7 PROCTOR MODIFICADO BASE 4 MINA MULALÓ:.....38
4.2 ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO): 39
4.2.1 CBR SUB BASE 1 MINA MULALÓ: 40
4.2.2 CBR SUB BASE 2 MINA MULALÓ: 43

4.2.3 CBR SUB BASE 3 MINA MULALÓ: 46
4.2.4 CBR BASE 1 TIPO B MINA MULALÓ: 49
4.2.5 CBR BASE 2 MINA MULALÓ: 52
4.2.6 CBR BASE 3 MINA MULALÓ: 55
4.2.7 CBR BASE 4 MINA MULALÓ: 58
4.3 RESUMEN ENSAYOS PROCTOR MODIFICADO Y CBR: 60
CAPÍTULO 5 62
5. CORRELACIÓN DEL CBR CON EL MÓDULO DE YOUNG: 62
5.1 ENSAYO DEL MÓDULO DE YOUNG: 62
5.2 CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y MÓDULO RESILIENTE: 67
CAPÍTULO 6 69
6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIAL: 69
6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA BASE Y SUB BASE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON CBR Y MÓDULO RESILIENTE: 69
6.2 CCOEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASES Y SUB BASES MINA MULALÓ MEDIANTE ENSAYO CBR: 73
6.2.1 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 1: 73
6.2.2 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 2: 74
6.2.3 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 3: 75
6.2.4 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 1B: 76
6.2.5 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 2: 77
6.2.6 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 3: 78
6.2.7 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 4: 79
6.3 COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASES Y SUB BASES MINA MULALÓ MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE: 80
6.3.1 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 1: 80
6.3.2 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 2: 81
6.3.3 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 3: 82
6.3.4 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 1B: 83
6.3.5 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 2: 84
6.3.6 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 3: 85
6.3.7 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 4: 86
6.4 COMPARACIÓN DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES: 87
6.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE CBR: 87
6.5.1 DISEÑO DE LA SUB RASANTE: 87

6.5.2 DISEÑO DE LA BASE: 89
6.5.3 DISEÑO DE LA SUB BASE: 90
6.5.4 DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA: 91
6.5.5 ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO: 92
6.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE: 94
6.6.1 DISEÑO DE LA SUB RASANTE: 94
6.6.2 DISEÑO DE LA BASE: 95
6.6.3 DISEÑO DE LA SUB BASE: 96
6.6.4 DISEÑO DE LA CARPETA ASFÁLTICA: 97
6.6.5 ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO: 97
6.7 COMPRACIÓN DE ESPESORES POR AMBOS MÉTODOS: 99
CAPÍTULO 7 100
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: 100
7.1 CONCLUSIONES: 100
7.2 RECOMENDACIONES: 101
CAPÍTULO 8 103
8. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS: 103
8.1 BIBLIOGRAFÍA: 103
8.2.1 ANEXOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN: 105
8.2.2 ANEXOS ENSAYOS PROCTOR MODIFICADO Y CBR: 112
8.2.3 ANEXOS ENSAYO GEOGAUGE H 4140: 114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I: Estructura de la vía. 6
Figura II: Vista en planta Mina Mulaló. 11
Figura III: Vista en planta extendida Mina Mulaló. 12
Figura IV: Vista general Mina Mulaló. 12
Figura V: Granulometría agregado grueso Mina Mulaló. 14
Figura VI: Granulometría agregado fino Mina Mulaló. 15
Figura VII: Granulometría sub base 1 Mina Mulaló. 16
Figura VIII: Granulometría sub base 2 Mina Mulaló. 17
Figura IX: Granulometría sub base 3 Mina Mulaló. 18
Figura X: Granulometría base 1 tipo B Mina Mulaló. 19
Figura XI: Granulometría base 2 Mina Mulaló. 20
Figura XII: Granulometría base 3 Mina Mulaló. 21
Figura XIII: Granulometría base clase 4 Mina Mulaló. 22
Figura XIV: Curva de compactación sub base 1 Mina Mulaló. 31
Figura XV: Curva de compactación sub base 2 Mina Mulaló. 32
Figura XVI: Curva de compactación sub base 3 Mina Mulaló. 33
Figura XVII: Curva de compactación base 1B Mina Mulaló. 35
Figura XVIII: Curva de compactación base 2 Mina Mulaló. 36
Figura XIX: Curva de compactación base 3 Mina Mulaló. 37
Figura XX: Curva de compactación base 4 Mina Mulaló. 39
Figura XXI: Esfuerzo – Penetración sub base 1 Mina Mulaló. 41
Figura XXII: %CBR – Densidad seca sub base 1 Mina Mulaló. 42
Figura XXIII: Esfuerzo – Penetración sub base 2 Mina Mulaló. 44
Figura XXIV: %CBR – Densidad seca sub base 2 Mina Mulaló. 45
Figura XXV: Esfuerzo – Penetración sub base 3 Mina Mulaló. 47
Figura XXVI: %CBR – Densidad seca sub base 3 Mina Mulaló. 48
Figura XXVII: Esfuerzo – Penetración base 1B Mina Mulaló. 50
Figura XXVIII: %CBR – Densidad seca base 1B Mina Mulaló. 51
Figura XXIX: Esfuerzo – Penetración base 2 Mina Mulaló. 53
Figura XXX: %CBR – Densidad seca base 2 Mina Mulaló. 54
Figura XXXI: Esfuerzo – Penetración base 3 Mina Mulaló. 56
Figura XXXII: %CBR – Densidad seca base 3 Mina Mulaló. 57
Figura XXXIII: Esfuerzo – Penetración base 4 Mina Mulaló. 59
Figura XXXIV: %CBR – Densidad seca base 4 Mina Mulaló. 60
Figura XXXV: Densidad seca – Módulo Resiliente sub base 1 Mina Mulaló. 63
Figura XXXVI: Densidad seca – Módulo Resiliente sub base 2 Mina Mulaló. 63
Figura XXXVII: Densidad seca – Módulo Resiliente sub base 3 Mina Mulaló. 64
Figura XXXVIII: Densidad seca – Módulo Resiliente base 1B Mina Mulaló. 64
Figura XXXIX: Densidad seca – Módulo Resiliente base 2 Mina Mulaló. 65
Figura XL: Densidad Seca – Módulo Resiliente base 3 Mina Mulaló 65
Figura XLI: Densidad seca – Módulo Resiliente base 4 Mina Mulaló. 66

Figura XLII: CBR – Módulo Resiliente sub bases Mina Mulaló. 68
Figura XLIII: CBR – Módulo Resiliente bases Mina Mulaló. 68
Figura XLIV: Tipo de vehículos motorizados, remolques y semirremolques. 70
Figura XLV: Coeficiente estructural sub base 1 mediante CBR. 73
Figura XLVI: Coeficiente estructural sub base 2 mediante CBR. 74
Figura XLVII: Coeficiente estructural sub base 3 mediante CBR. 75
Figura XLVIII: Coeficiente estructural base 1B mediante CBR. 76
Figura XLIX: Coeficiente estructural base 2 mediante CBR. 77
Figura L: Coeficiente estructural base 3 mediante CBR. 78
Figura LI: Coeficiente estructural base 4 mediante CBR. 79
Figura LII: Coeficiente estructural sub base 1 mediante Módulo Resiliente. 80
Figura LIII: Coeficiente estructural sub base 2 mediante Módulo Resiliente. 81
Figura LIV: Coeficiente estructural sub base 3 mediante Módulo Resiliente. 82
Figura LV: Coeficiente estructural base 1B mediante Módulo Resiliente. 83
Figura LVI: Coeficiente estructural base 2 mediante Módulo Resiliente. 84
Figura LVII: Coeficiente estructural base 3 mediante Módulo Resiliente. 85
Figura LVIII: Coeficiente estructural base 4 Módulo Resiliente. 86
Figura LIX: Número estructural de la Sub rasante. 88
Figura LX: Número estructural de la Base 2. 89
Figura LXI: Número estructural de la Sub base 3. 90
Figura LXII: Coeficientes de la carpeta asfáltica. 91
Figura LXIII: Espesores estructura del pavimento mediante CBR. 93
Figura LXIV: Número estructural de la Sub rasante. 94
Figura LXV: Número estructural de la Base 2. 95
Figura LXVI: Número estructural de la Sub base 3. 96
Figura LXVII: Coeficientes de la carpeta asfáltica. 97
Figura LXVIII: Espesores estructura del pavimento mediante Módulo Resiliente. 98
Figura LXIX: Comparación de espesores por ambos métodos. 99
Figura LXX: Extracción de los agregados en la Mina Mulaló. 105
Figura LXXI: Cuarteo del material. 106
Figura LXXII: Granulometría del agregado grueso. 106
Figura LXXIII: Granulometría del agregado fino. 107
Figura LXXIV: Contenido de humedad del agregado fino. 107
Figura LXXV: Contenido de humedad del agregado grueso. 108
Figura LXXVI: Ensayo Tamiz 200. 108
Figura LXXVII: Ensayo de contenido orgánico. 109
Figura LXXVIII: Ensayo de gravedad específica del agregado fino. 109
Figura LXXIX: Ensayo gravedad específica del agregado grueso. 110
Figura LXXX: Ensayo de equivalente de arena. 110
Figura LXXXI: Ensayo de sulfatos. 111
Figura LXXXII: Ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles. 111
Figura LXXXIII: Ensayo Deletéreos. 112
Figura LXXXIV: Ensayo Proctor Modificado, fundas y mezcla. 112
Figura LXXXV: Ensayo Proctor Modificado, moldes y compactación. 113
Figura LXXXVI: Ensayo CBR, moldes y datos de esponjamiento. 113

Figura LXXXVII: Ensayo CBR, moldes en estado de corte. 114
Figura LXXXVIII: Ensayo GeoGauge, estudio de la sub rasante. 114
Figura LXXXIX: Ensayo GeoGauge, proceso de compactación. 115
Figura XC: Medición con Densímetro Nuclear. 115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje retenido en tamices para Sub Base Clase 1. 7
Tabla 2: Porcentaje retenido en tamices para Sub Base Clase 2. 8
Tabla 3: Porcentaje retenido en tamices para Sub Base Clase 3. 8
Tabla 4: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 1. 9
Tabla 5: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 2. 9
Tabla 6: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 3. 10
Tabla 7: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 4. 10
Tabla 8: Detalle de las coordenadas de ubicación Mina Mulaló. 11
Tabla 9: Granulometría agregado grueso Mina Mulaló. 13
Tabla 10: Granulometría agregado fino Mina Mulaló. 14
Tabla 11: Granulometría sub base 1 Mina Mulaló. 15
Tabla 12: Granulometría sub base 2 Mina Mulaló. 16
Tabla 13: Granulometría sub base 3 Mina Mulaló. 17
Tabla 14: Granulometría base 1 tipo B Mina Mulaló. 18
Tabla 15: Granulometría base 2 Mina Mulaló. 19
Tabla 16: Granulometría base 3 Mina Mulaló. 20
Tabla 17: Granulometría base 4 Mina Mulaló. 21
Tabla 18: Contenido de humedad del agregado grueso Mina Mulaló. 23
Tabla 19: Contenido de humedad del agregado fino Mina Mulaló. 23
Tabla 20: Equivalente de arena Mina Mulaló. 24
Tabla 21: Abrasión en la máquina de los Ángeles Mina Mulaló. 24
Tabla 22: Material fino que pasa el tamiz 200 Mina Mulaló. 25
Tabla 23: Peso unitario agregado grueso Mina Mulaló. 25
Tabla 24: Peso unitario agregado fino Mina Mulaló. 25
Tabla 25: Terrones de arcilla agregado fino Mina Mulaló. 26
Tabla 26: Terrones de arcilla agregado grueso Mina Mulaló. 26
Tabla 27: Gravedad específica agregado grueso Mina Mulaló. 27
Tabla 28: Gravedad específica agregado fino Mina Mulaló. 27
Tabla 29: Desgaste a los sulfatos agregado grueso Mina Mulaló. 28
Tabla 30: Desgaste a los sulfatos agregado fino Mina Mulaló. 28
Tabla 31: Deletéreos agregado grueso Mina Mulaló. 29
Tabla 32: Deletéreos agregado fino Mina Mulaló. 29
Tabla 33: Proctor modificado sub base 1 Mina Mulaló. 30
Tabla 34: Humedad óptima sub base 1 Mina Mulaló. 31
Tabla 35: Proctor modificado sub base 2 Mina Mulaló. 31
Tabla 36: Humedad óptima sub base 2 Mina Mulaló. 32
Tabla 37: Proctor modificado sub base 3 Mina Mulaló. 33
Tabla 38: Humedad óptima sub base 3 Mina Mulaló. 34
Tabla 39: Proctor modificado base 1 tipo B Mina Mulaló. 34
Tabla 40: Humedad óptima base 1B Mina Mulaló. 35
Tabla 41: Proctor modificado base 2 Mina Mulaló. 35

Tabla 42: Humedad óptima base 2 Mina Mulaló. 36
Tabla 43: Proctor modificado base 3 Mina Mulaló. 37
Tabla 44: Humedad óptima base 3 Mina Mulaló. 38
Tabla 45: Proctor modificado base 4 Mina Mulaló. 38
Tabla 46: Humedad óptima base 4 Mina Mulaló. 39
Tabla 47: CBR sub base 1 Mina Mulaló. 40
Tabla 48: Valores CBR sub base 1 Mina Mulaló. 42
Tabla 49: CBR sub base 2 Mina Mulaló. 43
Tabla 50: Valores de CBR sub base 2 Mina Mulaló. 45
Tabla 51: CBR sub base 3 Mina Mulaló. 46
Tabla 52: Valores de CBR sub base 3 Mina Mulaló. 48
Tabla 53: CBR base 1B Mina Mulaló. 49
Tabla 54: Valores de CBR base 1B Mina Mulaló. 51
Tabla 55: CBR base 2 Mina Mulaló. 52
Tabla 56: Valores de CBR base 2 Mina Mulaló. 54
Tabla 57: CBR base 3 Mina Mulaló. 55
Tabla 58: Valores de CBR base 3 Mina Mulaló. 57
Tabla 59: CBR base 4 Mina Mulaló. 58
Tabla 60: Valores de CBR base 4 Mina Mulaló. 60
Tabla 61: Resumen Proctor modificado y CBR Mina Mulaló. 61
Tabla 62: Resultados GeoGauge Mina Mulaló. 62
Tabla 63: Resultados Módulo Resiliente Mina Mulaló. 66
Tabla 64: Módulo Resiliente / CBR Mina Mulaló. 67
Tabla 65: Tráfico promedio anual (TPDA). 69
Tabla 66: Nivel de confianza para una vía. 69
Tabla 67: Desviación estándar para una vía. 70
Tabla 68: Tráfico diario anual final. 71
Tabla 69: Carga equivalente por eje. 71
Tabla 70: Serviciabilidad de una vía. 72
Tabla 71: Comparación de Coeficientes Estructurales. 87

RESUMEN

El presente trabajo apunta a la generación de resultados de dos ensayos principales, que son el C.B.R. (California Bearing Ratio) y del Módulo de Young tanto para las diferentes bases y sub bases que se presentan en nuestro país, colocando el presente caso de estudio, correspondiente a la mina Mulaló ubicada en la provincia de Cotopaxi.

La investigación inicia con ensayos de caracterización preliminares, a cualquiera de los ensayos anteriormente mencionados, aplicadas a la mina designada, con la finalidad de verificar que el material extraído cumpla a cabalidad con los requisitos mínimos establecidos por las normas ecuatorianas y de esta manera determinar si la mina de explotación es apta para el estudio.

Una vez realizado este proceso se analizara los datos para así configurar de manera adecuada cada base y sub base como sean posible, esto debido a que puede existir la singularidad, que por el material extraído no se pueda conformar alguna base o sub base en particular y de esta manera someterlos a los dos ensayos principales que son el C.B.R. y el Módulo Resiliente. Adicional, se elaborará el diseño vial con la ayuda del método (AASHTO, 1993), determinando así los espesores por debajo de la capa de rodadura óptimos entre cada ensayo y correlacionarlos entre sí.

Todo este riguroso proceso con la finalidad, de generar un ahorro significativo tanto en la utilización de material de esta mina, como en la inversión, disminuyendo el espesor de las capas sin afectar al diseño adecuado y correcto de la vía.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES:

1.1 JUSTIFICACIÓN:

La investigación parte de la necesidad de encontrar información esencial para la determinación de parámetros físicos y característicos de las diferentes zonas de explotación, para materiales en la construcción de obras viales, como las minas alrededor del Ecuador, entre estas zonas estará el caso de estudió de la parroquia Mulaló en la provincia Cotopaxi, dichos parámetros tales como los que se originan de los ensayos de C.B.R. (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young, para las diferentes capas inferiores a la de rodadura como bases y sub bases, las cuales nos permitirán optimizar el espesor de dichas capas y generar un ahorro significativo a la hora de la construcción.

Determinar correlaciones entre estos dos principales ensayos para las bases y sub bases de la zona detallada, generará un aprovechamiento significativo a los constructores viales con el fin de aumentar índices de calidad y eficiencia en los estudios y planificación de los diferentes proyectos de orden vial que se puedan generar aledañas a la zona de explotación y de esta manera concebir una reducción tiempo costo a la hora de ejecutar dicho proyecto.

Optimizar los recursos pétreos dentro de un estudio planificado siempre será una de las armas más importantes a la hora de construir un proyecto vial, dando un mayor beneficio al usuario, asegurando no solo reducciones de tiempo sino también asegurando la calidad de la infraestructura.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La utilización de recursos y materiales de manera inadecuada es algo cotidiano en nuestro medio, debido al mal manejo de estos y a su vez la sobre dimensión que se genera en los proyectos a gran escala, este aspecto fundamental se vuelve en un factor de desinterés a la hora de generar una mayor inversión en métodos para aprovechar al máximo el potencial minero del que dispone el país, sin embargo es un punto que en algún momento girará drásticamente en contra de los mismos debido a que los recursos siempre serán finitos.

Esto nos lleva a la razón principal de esta investigación que es generar e identificar el método más adecuado para optimizar el material que será empleado en las bases y sub bases respectivas e identificadas por la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) de un proyecto vial, determinando los espesores más adecuados sin generar daños o influyendo negativamente en la calidad de las capas mismas, es decir al definir un espesor menor de las estructuras viales, mediante el uso de los principales ensayos de esta investigación, que al de otro, no implicara la reducción del estado de la vía a corto o largo plazo y se cumplirá a cabalidad con la estructura del pavimento adecuada, otorgando al diseño seguridad y resistencia.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

¿Cómo obtener de manera apropiada y óptima una relación correcta entre los ensayos de C.B.R. (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young?

¿Cuáles son los puntos de beneficio en la investigación a realizarse y de qué manera podrán aportar a corto y largo plazo a futuras obras de orden vial?

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una comparación técnica apropiada entre los ensayos de C.B.R (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young, generando parámetros de relevancia para las bases y sub bases de la Mina Mulaló – Cotopaxi.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar y certificar los materiales extraídos de la Mina Mulaló – Cotopaxi, a través de ensayos de laboratorio, comparados con las especificaciones y normas definidas de cada uno.
- Obtener los valores reales de C.B.R. (California Bearing Ratio) de laboratorio, para cada base y sub base formada por los materiales extraídos de la Mina Mulaló – Cotopaxi.
- Diseñar con la ayuda del programa AASHTO 93 la estructura completa de un pavimento flexible a partir de los resultados provenientes de los dos principales ensayos de la investigación.
- Generar un balance contrastando las dimensiones de las capas que conforman la estructura del pavimento proveniente de los ensayos C.B.R (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young.

1.5 ALCANCE:

La presente investigación apunta con relevancia a la búsqueda y determinación de una correcta relación entre los ensayos de laboratorio de C.B.R. (California Bearing

Ratio) y del Módulo de Young a través del ensayo de campo realizado por el Geo Gauge, únicamente el caso de estudio establecido, que es la Mina de Mulaló ubicada en la provincia de Cotopaxi.

El trabajo inicia con una certificación completa de la mina y la caracterización de los materiales que son explotados en la zona, para así determinar si los materiales con los que vamos a trabajar son aptos y competentes para el estudio, dicha información surgirá obteniendo datos relevantes como la granulometría, tanto del agregado grueso como del fino, el contenido natural de humedad, equivalente de arena, abrasión, material fino que pasa el tamiz 200, peso unitario, contenido de terrones de arcilla en los agregados, gravedad específica, resistencia a los sulfatos y presencia de partículas de peso ligero, todo esto acompañado de la respectiva clasificación del material.

Posterior a todo este análisis y al llegar a la conclusión de si la mina cumple con los requisitos que necesitamos para formar las respectivas bases y sub bases, se procederá con los ensayos de Proctor Modificado y C.B.R. (California Bearing Ratio), los cuales serán 3 para las sub bases y 4 para las bases, dando un total de 7 ensayos de Proctor Modificado y a su vez la misma cantidad para el ensayo C.B.R. de laboratorio.

Finalmente se realizará el ensayo Geo Gauge H4140 en campo, para obtener así el Módulo de Young respectivo, serán 3 ensayos por cada sub base y por cada base, dando un total de 42 ensayos por los 7 tipos diferentes tipos de capas, suficientes para definir una correlación exitosa para la investigación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO:

2.1 ANTECEDENTES:

La metodología actual del país para desarrollar un diseño completo de la estructura del pavimento en un proyecto vial depende en gran parte del ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio), por el cual se desprenden una gran diversidad de variables, de entre estos el Módulo Resiliente el cual es obtenido a través de ábacos generando un número no tan exacto pero no lejos de la realidad. En ocasiones el ensayo C.B.R. se realiza in situ y debido a esto se genera un sin número de inconvenientes, puesto que este ensayo particularmente genera un grado de dificultad al realizarlo en campo, el método más exacto sería realizarlo en laboratorio bajo exigentes estándares los cuales están pre determinados en la norma ASTM D-1883.

La propia guía para el diseño completo de pavimentos realizado por la AASHTO remarca que para completar adecuadamente el diseño de la estructura del pavimento, es preciso convertir la información generada por el C.B.R. o por el valor R a un Módulo Resiliente, sin embargo debido a la ausencia de estas correlaciones ellos generan cuadros generales tanto para base como para sub base, sin embargo no necesariamente son aplicadas a las características de los materiales pétreos del país, por lo que de aquí parte la necesidad de crear estas correlaciones generando una investigación amplia a lo largo de todo el Ecuador para así agilizar el proceso de diseño. (AASHTO, 1993, págs. 1-15).

Es así como se determina el valor del Módulo de Young a través del ensayo de campo Geo Gauge H4140 el cual a su vez nos permitirá obtener el Módulo Resiliente para cada base y sub base establecida en la NEVI 12-MTOP. (MTOP, 2012, págs. 340-380). Para así comparar y crear un banco de datos completo, bien organizado y sectorizado de los materiales que se extraen de las minas y que son utilizados para crear las diferentes capas de la estructura vial.

2.2 MARCO CONCEPTUAL:

2.2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

Un camino bien proyectado debe poseer armonía interna, por lo cual la estructura que conforma el pavimento flexible debe cumplir a cabalidad con las exigencias necesarias para que estas puedan soportar las solicitaciones externas y mantener adecuadamente el paso de los vehículos en todo momento, el diseño debe adoptar criterios de resistencia, seguridad y uniformidad en todas sus capas. (Merritt, 1995, pág. 162).

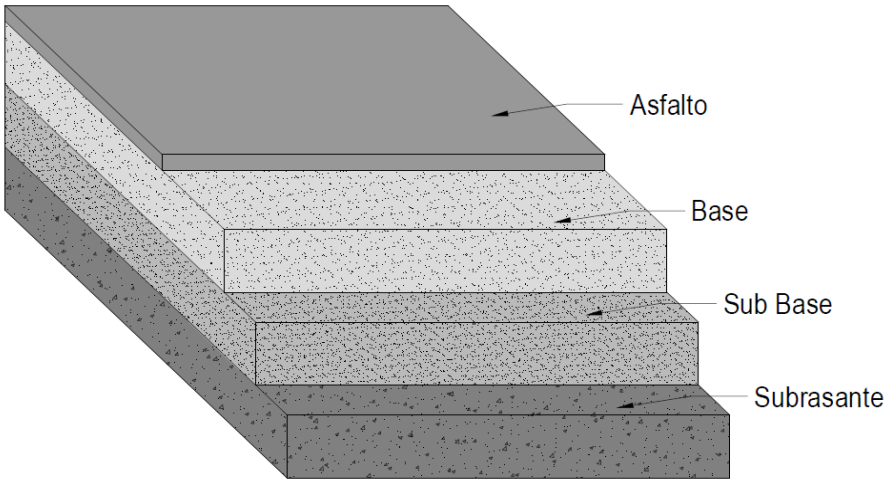


Figura I: Estructura de la vía.

Fuente: Alvarado, 2019.

2.2.2 SUB BASES:

Las capas que conforman la estructura del pavimento deben estar conformadas por ciertas limitaciones, en el caso de la sub base al ser una capa interna por encima de la sub rasante pero por debajo de la base, los agregados que la conformen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de la Máquina de los Ángeles, y la capacidad de soporte corresponderá a un C.B.R. igual o mayor del 30%. (MTOP, 2012, pág. 340). Cumplir estos parámetros permitirá que la capa desarrolle ciertas características positivas como impedir las infiltraciones de agua provenientes de las capas inferiores, o mejorar el drenaje del agua que descienda de la filtración originada por la lluvia, evitando el deterioro de la vía o comprometiendo su estructura física (Parra, 2018, pág. 7).

Estas sub bases son construidas por agregados que completan un proceso de triturado de roca o gravas, o a su vez pasan un proceso de cribado, existen 3 tipos diferenciadas únicamente por el porcentaje de material que conforma a cada una, es decir por su granulometría.

Tabla 1: Porcentaje retenido en tamices para Sub Base Clase 1.

Granulometría Sub Base Clase 1 - Límites Superiores e Inferiores			
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices	
		Límite Inferior	Límite Superior
3"	76.20	-	-
2"	50.40	-	-
1"	25.00	100.00	100.00
N.4	4.75	30.00	70.00
N.40	0.43	10.00	35.00
N.200	0.075	0.00	15.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 341)

Tabla 2: Porcentaje retenido en tamices para Sub Base Clase 2.

Granulometría Sub Base Clase 2 - Límites Superiores e Inferiores			
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices	
		Límite Inferior	Límite Superior
3"	76.20	-	-
2"	50.40	100.00	100.00
1"	25.00	70.00	100.00
N.4	4.75	30.00	70.00
N.40	0.43	15.00	40.00
N.200	0.075	0.00	20.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 341)

Tabla 3: Porcentaje retenido en tamices para Sub Base Clase 3.

Granulometría Sub Base Clase 3 - Límites Superiores e Inferiores			
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices	
		Límite Inferior	Límite Superior
3"	76.20	100.00	100.00
2"	50.40	-	-
1"	25.00	100.00	100.00
N.4	4.75	30.00	70.00
N.40	0.43	-	-
N.200	0.075	0.00	20.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 341)

2.2.3 BASES:

Para esta capa las limitaciones son más rigurosas, cumpliendo con un porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados menor que el 40% y un valor de soporte de C.B.R., el cual deberá ser mayor o igual al 80%, conformada por materiales limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas. (MTOP, 2012, pág. 372).

Todo esto debido a que la Base es la capa más inmediata que se encuentra por debajo de la superficie de rodadura o pavimento, encargada principalmente de

transferir los esfuerzos producidos por las cargas vehiculares hacia las capas inferiores, y contribuir con un adecuado drenaje de la vía. La base está diseñada con una configuración más detallada debido a que cobra vital importancia para la hegemonía de la vía y su duración. (Parra, 2018, pág. 11). Existen 4 tipos de bases diferenciadas por el porcentaje de material triturado que se emplea.

Tabla 4: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 1.

Granulometría Base Clase 1 - Limites Superiores e Inferiores					
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices			
		Tipo A		Tipo B	
		Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
2"	50.80	100.00	100.00	-	-
1 1/2"	38.10	70.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40	55.00	85.00	70.00	100.00
3/4"	19.00	50.00	80.00	60.00	90.00
3/8"	9.50	35.00	60.00	45.00	75.00
N.4	4.76	25.00	50.00	30.00	60.00
N.10	2.00	20.00	40.00	20.00	50.00
N.40	0.425	10.00	25.00	10.00	25.00
N.200	0.075	2.00	12.00	2.00	12.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 373)

Tabla 5: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 2.

Granulometría Base Clase 2 - Límites Superiores e Inferiores			
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices	
		Límite Inferior	Límite Superior
1"	25.40	100.00	100.00
3/4"	19.00	70.00	100.00
3/8"	9.50	50.00	80.00
N.4	4.76	35.00	65.00
N.10	2.00	25.00	50.00
N.40	0.425	15.00	30.00
N.200	0.075	3.00	15.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 374)

Tabla 6: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 3.

Granulometría Base Clase 3 - Límites Superiores e Inferiores			
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices	
		Límite Inferior	Límite Superior
3/4"	19.00	100.00	100.00
N.4	4.76	45.00	80.00
N.10	2.00	30.00	60.00
N.40	0.43	20.00	35.00
N.200	0.08	3.00	15.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 374)

Tabla 7: Porcentaje retenido en tamices para Base Clase 4.

Granulometría Base Clase 4 - Límites Superiores e Inferiores			
Tamiz	Abert. (mm)	% Que Pasa A Través De Los Tamices	
		Límite Inferior	Límite Superior
2"	50.80	100.00	100.00
1"	25.40	60.00	90.00
N.4	4.76	20.00	50.00
N.200	0.075	0.00	15.00

Fuente: (MTOP, 2012, pág. 374)

2.3 UBICACIÓN DE LA MINA:

La investigación se llevó a cabo producto de la extracción de agregados en una sola mina identificada en la provincia de Cotopaxi, el material proviene de una zona de alta explotación minera como lo es el cantón Mulaló, en la actualidad existen 17 áreas de explotación para materiales pétreos que son empleados para distintas funciones, sin embargo la principal es el área vial aledaña a esas comunidades y a la arteria principal que pasa por el borde del cantón, que es la troncal E35. Sin embargo la mina presentó un inconveniente al realizar diferentes tipos de muestras por días o por semanas, es decir solo se encuentra material proveniente

de la trituración de la roca y cribado de acuerdo a la demanda que se presente en la extracción del material. La mina cubre una superficie que se encuentra formada aproximadamente por cinco hectáreas mineras contiguas, cuyas coordenadas del punto de partida y los demás vértices referenciales al sistema de coordenadas UTM, en la zona geográfica 17, así como las distancias del polígono que la delimitan son las siguientes:

Tabla 8: Detalle de las coordenadas de ubicación Mina Mulaló.

COORDENADAS UBICACIÓN - MINA MULALÓ				
Puntos	**X**	**Y**	**Distancias (m)**	
P.P.	770.300	9.915.700	P.P. - 1	200
1	770.300	9.915.500	1 - 2	300
2	770.000	9.915.500	2 - 3	100
3	770.000	9.915.600	3 - 4	100
4	770.100	9.915.600	4 - 5	100
5	770.100	9.915.700	5 - P.P.	200

Fuente: Alvarado, 2019



Figura II: Vista en planta Mina Mulaló.

Fuente: Google Earth 2019. Editado por Alvarado, 2019

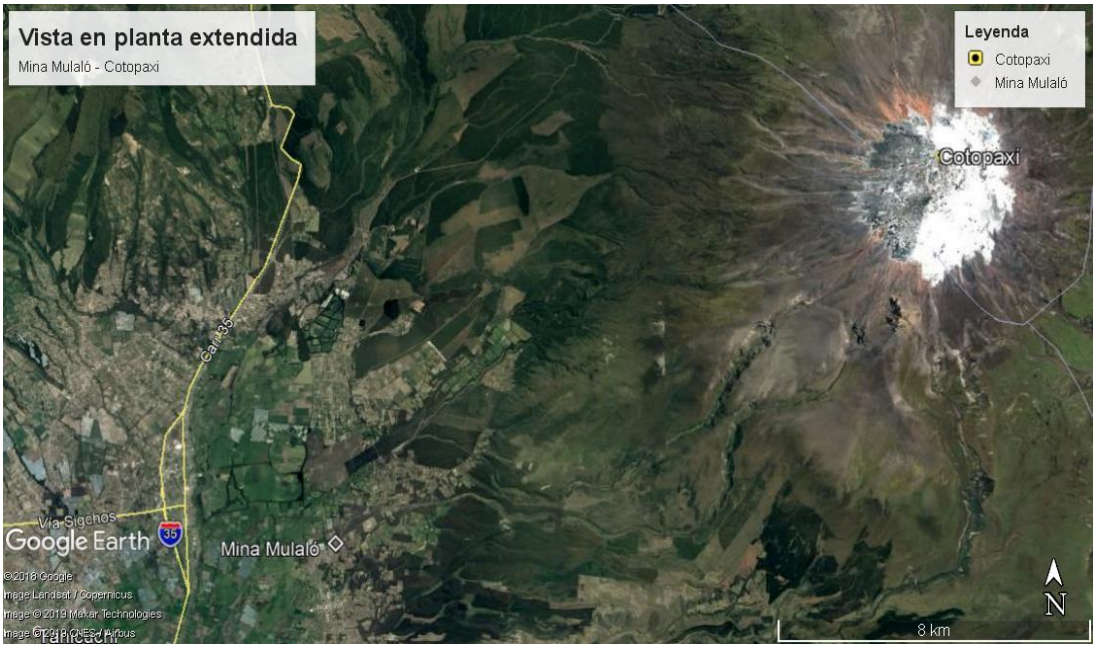


Figura III: Vista en planta extendida Mina Mulaló.

Fuente: Google Earth 2019. Editado por Alvarado, 2019.



Figura IV: Vista general Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

CAPÍTULO 3

3. ENSAYOS DE LABORATORIO:

3.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS (ASTM C-33):

Se realiza este ensayo principalmente para determinar la composición granulométrica de materiales propuestos para utilizarse como agregados, o a su vez que estén siendo utilizados como tal, los resultados que se obtienen se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de la partícula con los requisitos de las especificaciones aplicables. (ASTM C-136, 2014)

Es de esta forma que se comprobará que las diferentes sub bases y bases formadas con los agregados de la Mina cumplan con los limites propuestos anteriormente. La muestra representativa para el ensayo, así como todo el equipo y procedimiento a seguir se lo realizó bajo límites indicados en las normas (ASTM C-136, 2014), AASHTO T-27 y la INEN 696.

3.1.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:

Tabla 9: Granulometría agregado grueso Mina Mulaló.

Granulometría Agregado Grueso - Mina Mulaló					
Masa de la muestra a ensayarse (Kg): 15.76					
Tamiz	**Abert. (mm)**	**Peso Ret. (Kg)**	**% Ret. Parcial**	**%Ret. Acum.**	**% Pasa**
1 1/2''	38.10	0.28	1.78	1.78	98.22
1"	25.00	1.08	6.82	6.82	93.18
3/4"	19.00	5.66	35.88	42.70	57.30
1/2"	12,5	7.16	45.40	88.10	11.90
3/8"	9,5	1.19	7.52	95.62	4.38
4"	4,75	0.24	1.49	97.11	2.89

Fuente: Alvarado, 2019.

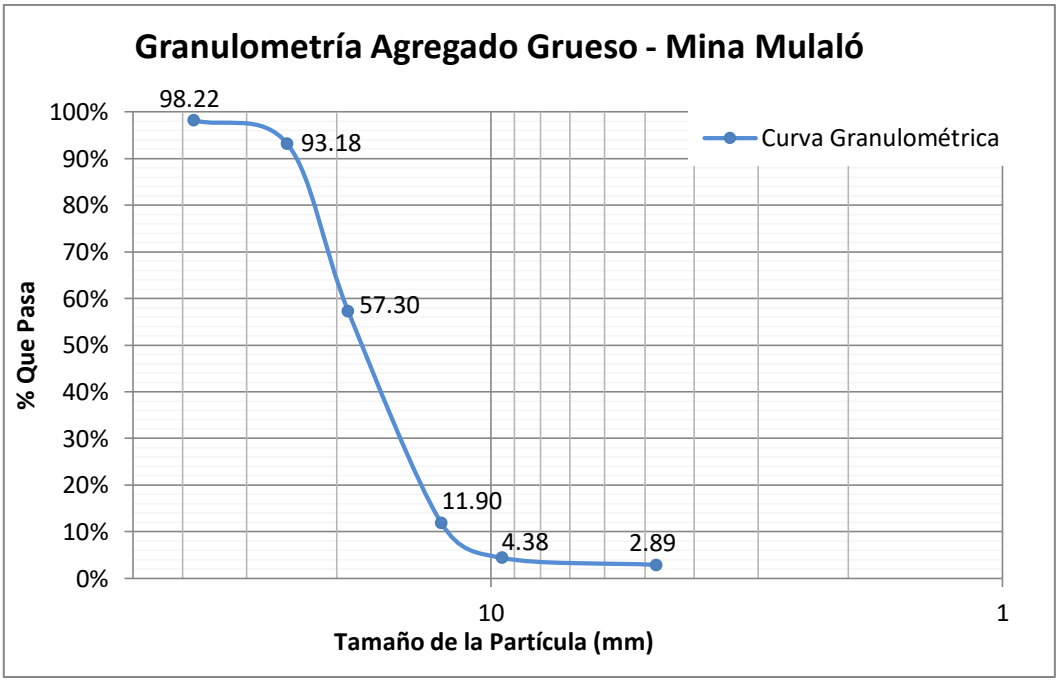


Figura V: Granulometría agregado grueso Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.1.2 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO MNA MULALÓ:

Tabla 10: Granulometría agregado fino Mina Mulaló.

Granulometría Agregado Fino - Mina Mulaló					
Masa de la muestra a ensayarse (gr): 1097.9					
Tamiz	**Abert. (mm)**	**Peso Ret. (gr)**	**% Ret. Parcial**	**%Ret. Acum.**	**% Pasa**
N.4	4.75	79.50	7.24	7.24	92.76
N.8	2.36	197.50	17.99	25.23	74.77
N.16	1.18	189.20	17.23	42.46	57.54
N.30	0.60	215.20	19.60	62.06	37.94
N.50	0.30	194.00	17.67	79.73	20.27
N.100	0.15	112.80	10.27	90.01	9.99
N.200	0.075	57.00	5.19	95.20	4.80

Fuente: Alvarado, 2019.

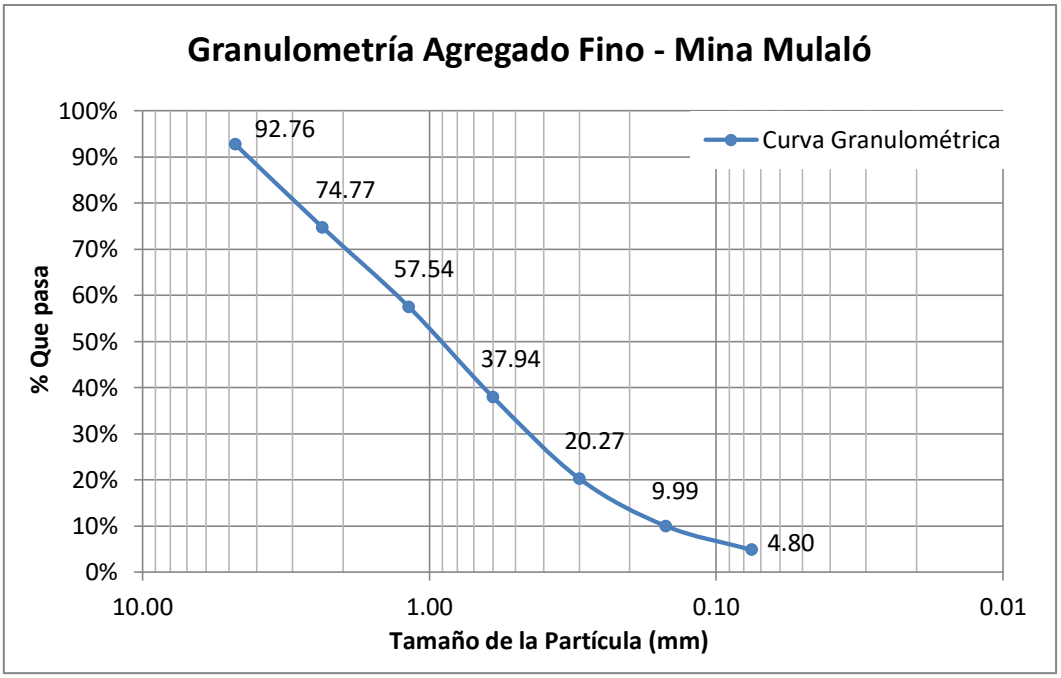


Figura VI: Granulometría agregado fino Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.2 GRANULOMETRÍA DE SUB BASES:

3.2.1 GRANULOMETRÍA SUB BASE 1 MINA MULALÓ:

Tabla 11: Granulometría sub base 1 Mina Mulaló.

Granulometría Sub Base Clase 1 - Mina Mulaló				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:			60	
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:			40	
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Sub Base Clase 1**	**Evaluación**
1"	25.00	100.00	100	Satisfactoria
3/4"	19.00	94.00	-	-
1/2"	12.50	72.00	-	-
3/8"	9.50	70.00	-	-
N.4	4.75	68.00	30 - 70	Satisfactoria
N.8	2.36	42.00	-	-
N.30	0.60	23.00	N.40	Satisfactoria
N.50	0.30	14.00	10 - 35	
N.100	0.15	7.40	-	-
N.200	0.075	3.80	0 - 15	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

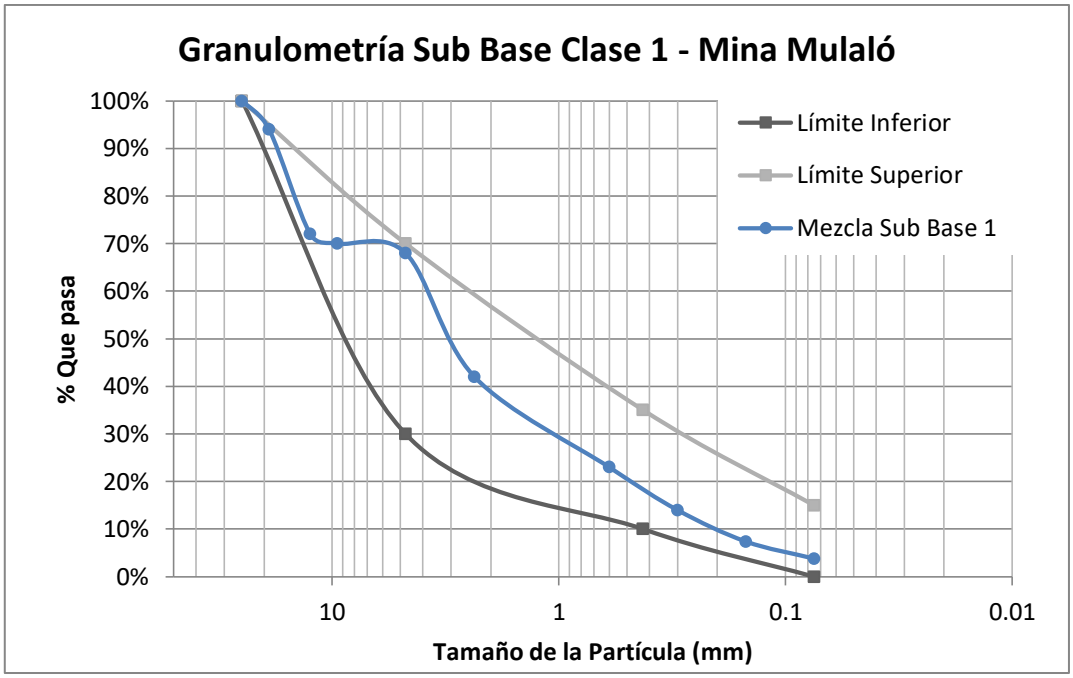


Figura VII: Granulometría sub base 1 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.2.2 GRANULOMETRÍA SUB BASE 2 MINA MULALÓ:

Tabla 12: Granulometría sub base 2 Mina Mulaló.

Granulometría Sub Base Clase 2 - Mina Mulaló				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:			60	
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:			40	
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Sub Base Clase 2**	**Evaluación**
1"	25.00	100.00	70 - 100	Satisfactoria
3/4"	19.00	94.00	-	-
1/2"	12.50	64.00	-	-
3/8"	9.50	63.20	-	-
N.4	4.75	62.40	30 - 70	Satisfactoria
N.8	2.36	42.00	-	-
N.30	0.60	23.00	N.40	Satisfactoria
N.50	0.30	14.00	15 - 40	
N.100	0.15	7.70	-	-
N.200	0.075	3.80	0 - 20	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

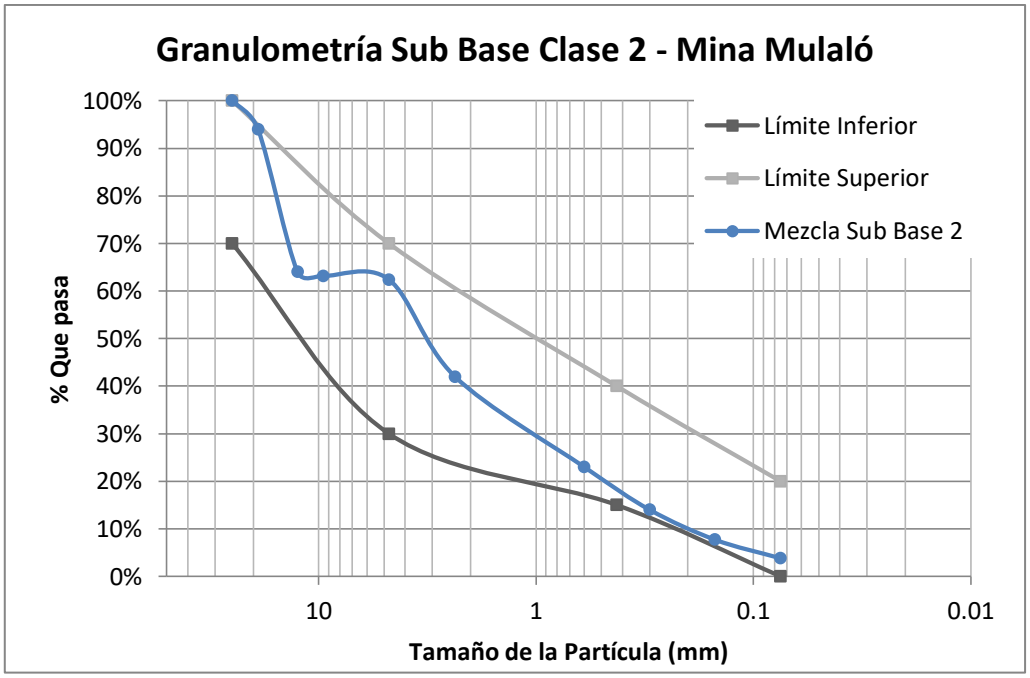


Figura VIII: Granulometría sub base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.2.3 GRANULOMETRÍA SUB BASE 3 MINA MULALÓ:

Tabla 13: Granulometría sub base 3 Mina Mulaló.

Granulometría Sub Base Clase 3 - Mina Mulaló				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:		60		
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:		40		
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Sub Base Clase 3**	**Evaluación**
1"	25.00	100.00	100	Satisfactoria
3/4"	19.00	94.00	-	-
1/2"	12.50	72.00	-	-
3/8"	9.50	70.00	-	-
N.4	4.75	68.00	30 - 70	Satisfactoria
N.8	2.36	42.00	-	-
N.30	0.60	23.00	-	-
N.50	0.30	14.00	-	-
N.100	0.15	7.70	-	-
N.200	0.075	3.80	0 - 20	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

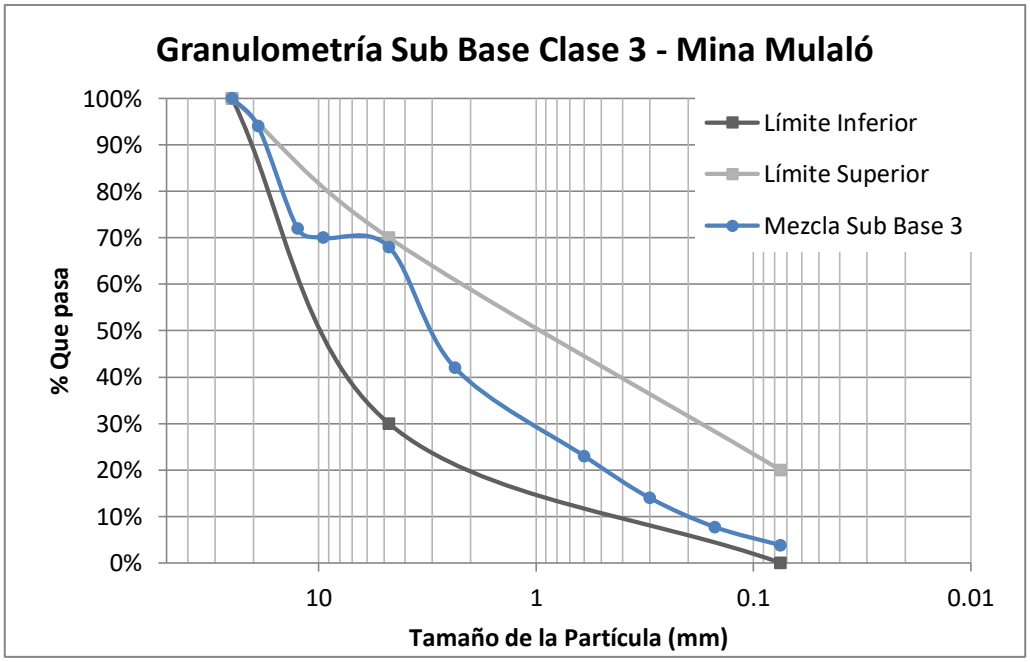


Figura IX: Granulometría sub base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.3 GRANULOMETRÍA DE BASES:

3.3.1 GRANULOMETRÍA BASE 1 TIPO B MINA MULALÓ:

Tabla 14: Granulometría base 1 tipo B Mina Mulaló.

Granulometría Base Clase 1 Tipo B - Mina Mulaló				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:			55	
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:			45	
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Base Clase 1 Tipo B**	**Evaluación**
1 1/2"	38.10	100.00	100	Satisfactoria
1"	25.00	100.00	70 - 100	Satisfactoria
3/4"	19.00	88.75	60 - 90	Satisfactoria
1/2"	12.50	57.25	-	-
3/8"	9.50	56.80	45 - 75	Satisfactoria
N.4	4.75	56.35	30 - 60	Satisfactoria
N.8	2.36	38.50	20 - 50	Satisfactoria
N.30	0.60	21.50	N.40	Satisfactoria
N.50	0.30	13.25	10 - 25	
N.100	0.15	7.48	-	-
N.200	0.075	3.90	2 - 12	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

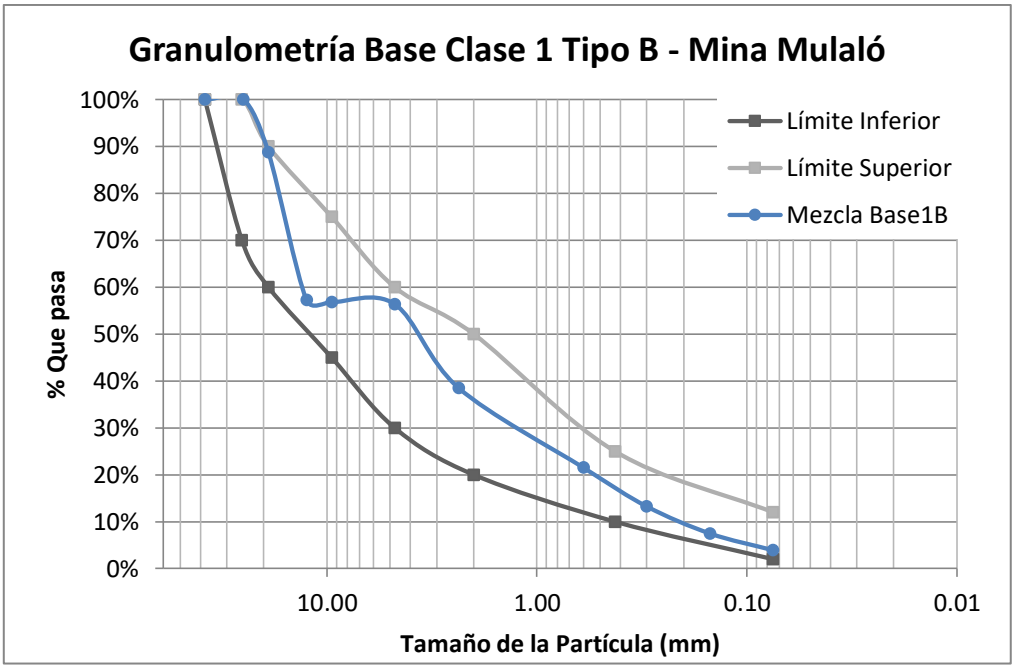


Figura X: Granulometría base 1 tipo B Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.3.2 GRANULOMETRÍA BASE 2 MINA MULALÓ:

Tabla 15: Granulometría base 2 Mina Mulaló.

Granulometría Base Clase 2 - Mina Mulaló				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:		60		
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:		40		
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Base Clase 2**	**Evaluación**
1"	25.00	100.00	100	Satisfactoria
3/4"	19.00	98.00	70 - 100	Satisfactoria
1/2"	12.50	62.00	-	-
3/8"	9.50	61.60	50 - 80	Satisfactoria
N.4	4.75	61.20	35 - 65	Satisfactoria
N.8	2.36	42.00	25 - 50	Satisfactoria
N.30	0.60	23.00	N.40	Satisfactoria
N.50	0.30	14.00	15 - 30	
N.100	0.15	7.70	-	-
N.200	0.075	3.80	3 - 15	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

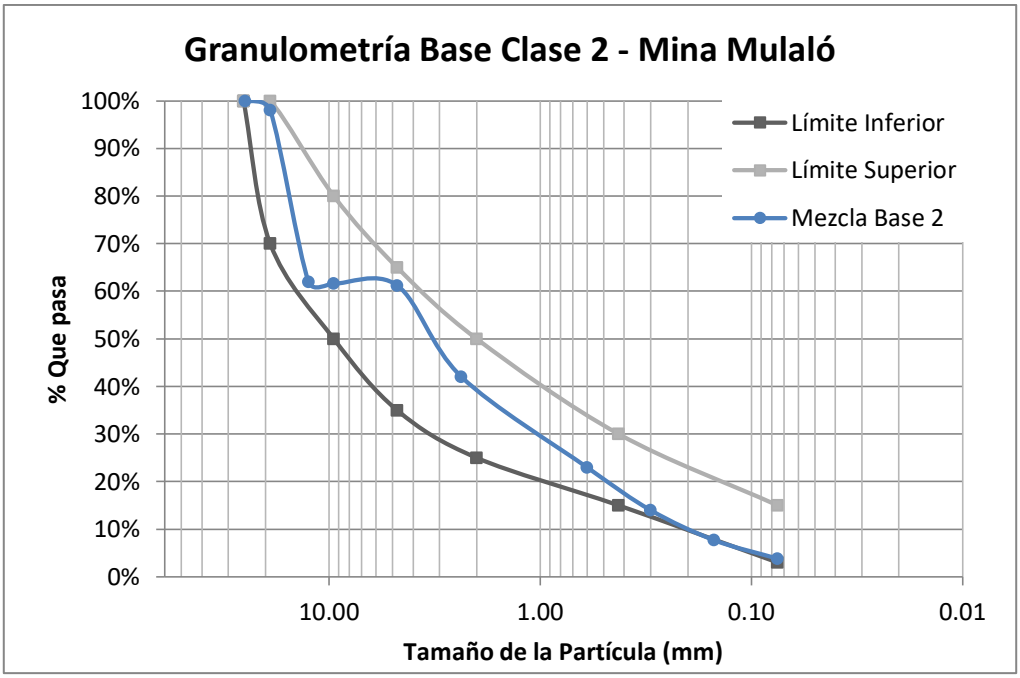


Figura XI: Granulometría base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.3.3 GRANULOMETRÍA BASE 3 MINA MULALÓ:

Tabla 16: Granulometría base 3 Mina Mulaló.

Granulometría Base Clase 3 - Mina Mulaló				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:			70	
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:			30	
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Base Clase 3**	**Evaluación**
3/4"	19.00	100.00	100	Satisfactoria
1/2"	12.50	84.40	-	-
3/8"	9.50	83.50	-	-
N.4	4.75	78.40	45 - 80	Satisfactoria
N.8	2.36	49.00	30 - 60	Satisfactoria
N.30	0.60	26.00	N.40	Satisfactoria
N.50	0.30	16.90	20 - 35	
N.100	0.15	9.90	-	-
N.200	0.075	4.30	3 - 15	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

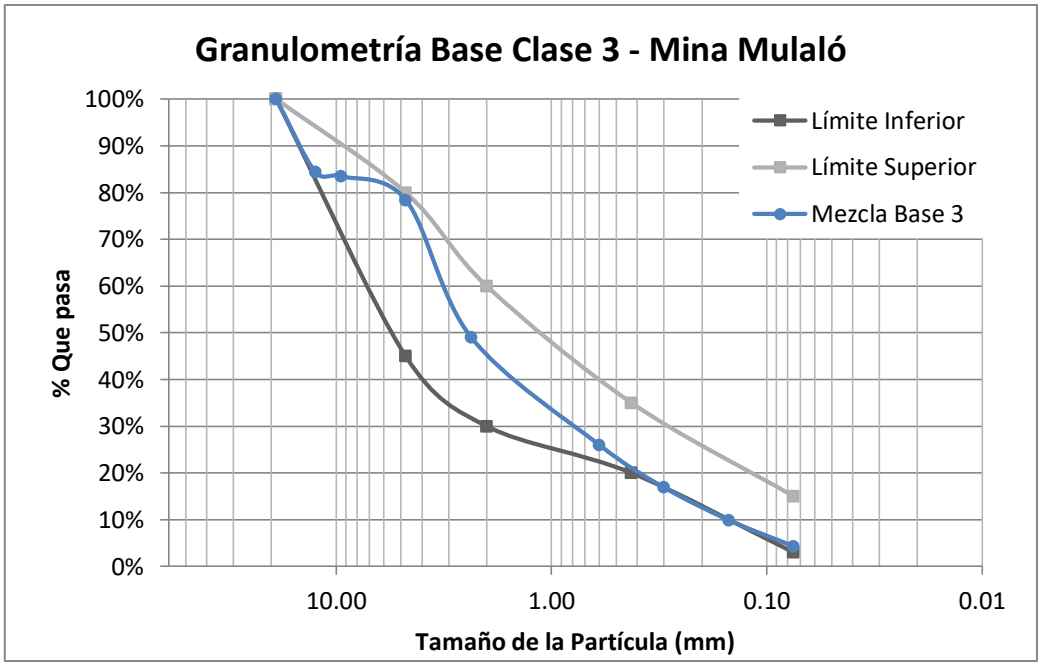


Figura XII: Granulometría base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.3.4 GRANULOMETRÍA BASE 4 MINA MULALÓ:

Tabla 17: Granulometría base 4 Mina Mulaló.

Granulometría Base Clase 4 - Límites Superiores e Inferiores				
% Agregado Fino Que Conforma La Muestra:		45		
% Agregado Grueso Que Conforma La Muestra:		55		
Tamiz	**Abert. (mm)**	**% Pasa**	**Base Clase 4**	**Evaluación**
2"	50.80	100.00	100	Satisfactoria
1"	25.00	90.00	60 - 90	Satisfactoria
3/4"	19.00	82.40	-	-
1/2"	12.50	47.20	-	-
3/8"	9.50	46.65	-	-
N.4	4.75	46.10	20 - 50	Satisfactoria
N.8	2.36	31.50	-	-
N.30	0.60	16.25	-	-
N.50	0.30	10.85	-	-
N.100	0.15	6.80	-	-
N.200	0.075	4.33	0 - 15	Satisfactoria

Fuente: Alvarado, 2019.

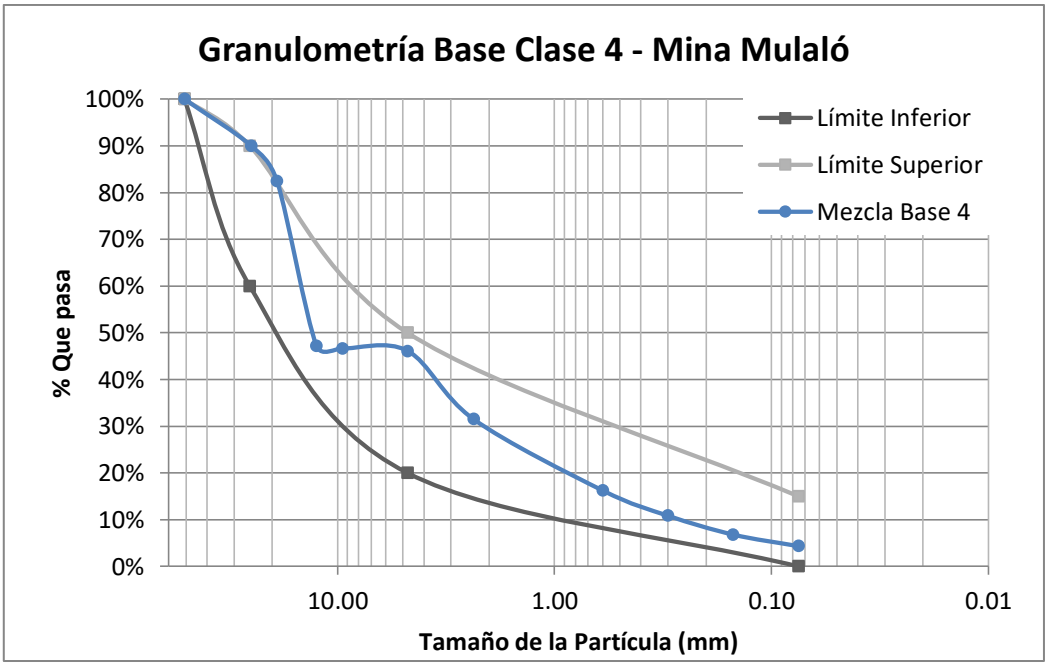


Figura XIII: Granulometría base clase 4 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS (ASTM C-566):

La importancia de este ensayo radica en determinar el porcentaje de humedad en una muestra de agregado mediante el secado tanto de la humedad superficial como de la humedad en los poros del agregado, este porcentaje también dependerá de la estación de tiempo en la que se encuentre el procedimiento de extracción de los agregados, debido a que en invierno será un porcentaje totalmente distinto que al de verano. El agregado extraído no presenta partículas superiores a las dos pulgadas, por lo que el tiempo de secado en el horno fue de 24 horas según lo estipula la norma. (ASTM C-566, 2019)

El procedimiento se lo realizo cumpliendo las normas y parámetros de la (ASTM C-566, 2019), AASHTO T-55 y la INEN 862.

3.4.1 HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:

Tabla 18: Contenido de humedad del agregado grueso Mina Mulaló.

Contenido De Humedad Agregado Grueso - Mina Mulaló				
No. Muestra	**Masa Suelo Húmedo (gr)**	**Masa Suelo Seco (gr)**	**Masa Agua Contenida (gr)**	**% Humedad**
1	2180	2150	30	1.38
2	2100	2078	22	1.05
			Promedio:	**1.21**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.4.2 HUMEDAD DEL AGREGADO FINO MINA MULALÓ:

Tabla 19: Contenido de humedad del agregado fino Mina Mulaló.

Contenido De Humedad Agregado Fino - Mina Mulaló				
No. Muestra	**Masa Suelo Húmedo (gr)**	**Masa Suelo Seco (gr)**	**Masa Agua Contenida (gr)**	**% Humedad**
1	745	685	60	8.05
2	740	679	61	8.24
			Promedio:	**8.15**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.5 EQUIVALENTE DE ARENA MINA MULALÓ (AASHTO T-176):

El ensayo se lo realiza únicamente en el agregado fino y tiene como objetivo determinar un porcentaje relativo acerca del contenido de material arcilloso perjudicial que puede contener el agregado.

Este ensayo no posee una norma ASTM por lo que el procedimiento se lo lleva acabo con la ayuda de la AASHTO T-176.

Tabla 20: Equivalente de arena Mina Mulaló.

Equivalente de Arena - Mina Mulaló				
Material	**No. Ensayo**	**H1**	**H2**	**% Equivalente de Arena**
Fino	1	5.05	2.9	57.43
	2	5.1	2.8	54.90
			Promedio:	**56.16**

Fuente: Alvarado, 2019

3.6 ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C-131):

Este ensayo es ampliamente utilizado como un indicador de calidad relativa con el objetivo de establecer si el agregado tiene una resistencia recomendada y que tan perceptible es a sufrir desgastes de cualquier tipo. Se realizó siguiendo el procedimiento detallado en (ASTM C-131, 2014), AASHTO T-96 y la INEN 860 Y 861.

Tabla 21: Abrasión en la máquina de los Ángeles Mina Mulaló.

Ensayo de Abrasión en la Máquina de los Ángeles					
Tipo B: 1/2" + 3/8"					
Material	**No. Esferas**	**Masa inicial (gr)**	**Masa Ret. N.12 (gr)**	**Masa Restante**	**% Desgaste**
1/2" 3/8"	11	2505 2510	3450	1565	**31.21**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.7 MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 200 (ASTM C-117):

Este procedimiento aplica únicamente al agregado fino extraído y sirve para determinar la cantidad de material más fino que pase el tamiz de malla 200, estas partículas mediante lavado serán removidas de la muestra. El procedimiento fue realizado con la normativa (ASTM C-117, 2017).

Tabla 22: Material fino que pasa el tamiz 200 Mina Mulaló.

Material Fino Que Pasa el Tamiz 200				
Material	**Masa inicial (gr)**	**Masa Ret. (gr)**	**Masa pasa. (gr)**	**% Tamiz 200**
Fino	1151.1	1034.5	116.6	**10.13**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.8 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS MINA MULALÓ (ASTM C-29):

El método de ensayo está referido a la determinación de la densidad en masa de los agregados en condición compactada o suelta. (ASTM C-29, 2017)

3.8.1 PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:

Tabla 23: Peso unitario agregado grueso Mina Mulaló.

Peso Unitario Agregado Grueso - Mina Mulaló					
Material	**Vol. Recipiente (m3)**	**Masa Recipiente (Kg)**	**M. Recip. + Masa Mat. (Kg)**	**Masa Mat. (Kg)**	**Peso Unitario (Kg/m3)**
Compactado	0.006878	3.814	13.575	9.761	**1419.16**
Suelto	0.006878	3.814	12.485	8.671	**1260.69**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.8.2 PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO MINA MULALÓ:

Tabla 24: Peso unitario agregado fino Mina Mulaló.

Peso Unitario Agregado Fino - Mina Mulaló					
Material	**Vol. Recipiente (m3)**	**Masa Recipiente (Kg)**	**M. Recip. + Masa Mat. (Kg)**	**Masa Mat. (Kg)**	**Peso Unitario (Kg/m3)**
Compactado	0.002735	1.625	5.69	4.065	**1486.29**
Suelto	0.002735	1.625	5.02	3.395	**1241.32**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.9 TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS MINA MULALÓ (ASTM C-142):

Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de partículas arcillosas que posee tanto el agregado grueso como el fino, todo este procedimiento se lo realizó bajo los estándares de la (ASTM C-142, 2017), AASHTOT-112 y la INEN 698.

3.9.1 TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO GRUEO MINA MULALÓ:

Tabla 25: Terrones de arcilla agregado fino Mina Mulaló.

Terrones de Arcilla Agregado Grueso - Mina Mulaló			
Tamiz	**Masa Inicial (Kg)**	**Masa Final (Kg)**	**% Terrones Arcilla**
4"	1	0.998	**0.20**
1/2"	1.005	1	**0.50**
3/8"	1	1	**0**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.9.2 TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO FINO MINA MULALÓ:

Tabla 26: Terrones de arcilla agregado grueso Mina Mulaló.

Terrones de Arcilla Agregado Fino - Mina Mulaló			
Tamiz	**Masa Inicial (gr)**	**Masa Final (gr)**	**% Terrones Arcilla**
Ret. No.16	110	109.8	**0.18**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.10 GRAVEDAD ESPECÍFICA EN LOS AGREGADOS (ASTM C-127 Y C-128):

Este método de ensayo cubre la determinación de algunas variables como lo son la gravedad específica del agregado que se ensayó y el porcentaje de absorción de agua que posee el material, referenciado por las normas (ASTM C-127, 2015), (ASTM C-128, 2015), AASHTO T-85 y T-84 y la INEN 856 Y 857.

3.10.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA EN EL AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:

Tabla 27: Gravedad específica agregado grueso Mina Mulaló.

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso - Mina Mulaló							
Material	**A**	**B**	**C**	**Ge**	**Ges**	**Gea**	**% Abs**
Grueso	6030	6215	3375	2.12	2.19	2.27	**3.07**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.10.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA EN EL AGREGADO FINO MINA MULALÓ:

Tabla 28: Gravedad específica agregado fino Mina Mulaló.

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino - Mina Mulaló							
Material	**Masa del Matraz (gr)**	**Matraz + Agua + Muestra (gr)**	**Masa SSS (gr)**	**Muestra Seca (gr)**	**Masa Agua Extra (gr)**	**Gravedad Específica Bulk (Kg/dm3)**	**% Abs**
Grueso	154.8	946.4	500.1	475.4	291.5	2.28	**5.20**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.11 DESGASTE DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DEL SULFATO (ASTM C-88):

El objetivo es cubrir una prueba a los agregados para estimar su solidez cuando se somete a la acción de la intemperie al material, esto se puede lograr mediante la inmersión repetida en solución saturada de sulfato de sodio seguido de secado en horno.

Este ensayo proporciona información de relevancia para juzgar la solidez de los agregados, sobre todo cuando no existe una información previa o registro, el procedimiento cumplió las normas (ASTM C-88, 2018), AASHTO T-104 y la INEN 863.

3.11.1 DESGASTE A LOS SULFATOS AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:

Tabla 29: Desgaste a los sulfatos agregado grueso Mina Mulaló.

Durabilidad Del Agregado Grueso A Los Sulfatos - Mina Mulaló					
Tamiz que retiene	**Masa Inicial (gr)**	**Masa Final (gr)**	**% Ret. Parcial**	**% Que pasa**	**% Desgaste**
3/4	500.5	492.3	27.77	1.64	0.45
1/2	670.7	622.1	37.21	7.25	2.70
3/8	330.9	297.4	18.36	10.12	1.86
4	300.4	279	16.67	7.12	1.19
Total	1802.5				**6.20**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.11.2 DESGASTE A LOS SULFATOS AGREGADO FINO MINA MULALÓ:

Tabla 30: Desgaste a los sulfatos agregado fino Mina Mulaló.

Durabilidad Del Agregado Fino A Los Sulfatos - Mina Mulaló					
Tamiz que retiene	**Masa Inicial (gr)**	**Masa Final (gr)**	**% Ret. Parcial**	**% Que pasa**	**% Desgaste**
3/8	100.1	94.1	19.93	5.99	1.19
4	100.5	93.1	20.01	7.36	1.47
8	100.9	91.9	20.09	8.92	1.79
16	100.5	92.2	20.01	8.26	1.65
30	100.2	93.1	19.95	7.09	1.41
Total	502.2				**7.53**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.12 DELETÉREOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-123):

El propósito de este ensayo es encontrar un porcentaje, en el agregado que se ensaye, de partículas ligeras debido a que el agregado ligero en particular se considera peligroso para la durabilidad del material, la norma es utilizada para líquidos con una gravedad específica de aproximadamente 2,0 (ASTM C-123,

2014). Se decidió realizar el ensayo debido a que mientras se realizaba el desgaste frente a la acción de sulfatos, se encontraron dichas partículas.

3.12.1 DELETÉREOS AGREGADO GRUESO MINA MULALÓ:

Tabla 31: Deletéreos agregado grueso Mina Mulaló.

Deletéreos Agregado Grueso - Mina Mulaló			
Tamiz que retiene	**Masa Inicial (gr)**	**Masa Part. Suspendidas (gr)**	**% Deletéreos**
1/2	1500	0.8	0.05
3/8	1500	1.2	0.08
		Total	**0.13**

Fuente: Alvarado, 2019.

3.12.2 DELETÉREOS AGREGADO FINO MINA MULALÓ:

Tabla 32: Deletéreos agregado fino Mina Mulaló.

Deletéreos Agregado Fino - Mina Mulaló			
Tamiz que pasa	**Masa Inicial (gr)**	**Masa Part. Suspendidas (gr)**	**% Deletéreos**
N.50	200.7	1.7	0.85
		Total	**0.85**

Fuente: Alvarado, 2019.

CAPÍTULO 4

4. CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO):

4.1 PROCTOR MODIFICADO:

Para realizar el ensayo de C.B.R (California Bearing Ratio), se debe obtener la humedad óptima y densidad seca máxima del material mediante el Proctor modificado, elaborando fundas de cada material de 5,5 Kg cada una y someterlas al ensayo bajo diferentes porcentajes de humedad, que fueron 6%, 8%, 10% y 12%, después realizar la compactación de 56 golpes en 5 capas respectivamente para obtener una curva tipo de cada sub base y base de la Mina (ASTM D-1557, 2012).

4.1.1 PROCTOR MODIFICADO SUB BASE 1 MINA MULALÓ:

Tabla 33: Proctor modificado sub base 1 Mina Mulaló.

Proctor Modificado Sub Base 1 - Mina Mulaló								
Método: C				**Número Capas:** 5				
Peso Martillo (N): 44.48				**N. Golpes Por Capa:** 56				
N. Molde: 2				**Altura Caída Del Martillo (mm):** 457.2				
Vol. Molde (cm3): 2112				**Peso Del Molde:** 7644				
Prueba No:	1		2		3		4	
Peso mol. + S. húmedo (gr)	11955		12112		12190		12200	
Peso molde (gr)	7644		7644		7644		7644	
Peso suelo húmedo (gr)	4311		4468		4546		4556	
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.041		2.116		2.152		2.157	
Identificación de la cápsula	**2B**	**11**	**CG8**	**MS40**	**4**	**MS37**	**MS15**	**MS28**
Peso cápsula (gr)	23.08	22.74	50.53	32.63	32.75	33.41	33.21	33.21
Peso cap. + S. húmedo (gr)	210.26	168.46	163.20	161.95	174.24	182.71	186.92	195.32
Peso cap. + S. seco (gr)	199.19	160.10	154.50	152.19	161.16	168.98	170.05	178.08
Contenido de humedad (%)	6.29	6.09	8.37	8.16	10.19	10.13	12.33	11.90
Humedad Promedio (%)	6.19		8.27		10.16		12.11	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.922		1.954		1.954		1.924	

Fuente: Alvarado, 2019.

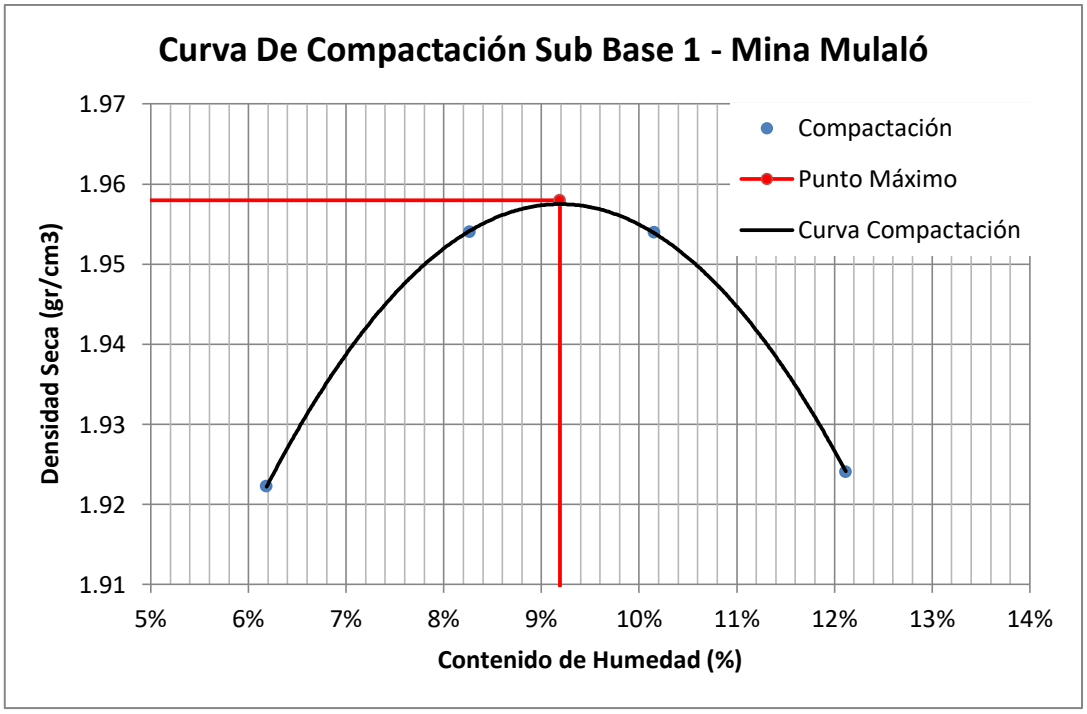


Figura XIV: Curva de compactación sub base 1 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 34: Humedad óptima sub base 1 Mina Mulaló.

Punto Máximo Sub Base 1 - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	9.19
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.958

Fuente: Alvarado, 2019.

4.1.2 PROCTOR MODIFICADO SUB BASE 2 MINA MULALÓ:

Tabla 35: Proctor modificado sub base 2 Mina Mulaló.

Proctor Modificado Sub Base 2 - Mina Mulaló				
Método:	C		**Número Capas:**	5
Peso Martillo (N):	44.48		**N. Golpes Por Capa:**	56
N. Molde:	2		**Altura Caída Del Martillo (mm):**	457.2
Vol. Molde (cm3):	2112		**Peso Del Molde:**	7644
Prueba No:	1	2	3	4
Peso mol. + S. húmedo (gr)	12021	12261	12309	12162
Peso molde (gr)	7644	7644	7644	7644

Peso suelo húmedo (gr)	4377		4617		4665		4518	
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.072		2.186		2.209		2.139	
Identificación de la cápsula	**CG7**	**CG5**	**CG14**	**CG22**	**MS41**	**CG6**	**CG18**	**MS22**
Peso cápsula (gr)	48.76	49.65	50.43	49.70	32.68	32.85	32.64	33.76
Peso cap. + S. húmedo (gr)	150.72	183.55	161.60	174.50	212.49	167.02	209.20	207.70
Peso cap. + S. seco (gr)	144.75	175.70	153.01	165.12	195.60	154.21	190.05	188.24
Contenido de humedad (%)	6.22	6.23	8.37	8.13	10.37	10.56	12.17	12.60
Humedad Promedio (%)	6.22		8.25		10.46		12.38	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.951		2.019		2.000		1.904	

Fuente: Alvarado, 2019.

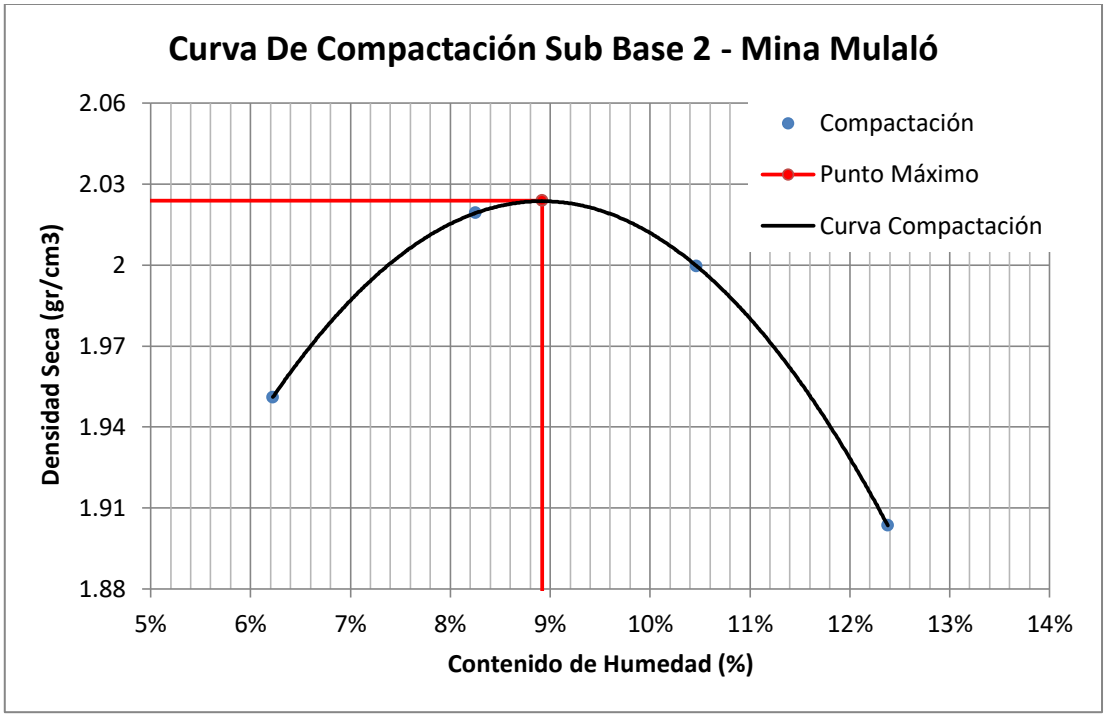


Figura XV: Curva de compactación sub base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 36: Humedad óptima sub base 2 Mina Mulaló.

Punto Máximo Sub Base 2 - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	8.92
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.024

Fuente: Alvarado, 2019.

4.1.3 PROCTOR MODIFICADO SUB BASE 3 MINA MULALÓ:

Tabla 37: Proctor modificado sub base 3 Mina Mulaló.

Proctor Modificado Sub Base 3 - Mina Mulaló								
Peso Martillo (N):	44.48			**N. Golpes Por Capa:**	56			
N. Molde:	2			**Altura Caída Del Martillo (mm):**	457.2			
Vol. Molde (cm3):	2112			**Peso Del Molde:**	7644			
Peso mol. + S. húmedo (gr)	11903		12110		12195		12022	
Peso molde (gr)	7644		7644		7644		7644	
Peso suelo húmedo (gr)	4259		4466		4551		4378	
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.017		2.115		2.155		2.073	
Identificación de la cápsula	**MS18**	**11**	**MS05**	**L27**	**MS26**	**MS211**	**MS08**	**CG15**
Peso cápsula (gr)	32.52	49.33	33.01	22.62	32.99	22.58	33.41	32.50
Peso cap. + S. húmedo (gr)	186.78	169.00	159.28	162.74	160.91	149.00	144.37	156.11
Peso cap. + S. seco (gr)	177.91	160.88	149.44	152.34	149.15	137.25	131.95	142.28
Contenido de humedad (%)	6.10	7.28	8.45	8.02	10.12	10.25	12.60	12.60
Humedad Promedio (%)	6.69		8.23		10.19		12.60	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.890		1.954		1.956		1.841	

Fuente: Alvarado, 2019.

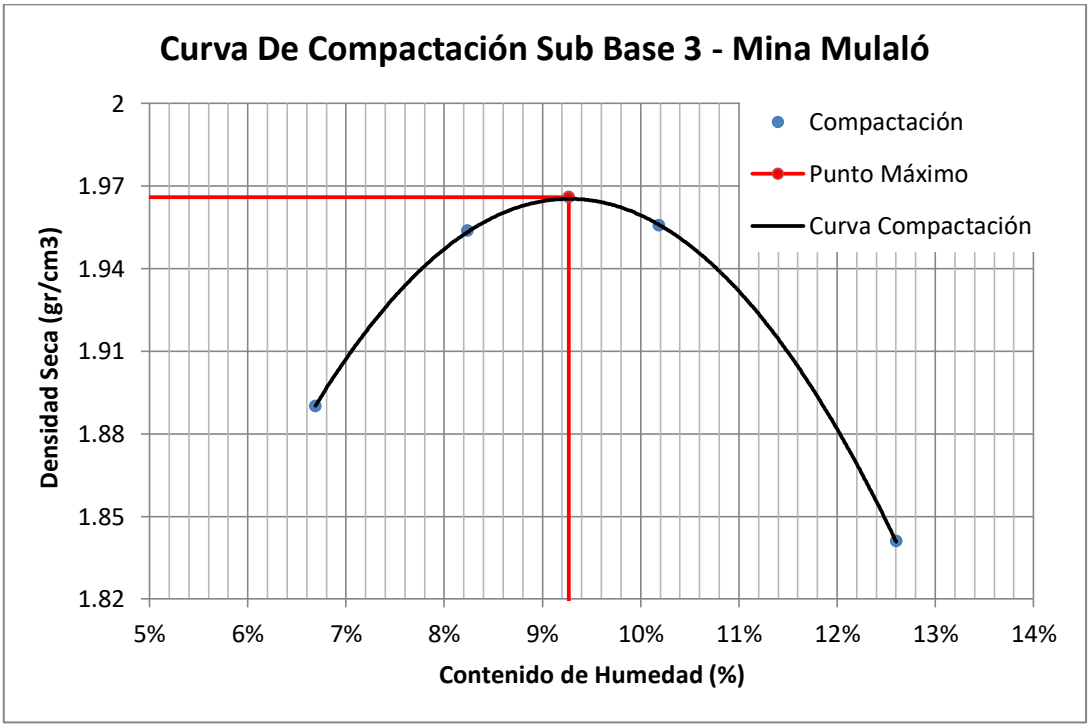


Figura XVI: Curva de compactación sub base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 38: Humedad óptima sub base 3 Mina Mulaló.

Punto Máximo Sub Base 3 - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	9.27
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.966

Fuente: Alvarado, 2019.

4.1.4 PROCTOR MODIFICADO BASE 1 TIPO B MINA MULALÓ:

Tabla 39: Proctor modificado base 1 tipo B Mina Mulaló.

Proctor Modificado Base 1 Tipo B - Mina Mulaló								
Método: C				**Número Capas:** 5				
Peso Martillo (N): 44.48				**N. Golpes Por Capa:** 56				
N. Molde: 2				**Altura Caída Del Martillo (mm):** 457.2				
Vol. Molde (cm3): 2112				**Peso Del Molde:** 7644				
Prueba No:	1		2		3		4	
Peso mol. + S. húmedo (gr)	11970		12177		12230		12020	
Peso molde (gr)	7644		7644		7644		7644	
Peso suelo húmedo (gr)	4326		4533		4586		4376	
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.048		2.146		2.171		2.072	
Identificación de la cápsula	**MS03**	**17**	**CG6**	**N4**	**PU2**	**PU4**	**CG18**	**CG6**
Peso cápsula (gr)	32.42	21.66	49.94	22.73	22.66	22.90	32.67	32.85
Peso cap. + S. húmedo (gr)	140.18	131.44	172.40	150.12	137.91	131.73	136.45	143.82
Peso cap. + S. seco (gr)	133.93	125.11	163.24	140.40	126.72	122.04	125.21	131.98
Contenido de humedad (%)	6.16	6.12	8.08	8.26	10.75	9.77	12.15	11.94
Humedad Promedio (%)	6.14		8.17		10.26		12.05	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.930		1.984		1.969		1.849	

Fuente: Alvarado, 2019.

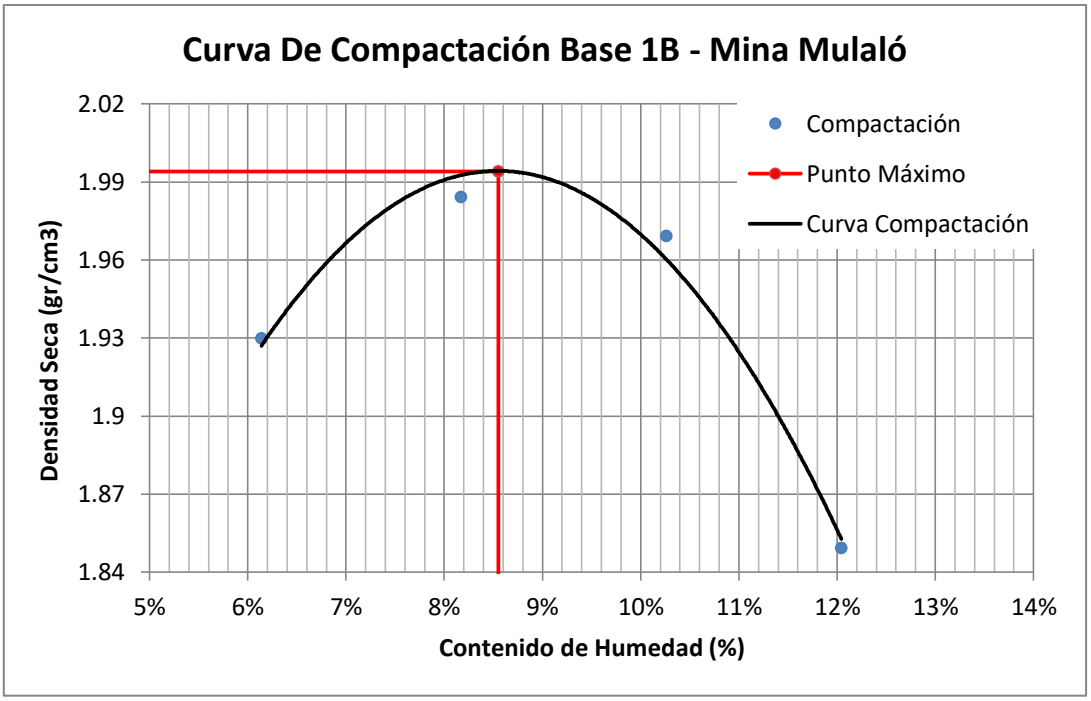


Figura XVII: Curva de compactación base 1B Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 40: Humedad óptima base 1B Mina Mulaló.

Punto Máximo Base 1B - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	8.55
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.994

Fuente: Alvarado, 2019.

4.1.5 PROCTOR MODIFICADO BASE 2 MINA MULALÓ:

Tabla 41: Proctor modificado base 2 Mina Mulaló.

Proctor Modificado Base 2 - Mina Mulaló				
Método:	C		**Número Capas:**	5
Peso Martillo (N):	44.48		**N. Golpes Por Capa:**	56
N. Molde:	2		**Altura Caída Del Martillo (mm):**	457.2
Vol. Molde (cm3):	2112		**Peso Del Molde:**	7644
Prueba No:	1	2	3	4
Peso mol. + S. húmedo (gr)	11791	12110	12201	12005
Peso molde (gr)	7644	7644	7644	7644

Peso suelo húmedo (gr)	4147		4466		4557		4361	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.964		2.115		2.158		2.065	
Identificación de la cápsula	**OO3**	**C6237**	**11**	**MS04**	**CG5**	**18**	**4**	**16**
Peso cápsula (gr)	33.39	31.87	22.72	32.17	49.67	22.75	32.65	22.34
Peso cap. + S. húmedo (gr)	142.81	178.52	165.93	164.33	156.98	128.88	164.49	125.18
Peso cap. + S. seco (gr)	136.01	170.30	156.23	153.51	147.62	118.40	150.16	113.68
Contenido de humedad (%)	6.63	5.94	7.27	8.92	9.56	10.96	12.19	12.59
Humedad Promedio (%)	6.28		8.09		10.26		12.39	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.847		1.956		1.957		1.837	

Fuente: Alvarado, 2019.

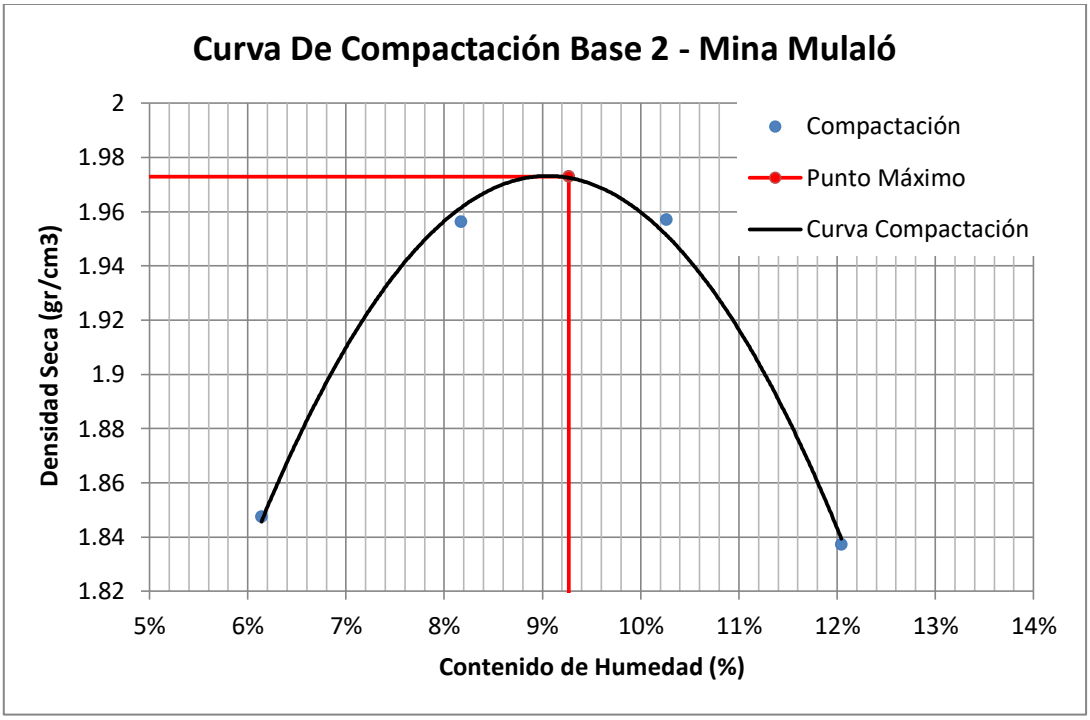


Figura XVIII: Curva de compactación base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 42: Humedad óptima base 2 Mina Mulaló.

Punto Máximo Base 2 - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	9.27
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.973

Fuente: Alvarado, 2019.

4.1.6 PROCTOR MODIFICADO BASE 3 MINA MULALÓ:

Tabla 43: Proctor modificado base 3 Mina Mulaló.

Proctor Modificado Base 3 - Mina Mulaló								
Peso Martillo (N):	44.48			**N. Golpes Por Capa:**	56			
N. Molde:	2			**Altura Caída Del Martillo (mm):**	457.2			
Vol. Molde (cm3):	2112			**Peso Del Molde:**	7644			
Peso mol. + S. húmedo (gr)	11687		11864		11975		11705	
Peso molde (gr)	7644		7644		7644		7644	
Peso suelo húmedo (gr)	4043		4220		4331		4061	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.914		1.998		2.051		1.923	
Identificación de la cápsula	**MS09**	**MS23**	**MS28**	**CG7**	**CG14**	**18**	**2B**	**28ZA**
Peso cápsula (gr)	33.75	34.13	33.17	48.74	50.47	22.87	23.08	49.98
Peso cap. + S. húmedo (gr)	145.48	164.62	181.50	199.56	139.19	111.00	135.25	138.72
Peso cap. + S. seco (gr)	138.24	156.81	170.47	188.43	130.71	102.67	122.45	129.31
Contenido de humedad (%)	6.93	6.37	8.03	7.97	10.57	10.44	12.88	11.86
Humedad Promedio (%)	6.65		8.00		10.50		12.37	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.795		1.850		1.856		1.711	

Fuente: Alvarado, 2019.

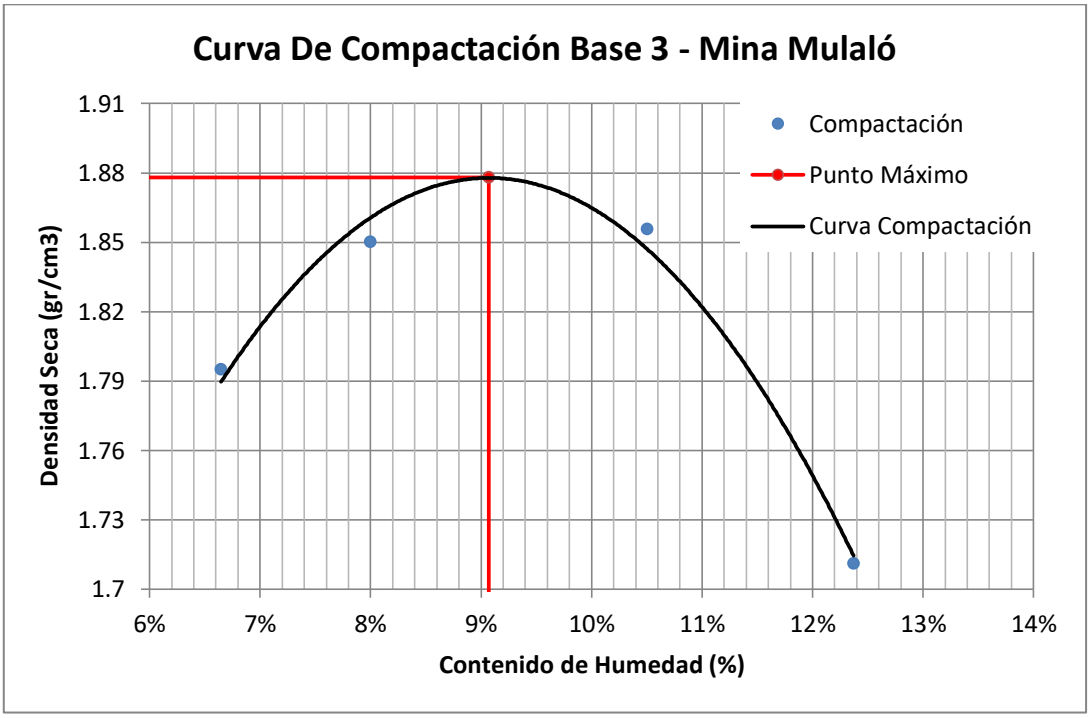


Figura XIX: Curva de compactación base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 44: Humedad óptima base 3 Mina Mulaló.

Punto Máximo Base 3 - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	9.07
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.878

Fuente: Alvarado, 2019.

4.1.7 PROCTOR MODIFICADO BASE 4 MINA MULALÓ:

Tabla 45: Proctor modificado base 4 Mina Mulaló.

Proctor Modificado Base 4 - Mina Mulaló								
Método:	C				**Número Capas:**	5		
Peso Martillo (N):	44.48				**N. Golpes Por Capa:**	56		
N. Molde:	2				**Altura Caída Del Martillo (mm):**	457.2		
Vol. Molde (cm3):	2112				**Peso Del Molde:**	7644		
Prueba No:	1		2		3		4	
Peso mol. + S. húmedo (gr)	11884		12110		12201		12005	
Peso molde (gr)	7644		7644		7644		7644	
Peso suelo húmedo (gr)	4240		4466		4557		4361	
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.008		2.115		2.158		2.065	
Identificación de la cápsula	**11**	**MS26**	**MS36**	**C14**	**CG22**	**MS37**	**CG5**	**CG6**
Peso cápsula (gr)	22.79	33.07	32.87	32.74	49.72	33.35	49.67	49.92
Peso cap. + S. húmedo (gr)	180.53	148.10	141.31	181.56	149.93	168.97	171.00	149.97
Peso cap. + S. seco (gr)	171.08	141.21	132.64	171.25	140.35	156.99	157.61	139.15
Contenido de humedad (%)	6.37	6.37	8.69	7.44	10.57	9.69	12.41	12.13
Humedad Promedio (%)	6.37		8.07		10.13		12.27	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.887		1.957		1.959		1.839	

Fuente: Alvarado, 2019.

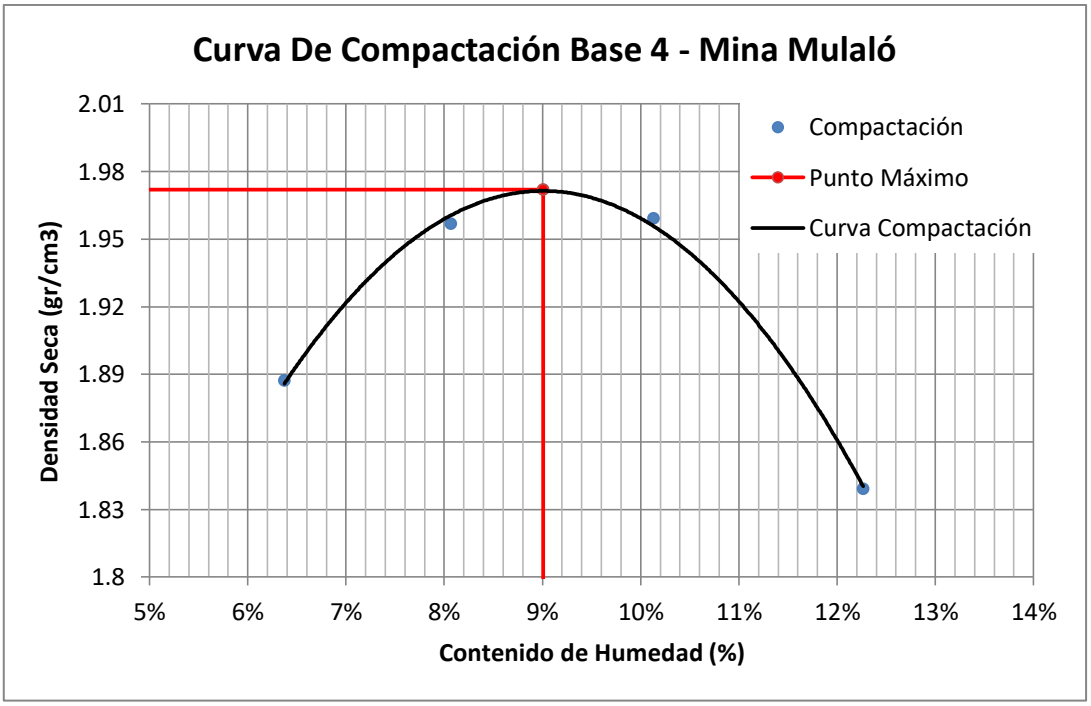


Figura XX: Curva de compactación base 4 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 46: Humedad óptima base 4 Mina Mulaló.

Punto Máximo Base 4 - Mina Mulaló	
Humedad Óptima (%)	9.01
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.972

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2 ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO):

El ensayo se realizó para todas las bases y sub bases del estudio, con 3 moldes a diferentes estados de compactación, 56, 25 y 12 golpes respectivamente utilizando la humedad óptima que se obtuvo con el ensayo de Proctor modificado. Posterior a esto se dejó reposar las muestras sumergidas completamente en agua para que se saturen por 3 a 4 días, para finalmente romper moldes ayudado de la máquina universal (ASTM D-1883, 2016).

4.2.1 CBR SUB BASE 1 MINA MULALÓ:

Tabla 47: CBR sub base 1 Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO SUB BASE 1 - MINA MULALÓ						
DATOS DEL MOLDEO						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 1.958			**Humedad Óptima (%):** 9.19			
Peso Martillo (lb): 10			**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2			
No. Golpes Por Capa	**56**		**25**		**12**	
No. de Capas	**5**		**5**		**5**	
Identificación del Molde	**Z7**		**23**		**16**	
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)	10990		10382		10268	
Peso molde (gr)	6468		6148		6272	
Peso Suelo Húmedo (gr)	4522		4234		3996	
Volumen del Molde (cm3)	2094		2094		2094	
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO						
Identificación de Cápsula	**G2**	**MS40**	**17**	**9**	**1Q**	**OO3**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	209.77	166.46	171.61	156.55	184.89	184.49
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	196.48	154.87	159.27	148.46	173.62	172.36
Peso de Cápsula (gr)	49.35	32.64	21.61	50.77	49.38	33.32
Contenido de Humedad (%)	9.03	9.48	8.96	8.28	9.07	8.72
Humedad Promedio (%)	9.26		8.62		8.90	
Densidad Seca (gr/cm3)	1977		1861		1752	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN						
Identificación de Cápsula	**MS34**	**MS40**	**291**	**37A**	**OO3**	**MS04**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	209.22	223.93	224.76	190.89	194.98	229.87
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	190.07	203.77	202.60	171.35	175.41	207.11
Peso de Cápsula (gr)	33.43	32.65	22.50	22.32	33.33	32.16
Contenido de Humedad (%)	12.23	11.78	12.30	13.11	13.77	13.01
Humedad Promedio (%)	12.00		12.71		13.39	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)	11124		10558		10459	
Agua Absorbida (gr)	134		176		191	
Agua Absorbida (%)	2.96		4.16		4.78	

MOLDES No	**Z7**			**23**			**16**		
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066
2	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066	4	0.004	0.087
3	4	0.004	0.087	4	0.004	0.087	4	0.004	0.087

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**Z7**			**23**			**16**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	94	31.33	-	84	28.00	-	89	29.67	-
0.050	312	104.00	-	233	77.67	-	256	85.33	-
0.075	640	213.33	-	451	150.33	-	473	157.67	-
0.100	1082	360.67	580.00	750	250.00	410.00	677	225.67	280.00
0.200	2754	918.00	1100.00	2001	667.00	810.00	1456	485.33	520.00
0.300	4010	1336.67	-	3012	1004.00	-	1928	642.67	-
0.400	4707	1569.00	-	3524	1174.67	-	2327	775.67	-
0.500	0	0.00	-	4013	1337.67	-	2608	869.33	-

Fuente: Alvarado, 2019.

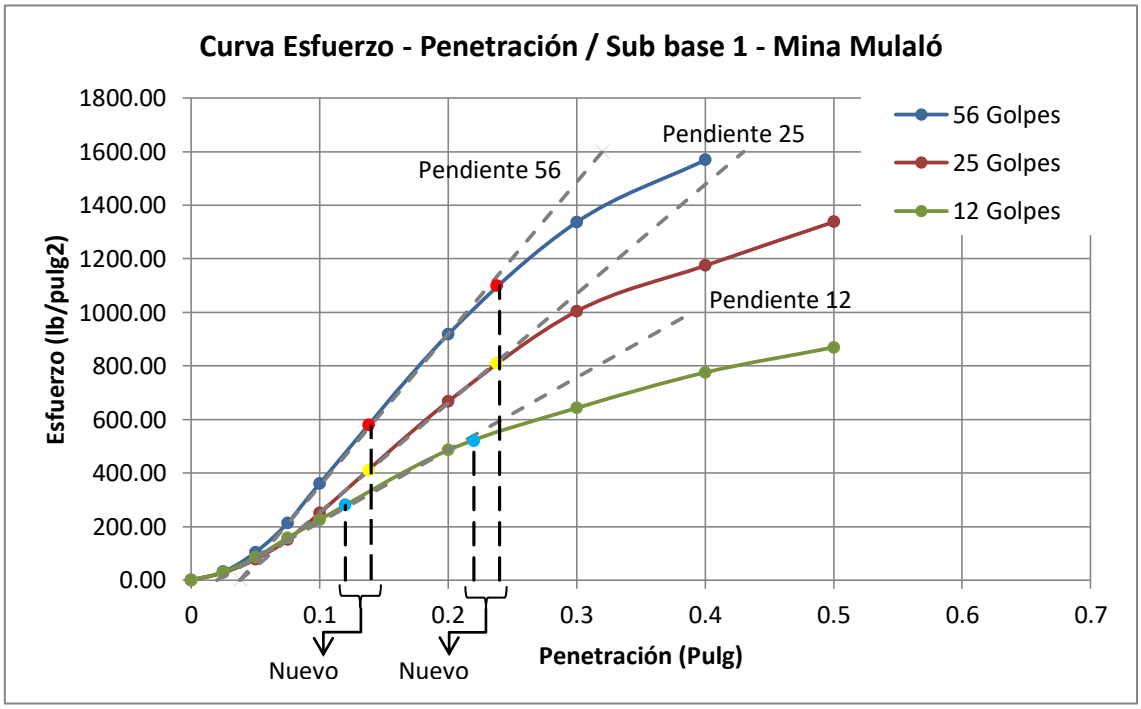


Figura XXI: Esfuerzo – Penetración sub base 1 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 48: Valores CBR sub base 1 Mina Mulaló.

VALORES DE CBR SUB BASE 1 - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
580.00	58.00	1100.00	73.33
410.00	41.00	810.00	54.00
280.00	28.00	520.00	34.67
CBR (100% γ Seco Max.)	55	**CBR (100% γ Seco Max.)**	70

Fuente: Alvarado, 2019.

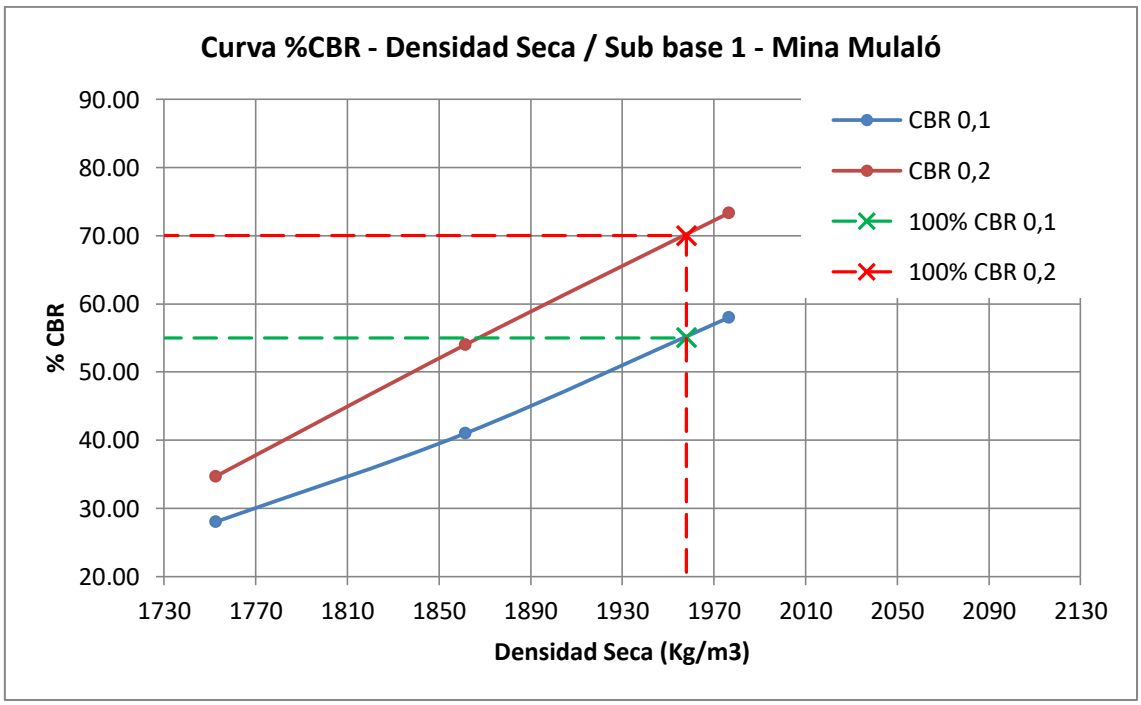


Figura XXII: %CBR – Densidad seca sub base 1 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2.2 CBR SUB BASE 2 MINA MULALÓ:

Tabla 49: CBR sub base 2 Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO SUB BASE 2 - MINA MULALÓ						
DATOS DEL MOLDEO						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 2.024			**Humedad Óptima (%):** 8.92			
Peso Martillo (lb): 10			**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2			
No. Golpes Por Capa	**56**		**25**		**12**	
No. de Capas	**5**		**5**		**5**	
Identificación del Molde	**9**		**17**		**7**	
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)	10800		11504		10490	
Peso molde (gr)	6059		6942		6170	
Peso Suelo Húmedo (gr)	4741		4562		4320	
Volumen del Molde (cm3)	2124		2124		2124	
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO						
Identificación de Cápsula	**MS03**	**SG4**	**CG15**	**CG6**	**MS04**	**MS25**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	140.05	177.16	179.36	163.90	225.91	171.37
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	131.20	166.59	168.09	154.26	212.05	160.09
Peso de Cápsula (gr)	32.42	48.66	32.48	49.93	32.18	33.56
Contenido de Humedad (%)	8.96	8.96	8.31	9.24	7.71	8.91
Humedad Promedio (%)	8.96		8.78		8.31	
Densidad Seca (gr/cm3)	2049		1975		1878	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN						
Identificación de Cápsula	**CG15**	**CG14**	**CG10**	**SG4**	**CG6**	**14**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	233.19	211.18	277.98	256.90	230.35	231.08
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	212.84	192.25	254.16	235.39	209.73	208.50
Peso de Cápsula (gr)	32.48	32.45	50.68	48.66	49.94	22.54
Contenido de Humedad (%)	11.28	11.85	11.71	11.52	12.90	12.14
Humedad Promedio (%)	11.56		11.61		12.52	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)	10918		11629		10669	
Agua Absorbida (gr)	118		125		179	
Agua Absorbida (%)	2.49		2.74		4.14	

MOLDES N.	**9**			**17**			**7**		
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	4	0.004	0.087	5	0.005	0.109	4	0.004	0.087
2	4	0.004	0.087	5	0.005	0.109	4	0.004	0.087
3	5	0.005	0.109	5	0.005	0.109	5	0.005	0.109

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**9**			**17**			**7**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	125	41.67	-	97	32.33	-	70	23.33	-
0.050	333	111.00	-	304	101.33	-	194	64.67	-
0.075	600	200.00	-	514	171.33	-	362	120.67	-
0.100	946	315.33	650.00	801	267.00	430.00	566	188.67	310.00
0.200	2952	984.00	1310.00	2101	700.33	870.00	1489	496.33	590.00
0.300	4911	1637.00	-	3290	1096.67	-	2232	744.00	-
0.400	-	0.00	-	4001	1333.67	-	2711	903.67	-
0.500	-	0.00	-	-	0.00	-	3179	1059.67	-

Fuente: Alvarado, 2019.

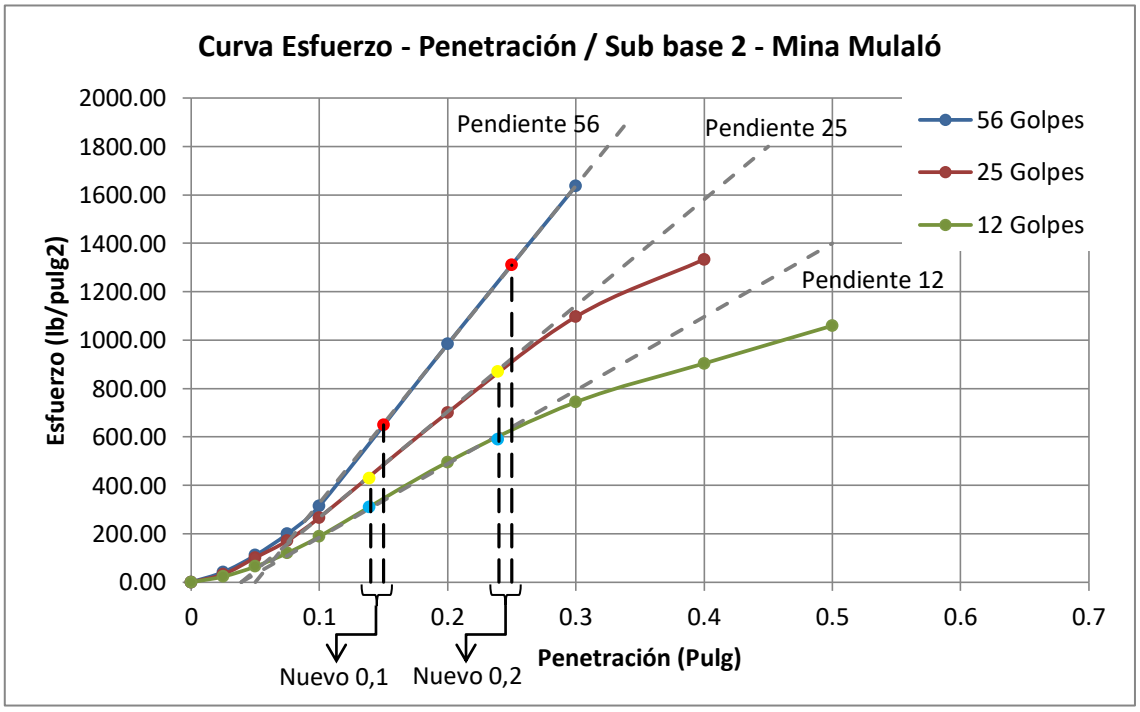


Figura XXIII: Esfuerzo – Penetración sub base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 50: Valores de CBR sub base 2 Mina Mulaló.

VALORES DE CBR SUB BASE 2 - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
650.00	65.00	1310.00	87.33
430.00	43.00	870.00	58.00
310.00	31.00	590.00	39.33
CBR (100% γ Seco Max.)	56	**CBR (100% γ Seco Max.)**	76

Fuente: Alvarado, 2019.

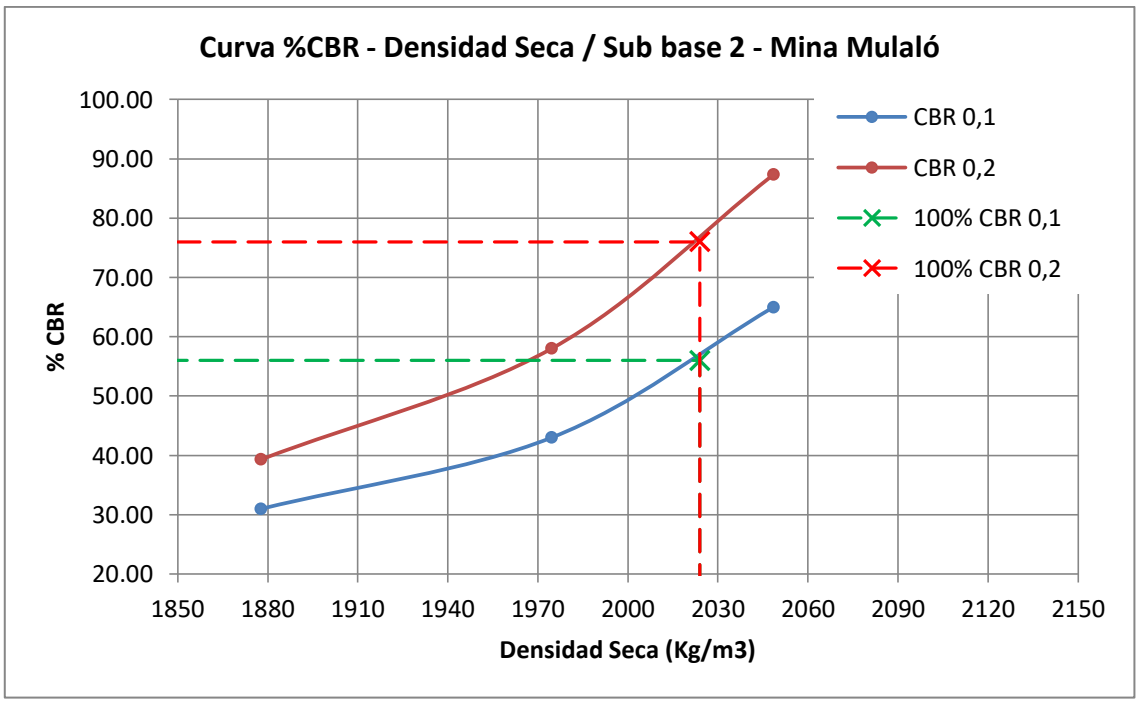


Figura XXIV: %CBR – Densidad seca sub base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2.3 CBR SUB BASE 3 MINA MULALÓ:

Tabla 51: CBR sub base 3 Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO SUB BASE 3 - MINA MULALÓ						
DATOS DEL MOLDEO						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 1.966			**Humedad Óptima (%):** 9.27			
Peso Martillo (lb): 10			**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2			
No. Golpes Por Capa	**56**		**25**		**12**	
No. de Capas	**5**		**5**		**5**	
Identificación del Molde	**28**		**21**		**29**	
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)	10491		10449		10030	
Peso molde (gr)	6032		6237		6285	
Peso Suelo Húmedo (gr)	4459		4212		3745	
Volumen del Molde (cm3)	2064		2064		2064	
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO						
Identificación de Cápsula	**15**	**MS34**	**CG14**	**CG10**	**14**	**6X1**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	165.65	198.17	170.84	211.16	162.04	169.53
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	154.14	183.46	159.45	197.55	150.36	157.41
Peso de Cápsula (gr)	23.52	33.44	32.41	50.68	22.53	22.78
Contenido de Humedad (%)	8.81	9.81	8.97	9.27	9.14	9.00
Humedad Promedio (%)	9.31		9.12		9.07	
Densidad Seca (gr/cm3)	1976		1870		1664	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN						
Identificación de Cápsula	**MS05**	**CG6**	**MS26**	**CG18**	**11**	**19**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	221.72	229.25	202.04	218.86	240.31	220.37
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	201.80	209.73	181.87	197.40	214.39	194.50
Peso de Cápsula (gr)	32.95	32.92	33.03	32.62	49.31	22.56
Contenido de Humedad (%)	11.80	11.04	13.55	13.02	15.70	15.05
Humedad Promedio (%)	11.42		13.29		15.37	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)	10599		10631		10268	
Agua Absorbida (gr)	108		182		238	
Agua Absorbida (%)	2.42		4.32		6.36	

MOLDES N.	**28**			**21**			**29**		
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	3	0.003	0.066	2	0.002	0.044	3	0.003	0.066
2	4	0.004	0.087	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066
3	4	0.004	0.087	4	0.004	0.087	4	0.004	0.087

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**28**			**21**			**29**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	159	53.00	-	113	37.67	-	48	16.00	-
0.050	565	188.33	-	315	105.00	-	93	31.00	-
0.075	1030	343.33	-	564	188.00	-	151	50.33	-
0.100	1558	519.33	670.00	826	275.33	340.00	216	72.00	100.00
0.200	3642	1214.00	1320.00	1785	595.00	660.00	549	183.00	210.00
0.300	4949	1649.67	-	2717	905.67	-	920	306.67	-
0.400	5906	1968.67	-	3156	1052.00	-	1104	368.00	-
0.500	-	0.00	-	3451	1150.33	-	1284	428.00	-

Fuente: Alvarado, 2019.

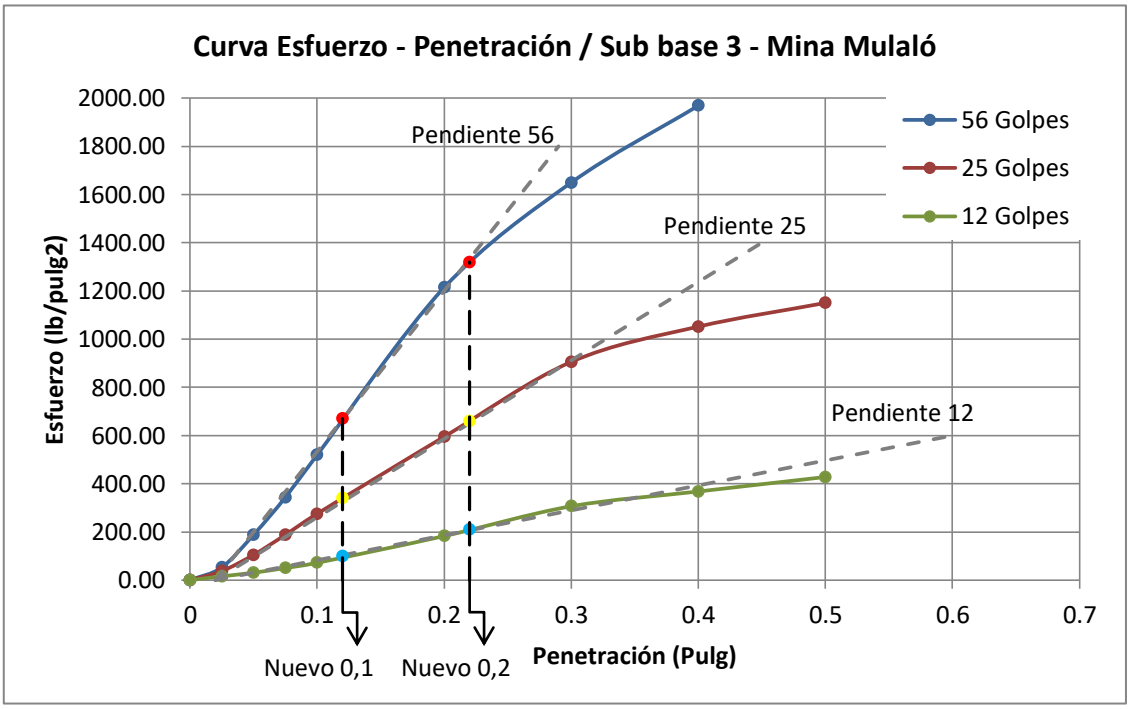


Figura XXV: Esfuerzo – Penetración sub base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 52: Valores de CBR sub base 3 Mina Mulaló.

VALORES DE CBR SUB BASE 3 - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
670.00	67.00	1320.00	88.00
340.00	34.00	660.00	44.00
100.00	10.00	210.00	14.00
CBR (100% γ Seco Max.)	63	**CBR (100% γ Seco Max.)**	83

Fuente: Alvarado, 2019.

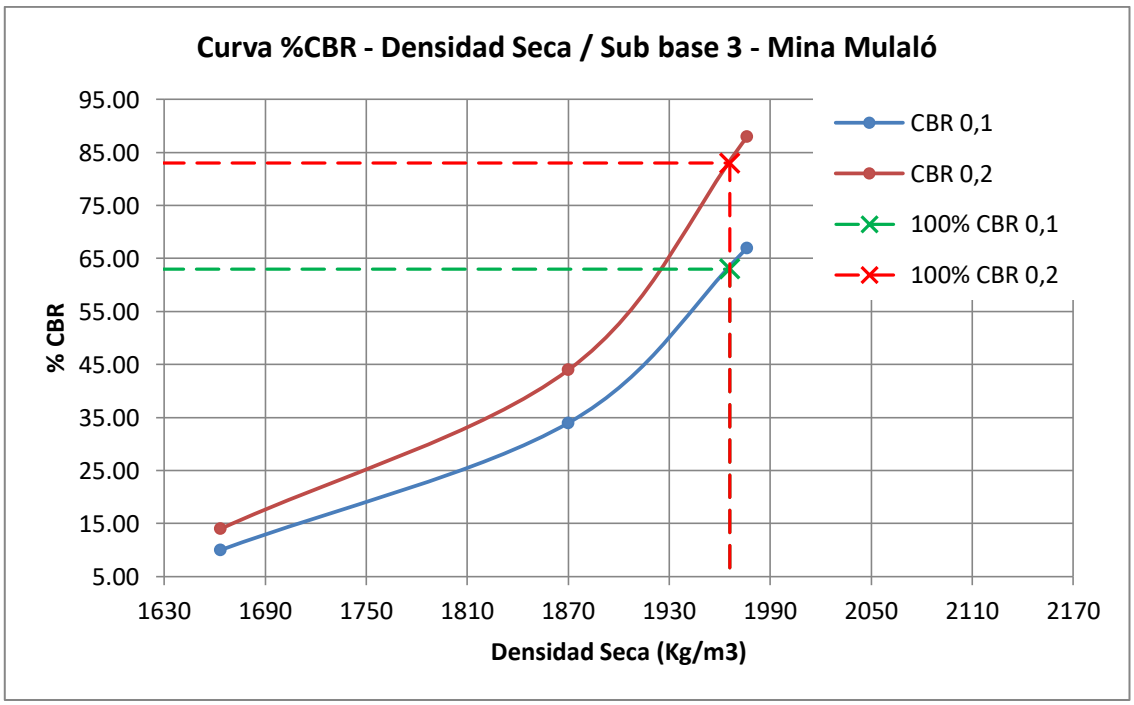


Figura XXVI: %CBR – Densidad seca sub base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2.4 CBR BASE 1 TIPO B MINA MULALÓ:

Tabla 53: CBR base 1B Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO BASE 1 TIPO B - MINA MULALÓ						
DATOS DEL MOLDEO						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 1.994			**Humedad Óptima (%):** 8.55			
Peso Martillo (lb): 10			**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2			
No. Golpes Por Capa	**56**		**25**		**12**	
No. de Capas	**5**		**5**		**5**	
Identificación del Molde	**13**		**2**		**M1**	
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)	10760		10810		12187	
Peso molde (gr)	6078		6346		8072	
Peso Suelo Húmedo (gr)	4682		4464		4115	
Volumen del Molde (cm3)	2112		2112		2112	
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO						
Identificación de Cápsula	**291**	**MS39**	**37A**	**CG8**	**16**	**MS28**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	204.94	228.77	178.46	227.16	218.72	209.96
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	191.11	213.16	167.39	212.31	204.67	197.01
Peso de Cápsula (gr)	33.32	33.29	33.39	32.67	33.21	32.62
Contenido de Humedad (%)	8.76	8.68	8.26	8.27	8.19	7.88
Humedad Promedio (%)	8.72		8.26		8.04	
Densidad Seca (gr/cm3)	2039		1952		1803	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN						
Identificación de Cápsula	**MS08**	**MS03**	**MS28**	**16**	**MS25**	**7**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	252.05	209.18	275.73	220.85	251.66	238.40
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	231.68	192.37	249.68	198.73	224.46	211.93
Peso de Cápsula (gr)	33.37	32.40	33.18	22.33	33.56	22.85
Contenido de Humedad (%)	10.27	10.51	12.03	12.54	14.25	14.00
Humedad Promedio (%)	10.39		12.29		14.12	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)	10838		10990		12439	
Agua Absorbida (gr)	78		180		252	
Agua Absorbida (%)	1.67		4.03		6.12	

MOLDES N.	**13**			**2**			**M1**		
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044
2	3	0.003	0.066	2	0.002	0.044	3	0.003	0.066
3	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**13**			**2**			**M1**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	110	36.67	-	71	23.67	-	48	16.00	-
0.050	464	154.67	-	217	72.33	-	103	34.33	-
0.075	999	333.00	-	516	172.00	-	295	98.33	-
0.100	1504	501.33	730.00	854	284.67	480.00	508	169.33	230.00
0.200	3640	1213.33	1420.00	2300	766.67	930.00	1168	389.33	460.00
0.300	5472	1824.00	-	3425	1141.67	-	1854	618.00	-
0.400	6196	2065.33	-	3960	1320.00	-	2411	803.67	-
0.500	-	0.00	-	4095	1365.00	-	2687	895.67	-

Fuente: Alvarado, 2019.

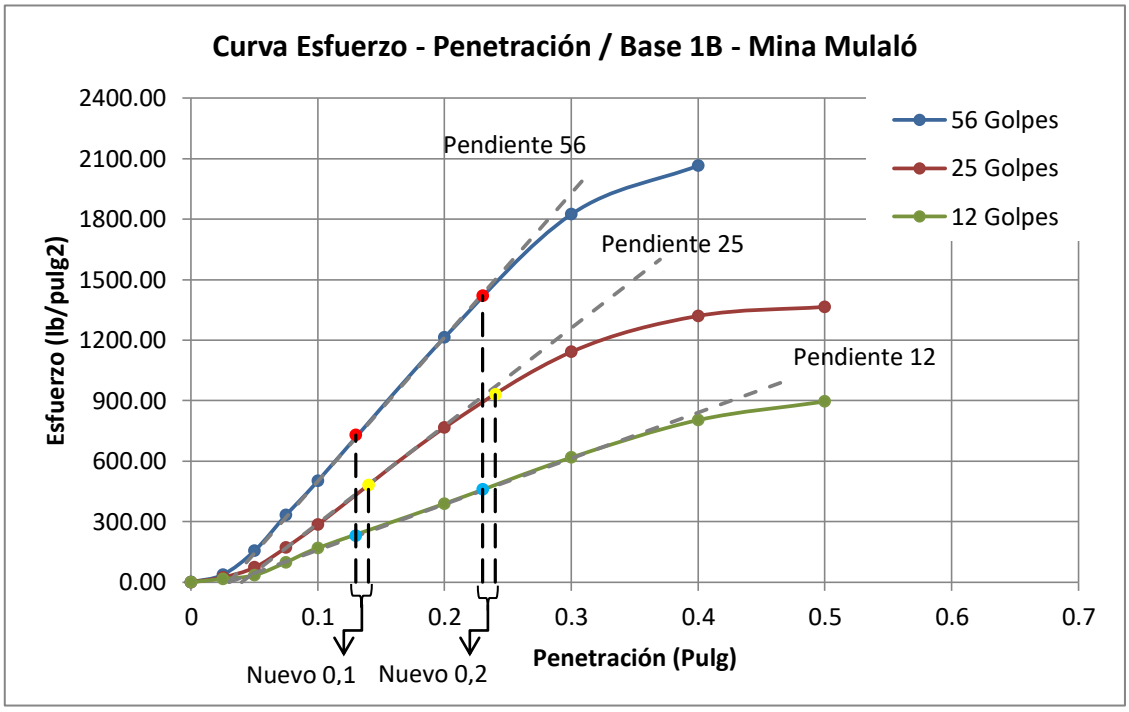


Figura XXVII: Esfuerzo – Penetración base 1B Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 54: Valores de CBR base 1B Mina Mulaló.

VALORES DE CBR BASE 1 TIPO B - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
730.00	73.00	1420.00	94.67
480.00	48.00	930.00	62.00
230.00	23.00	460.00	30.67
CBR (100% γ Seco Max.)	59	**CBR (100% γ Seco Max.)**	76

Fuente: Alvarado, 2019.

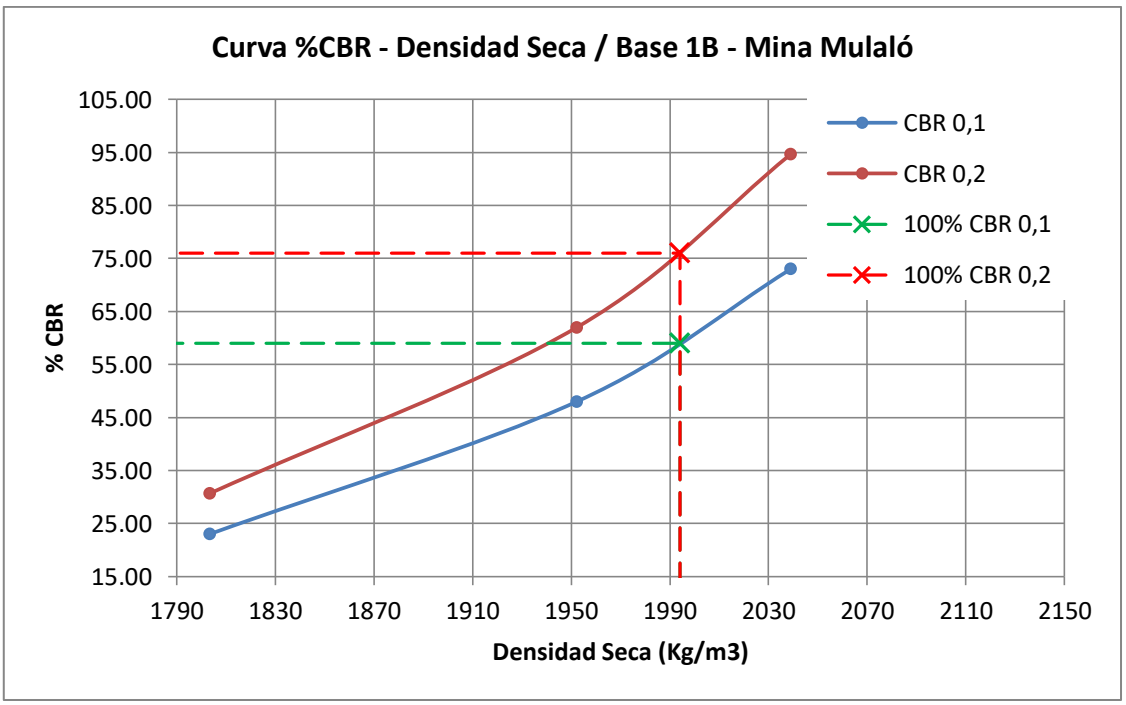


Figura XXVIII: %CBR – Densidad seca base 1B Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2.5 CBR BASE 2 MINA MULALÓ:

Tabla 55: CBR base 2 Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO BASE 2 - MINA MULALÓ						
DATOS DEL MOLDEO						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 1.973			**Humedad Óptima (%):** 9.27			
Peso Martillo (lb): 10			**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2			
No. Golpes Por Capa	**56**		**25**		**12**	
No. de Capas	**5**		**5**		**5**	
Identificación del Molde	**17**		**9**		**7**	
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)	11560		10420		10442	
Peso molde (gr)	6942		6060		6172	
Peso Suelo Húmedo (gr)	4618		4360		4270	
Volumen del Molde (cm3)	2124		2124		2124	
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO						
Identificación de Cápsula	**291**	**MS39**	**37A**	**CG8**	**16**	**MS28**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	131.82	214.32	219.97	220.84	214.15	246.84
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	122.45	198.85	204.22	206.62	200.58	230.41
Peso de Cápsula (gr)	21.60	32.84	32.40	49.64	49.35	50.47
Contenido de Humedad (%)	9.29	9.32	9.17	9.06	8.97	9.13
Humedad Promedio (%)	9.30		9.11		9.05	
Densidad Seca (gr/cm3)	1989		1881		1843	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN						
Identificación de Cápsula	**MS08**	**MS03**	**MS28**	**16**	**MS25**	**7**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	206.87	267.83	244.56	236.94	236.18	241.45
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	185.44	242.27	221.48	213.16	212.42	216.78
Peso de Cápsula (gr)	22.30	50.64	49.63	32.39	33.32	33.55
Contenido de Humedad (%)	13.14	13.34	13.43	13.15	13.27	13.46
Humedad Promedio (%)	13.24		13.29		13.37	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)	11748		10600		10628	
Agua Absorbida (gr)	188		180		186	
Agua Absorbida (%)	4.07		4.13		4.36	

MOLDES N.	**17**			**9**			**7**		
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044
2	2	0.002	0.044	3	0.003	0.066	2	0.002	0.044
3	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**17**			**9**			**7**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	120	40.00	-	90	30.00	-	78	26.00	-
0.050	540	180.00	-	294	98.00	-	175	58.33	-
0.075	1031	343.67	-	644	214.67	-	400	133.33	-
0.100	1543	514.33	750.00	1052	350.67	510.00	650	216.67	350.00
0.200	3798	1266.00	1460.00	2660	886.67	1040.00	1714	571.33	700.00
0.300	5008	1669.33	-	4151	1383.67	-	2689	896.33	-
0.400	-	0.00	-	5036	1678.67	-	3445	1148.33	-
0.500	-	0.00	-	-	0.00	-	3940	1313.33	-

Fuente: Alvarado, 2019.

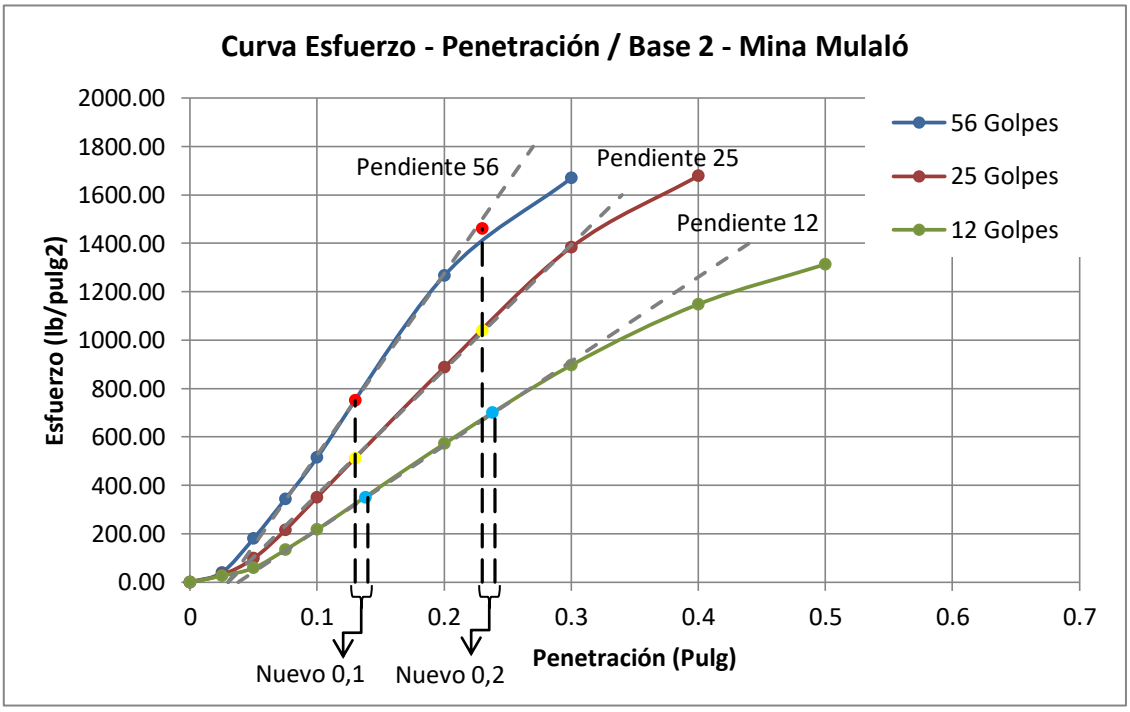


Figura XXIX: Esfuerzo – Penetración base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 56: Valores de CBR base 2 Mina Mulaló.

VALORES DE CBR BASE 2 - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
750.00	75.00	1460.00	97.33
510.00	51.00	1040.00	69.33
350.00	35.00	700.00	46.67
CBR (100% γ Seco Max.)	71	**CBR (100% γ Seco Max.)**	93

Fuente: Alvarado, 2019.

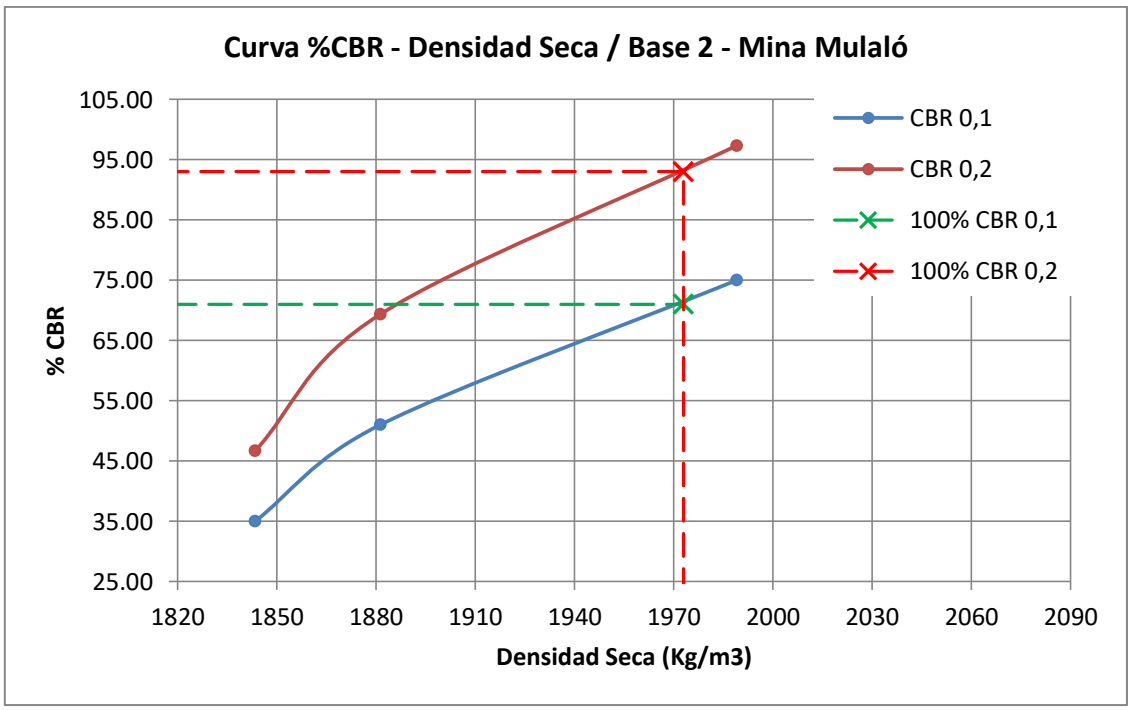


Figura XXX: %CBR – Densidad seca base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2.6 CBR BASE 3 MINA MULALÓ:

Tabla 57: CBR base 3 Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO BASE 3 - MINA MULALÓ									
DATOS DEL MOLDEO									
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 1.878					**Humedad Óptima (%):** 9.07				
Peso Martillo (lb): 10					**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2				
No. Golpes Por Capa			**56**			**25**			**12**
No. de Capas			**5**			**5**			**5**
Identificación del Molde			**16**			**29**			**28**
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)			10589			10355			9995
Peso molde (gr)			6273			6286			6033
Peso Suelo Húmedo (gr)			4316			4069			3962
Volumen del Molde (cm3)			2094			2064			2064
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO									
Identificación de Cápsula	**MS05**	**37A**	**CG18**	**MS04**	**291**	**14**			
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	209.40	178.92	216.28	187.56	192.96	195.99			
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	194.42	166.07	200.99	174.68	178.53	182.05			
Peso de Cápsula (gr)	32.95	22.34	32.64	32.18	22.51	22.68			
Contenido de Humedad (%)	9.28	8.94	9.08	9.04	9.25	8.75			
Humedad Promedio (%)		9.11			9.06			9.00	
Densidad Seca (gr/cm3)		1889			1808			1761	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN									
Identificación de Cápsula	**CG14**	**CG18**	**17**	**CG15**	**MS08**	**14**			
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	228.19	209.40	210.76	248.91	237.29	254.56			
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	205.43	189.19	186.90	221.57	209.32	223.00			
Peso de Cápsula (gr)	32.42	32.62	21.60	32.47	33.36	22.53			
Contenido de Humedad (%)	13.16	12.91	14.43	14.46	15.90	15.74			
Humedad Promedio (%)		13.03			14.45			15.82	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN									
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)			10758			10575			10270
Agua Absorbida (gr)			169			220			275
Agua Absorbida (%)			3.92			5.41			6.94
MOLDES N.		**16**			**29**			**28**	
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044
2	2	0.002	0.044	3	0.003	0.066	2	0.002	0.044
3	4	0.004	0.087	4	0.004	0.087	4	0.004	0.087

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**16**			**29**			**28**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	125	41.67	-	98	32.67	-	56	18.67	-
0.050	338	112.67	-	249	83.00	-	172	57.33	-
0.075	621	207.00	-	495	165.00	-	307	102.33	-
0.100	902	300.67	370.00	699	233.00	290.00	446	148.67	180.00
0.200	1982	660.67	730.00	1521	507.00	550.00	952	317.33	350.00
0.300	2986	995.33	-	2190	730.00	-	1401	467.00	-
0.400	3546	1182.00	-	2465	821.67	-	1667	555.67	-
0.500	3881	1293.67	-	2702	900.67	-	1749	583.00	-

Fuente: Alvarado, 2019.

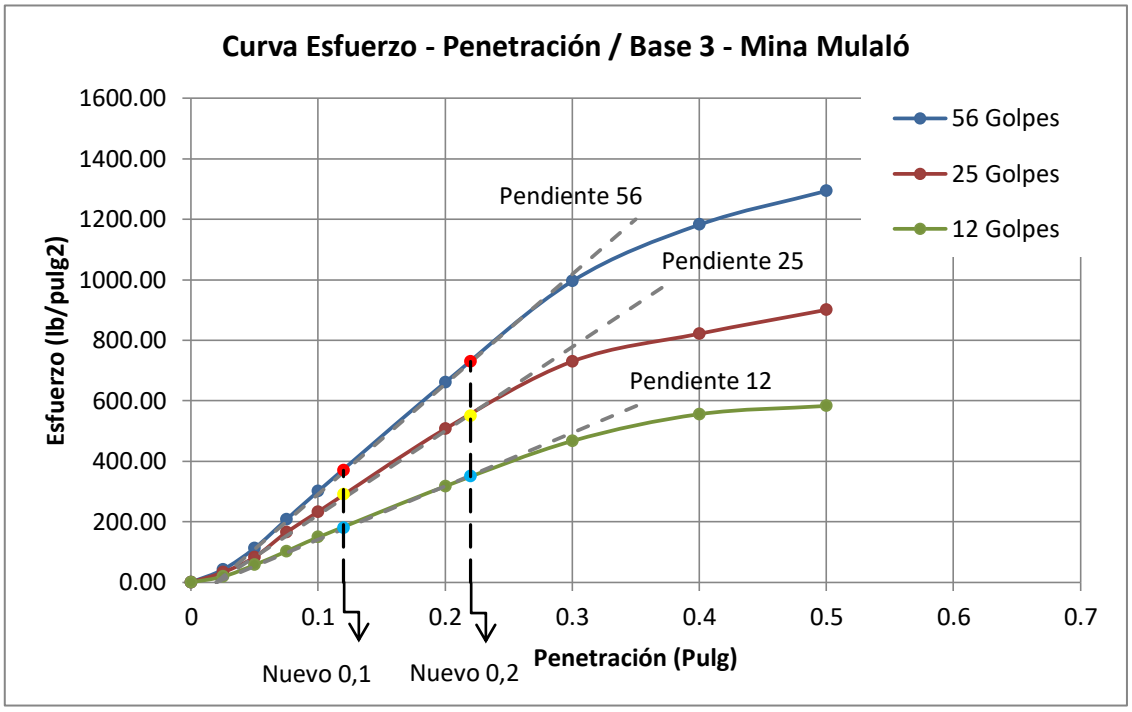


Figura XXXI: Esfuerzo – Penetración base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 58: Valores de CBR base 3 Mina Mulaló.

VALORES DE CBR BASE 3 - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
370.00	37.00	730.00	48.67
290.00	29.00	550.00	36.67
180.00	18.00	350.00	23.33
CBR (100% γ Seco Max.)	36	**CBR (100% γ Seco Max.)**	47

Fuente: Alvarado, 2019.

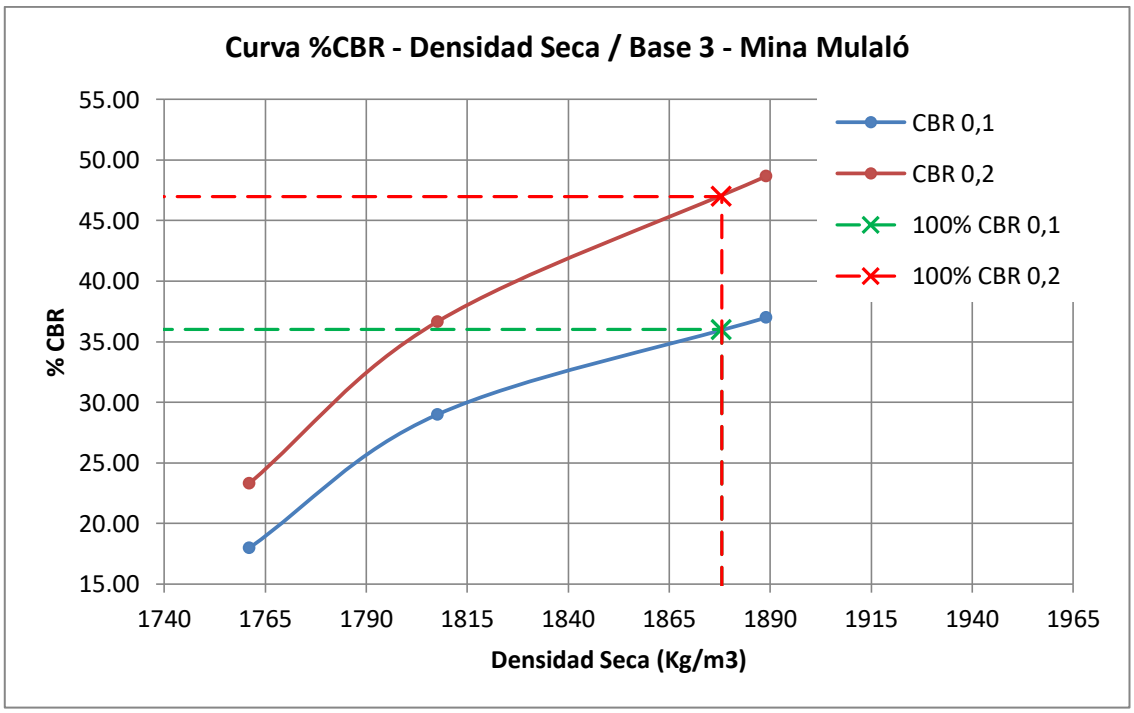


Figura XXXII: %CBR – Densidad seca base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.2.7 CBR BASE 4 MINA MULALÓ:

Tabla 59: CBR base 4 Mina Mulaló.

CBR DE LABORATORIO BASE 4 - MINA MULALÓ						
DATOS DEL MOLDEO						
Densidad Seca Máxima (gr/cm3): 1.972			**Humedad Óptima (%):** 9.01			
Peso Martillo (lb): 10			**Altura Caída Martillo (mm):** 457.2			
No. Golpes Por Capa	**56**		**25**		**12**	
No. de Capas	**5**		**5**		**5**	
Identificación del Molde	**23**		**21**		**Z7**	
Peso molde + Suelo Húmedo (gr)	10688		10597		10812	
Peso molde (gr)	6148		6237		6639	
Peso Suelo Húmedo (gr)	4540		4360		4173	
Volumen del Molde (cm3)	2094		2064		2094	
CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO						
Identificación de Cápsula	**OO3**	**CG6+**	**CG10**	**CG14**	**CG15**	**11**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	249.35	223.60	251.41	192.26	205.16	252.11
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	231.22	207.89	235.17	178.88	190.82	235.65
Peso de Cápsula (gr)	33.37	32.87	50.64	32.42	32.48	49.31
Contenido de Humedad (%)	9.16	8.98	8.80	9.14	9.06	8.83
Humedad Promedio (%)	9.07		8.97		8.94	
Densidad Seca (gr/cm3)	1988		1939		1829	
CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN						
Identificación de Cápsula	**CG14**	**CG18**	**17**	**CG15**	**MS08**	**14**
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	230.51	240.98	229.98	234.86	240.61	282.40
Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	205.84	216.03	204.71	208.11	212.79	248.50
Peso de Cápsula (gr)	22.59	23.08	23.12	22.76	32.63	32.93
Contenido de Humedad (%)	13.46	12.93	13.92	14.43	15.44	15.73
Humedad Promedio (%)	13.20		14.17		15.58	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr)	10875		10823		11100	
Agua Absorbida (gr)	187		226		288	
Agua Absorbida (%)	4.12		5.18		6.90	

MOLDES N.	**23**			**21**			**Z7**		
Tiempo (Días)	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**	**Lectura Dial**	**Esponjamiento Pulg**	**%**
1	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044	2	0.002	0.044
2	2	0.002	0.044	3	0.003	0.066	2	0.002	0.044
3	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066	3	0.003	0.066

DATOS DE LA PENETRACIÓN									
MOLDES N.		**23**			**21**			**Z7**	
Penetración (pulg)	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**	**DIAL**	**Presión (lb/pulg2)**	**Presión Corregida**
0.000	0	0.00	-	0	0.00	-	0	0.00	-
0.025	229	76.33	-	139	46.33	-	111	37.00	-
0.050	681	227.00	-	540	180.00	-	349	116.33	-
0.075	1305	435.00	-	997	332.33	-	720	240.00	-
0.100	1950	650.00	810.00	1481	493.67	610.00	1119	373.00	470.00
0.200	4250	1416.67	1490.00	3276	1092.00	1170.00	2579	859.67	920.00
0.300	4975	1658.33	-	4250	1416.67	-	3250	1083.33	-
0.400	-	0.00	-	-	0.00	-	-	0.00	-
0.500	-	0.00	-	-	0.00	-	-	0.00	-

Fuente: Alvarado, 2019.

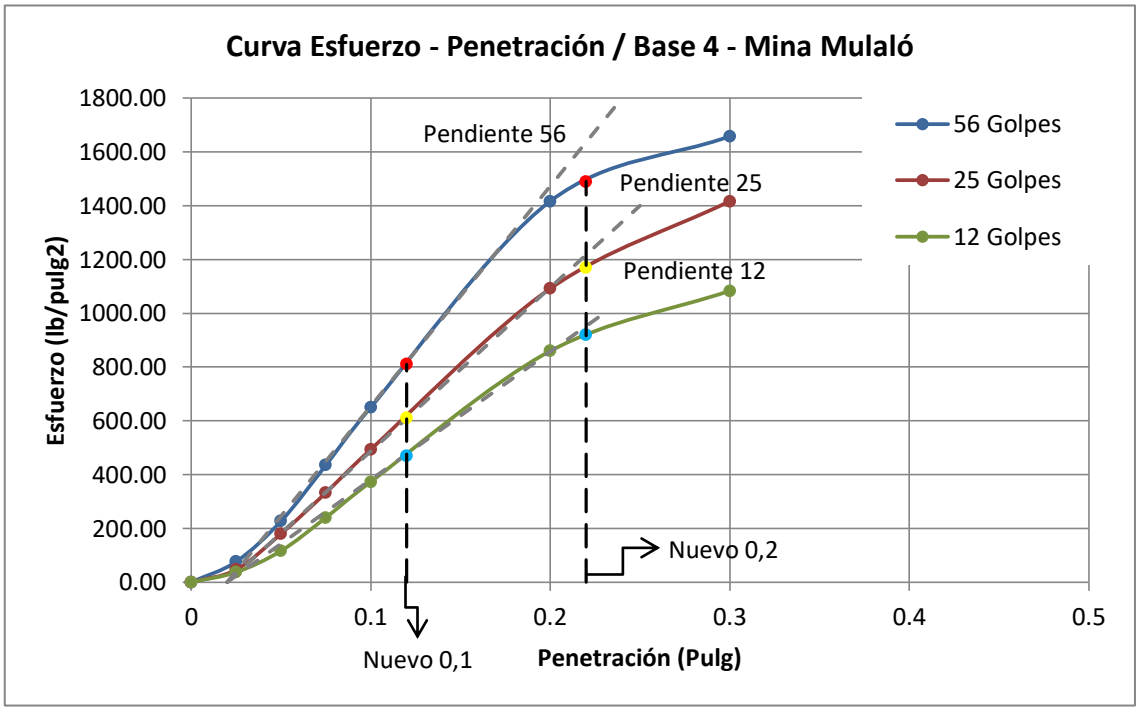


Figura XXXIII: Esfuerzo – Penetración base 4 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 60: Valores de CBR base 4 Mina Mulaló.

VALORES DE CBR BASE 4 - MINA MULALÓ			
Presión (lb/pulg2)	**Valor CBR 0,1**	**Presión (lb/pulg2)**	**Valor CBR 0,2**
810.00	81.00	1490.00	99.33
610.00	61.00	1170.00	78.00
470.00	47.00	920.00	61.33
CBR (100% γ Seco Max.)	73	**CBR (100% γ Seco Max.)**	91

Fuente: Alvarado, 2019.

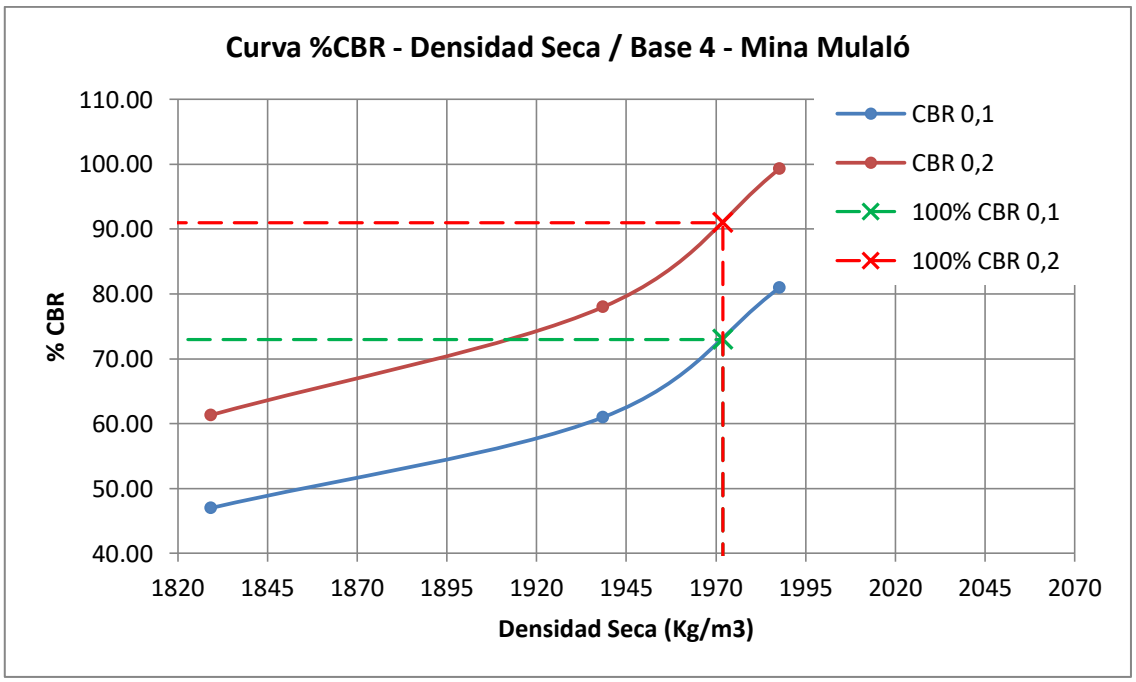


Figura XXXIV: %CBR – Densidad seca base 4 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

4.3 RESUMEN ENSAYOS PROCTOR MODIFICADO Y CBR:

Una vez realizado los dos ensayos podemos recopilar y juntar toda la información con el objetivo de tener un porcentaje de C.B.R. único para cada sub base y base proveniente de la Mina de estudio, esto haciendo un promedio entre el % C.B.R. para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración.

Tabla 61: Resumen Proctor modificado y CBR Mina Mulaló.

Resumen Proctor Modificado y CBR - Mina Mulaló					
Material	**Densidad Máx. seca (gr/cm3)**	**% Humedad Óptima**	**% CBR (0,1)**	**% CBR (0,2)**	**% CBR Promedio**
Sub base 1	1.958	9.19	55	70	**62.5**
Sub base 2	2.024	8.92	56	76	**66**
Sub base 3	1.966	9.27	63	83	**73**
Base 1B	1.994	8.55	59	76	**67.5**
Base 2	1.973	9.27	71	93	**82**
Base 3	1.878	9.07	36	47	**41.5**
Base 4	1.972	9.01	73	91	**82**

Fuente: Alvarado, 2019.

CAPÍTULO 5

5. CORRELACIÓN DEL CBR CON EL MÓDULO DE YOUNG:

5.1 ENSAYO DEL MÓDULO DE YOUNG:

Dicho ensayo fue realizado para todas las bases y sub bases de la Mina de estudio, una vez recopilado todos los datos se procede a realizar gráficas Densidad con Módulo Resiliente, con la intención de generar ecuaciones y poder obtener el valor correcto de Módulo Resiliente para la densidad seca calculada en el Proctor.

Tabla 62: Resultados GeoGauge Mina Mulaló.

GeoGauge H 4140 - Mina Mulaló						
Material	**Ensayo**	**Módulo Young (Mpa)**	**% Compactación**	**Densidad Campo (gr/cm3)**	**Densidad Seca Máx. (gr/cm3)**	**Módulo Resiliente (Psi)**
Sub Base 1	1	88.96	95.00	1.896	1.958	12900.36
	2	90.15	97.00	1.911		13072.92
	3	92.01	100.00	1.960		13342.65
Sub Base 2	1	83.62	93.00	1.976	2.024	12125.99
	2	88.19	97.00	1.997		12788.70
	3	92.52	100.00	2.023		13416.61
Sub Base 3	1	87.96	94.00	1.899	1.966	12755.35
	2	92.45	96.00	1.936		13406.45
	3	97.82	100.00	1.965		14185.17
Base 1B	1	118.15	95.00	1.887	1.994	17133.29
	2	121.63	98.00	1.914		17637.93
	3	125.83	100.00	1.995		18246.99
Base 2	1	121.96	93.00	1.893	1.973	17685.79
	2	125.14	97.00	1.956		18146.93
	3	127.80	100.00	1.972		18532.66
Base 3	1	97.69	92.00	1.798	1.878	14166.32
	2	100.13	95.00	1.835		14520.15
	3	103.87	100.00	1.878		15062.50
Base 4	1	119.63	93.00	1.911	1.972	17347.91
	2	123.96	96.00	1.956		17975.81
	3	127.01	100.00	1.973		18418.10

Fuente: Alvarado, 2019

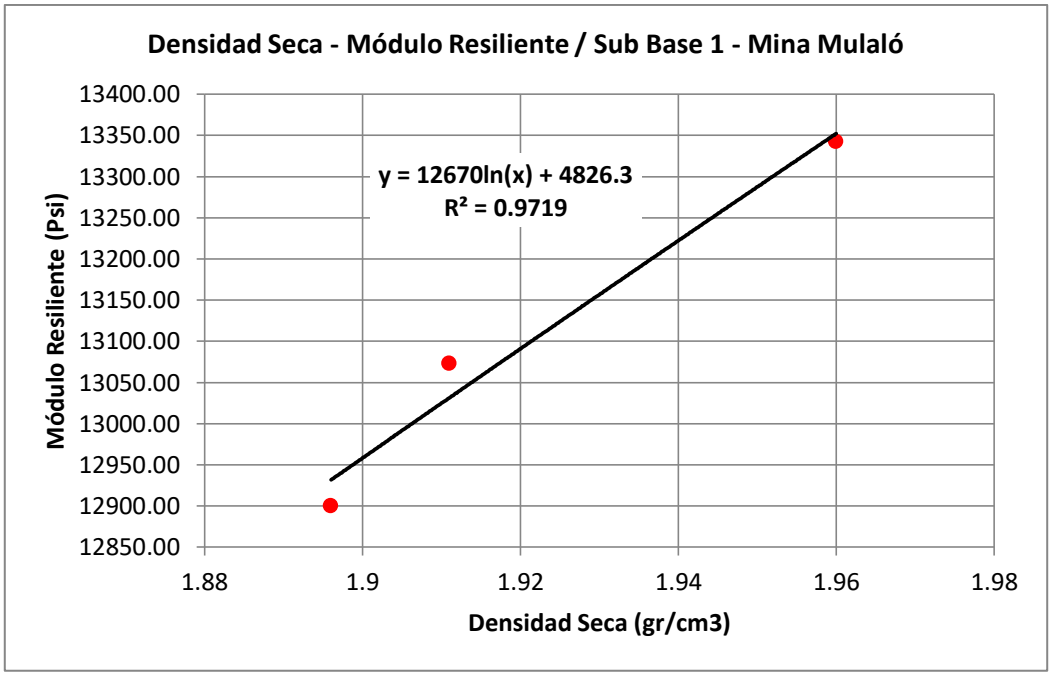


Figura XXXV: Densidad seca – Módulo Resiliente sub base 1 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

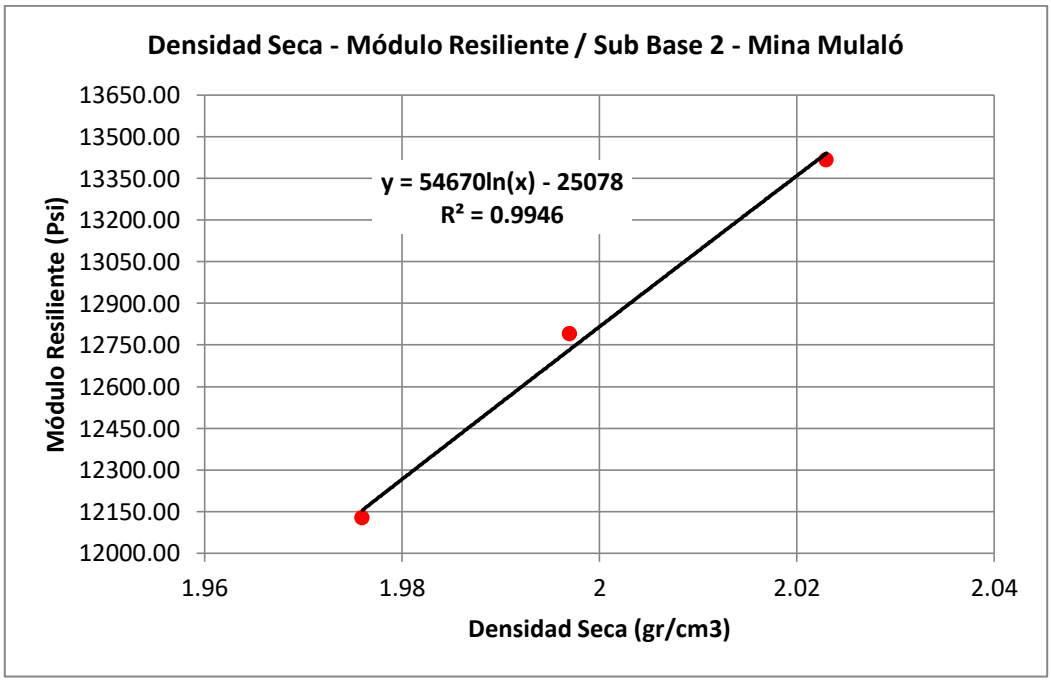


Figura XXXVI: Densidad seca – Módulo Resiliente sub base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

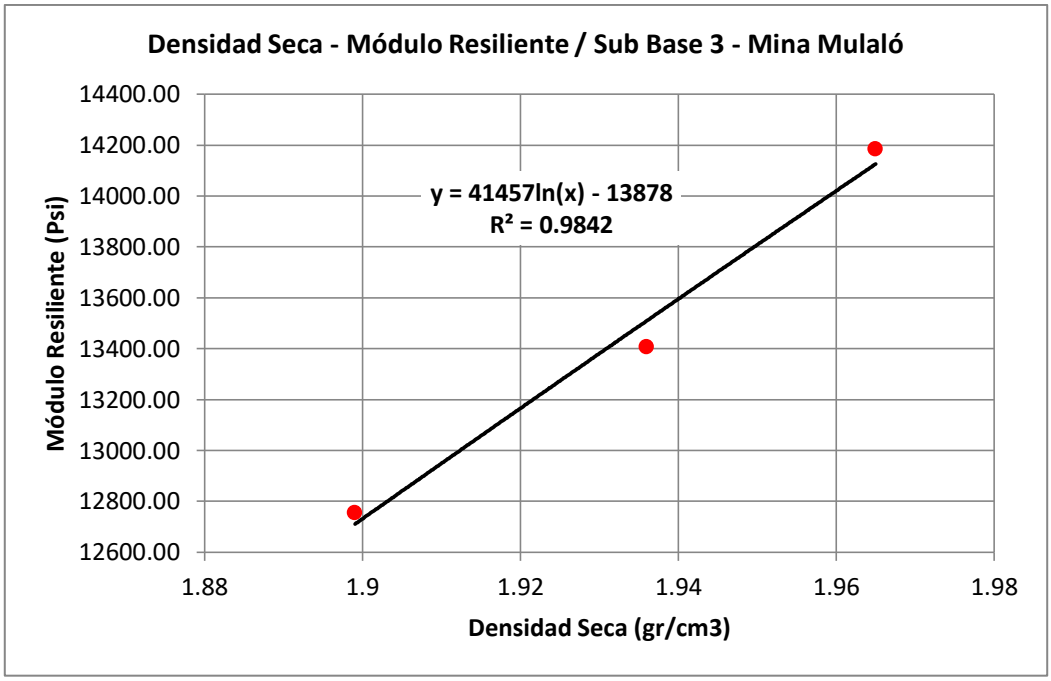


Figura XXXVII: Densidad seca – Módulo Resiliente sub base 3 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

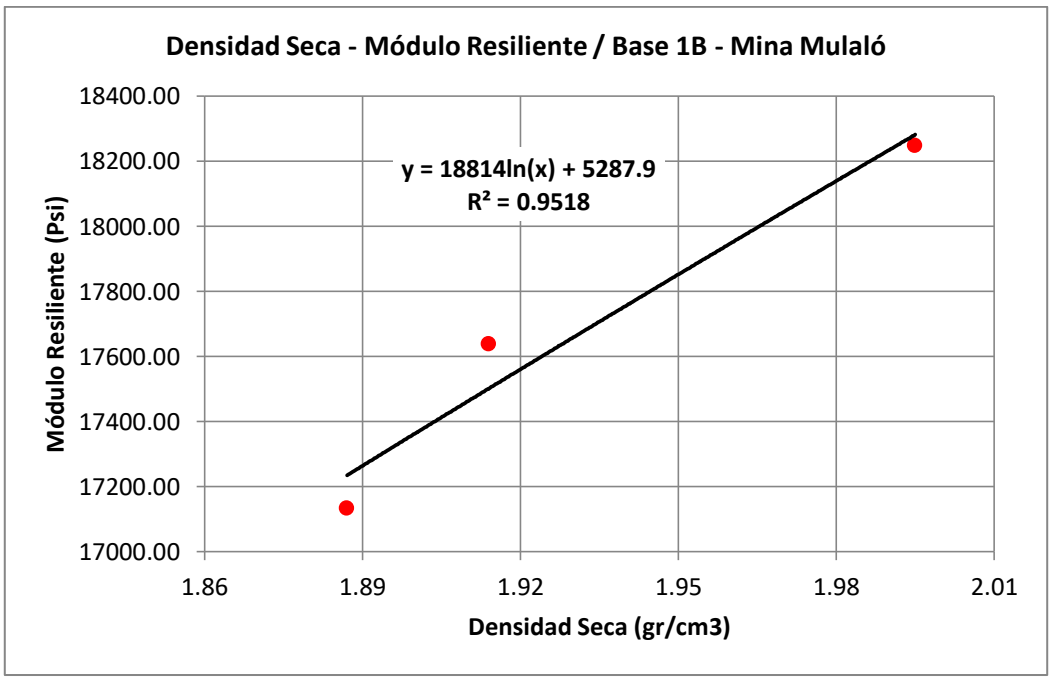


Figura XXXVIII: Densidad seca – Módulo Resiliente base 1B Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

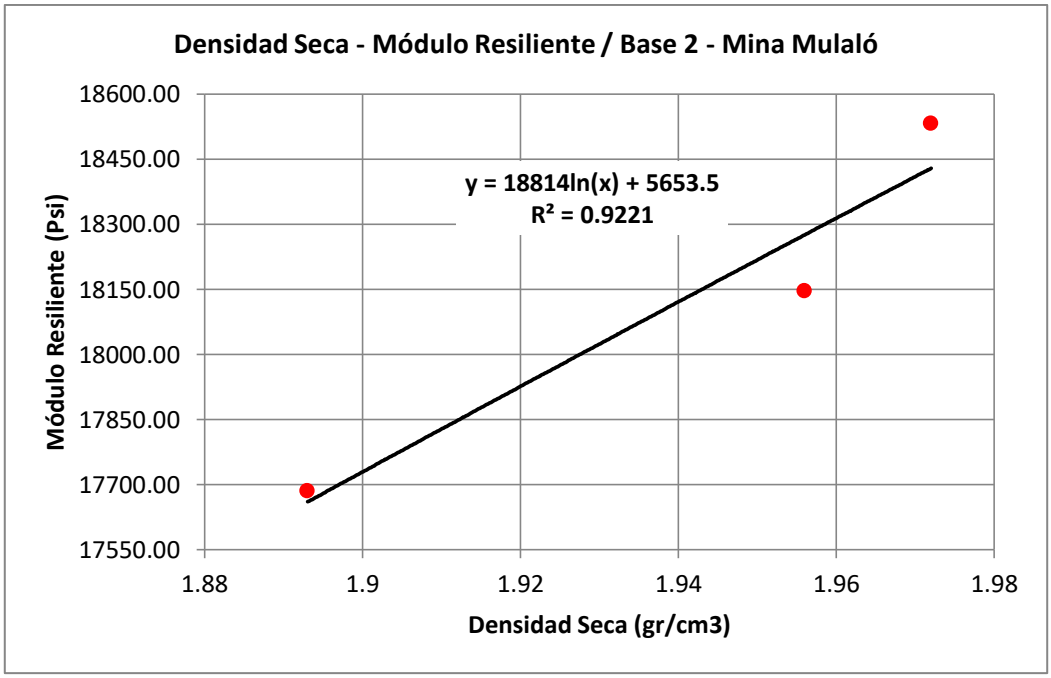


Figura XXXIX: Densidad seca – Módulo Resiliente base 2 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

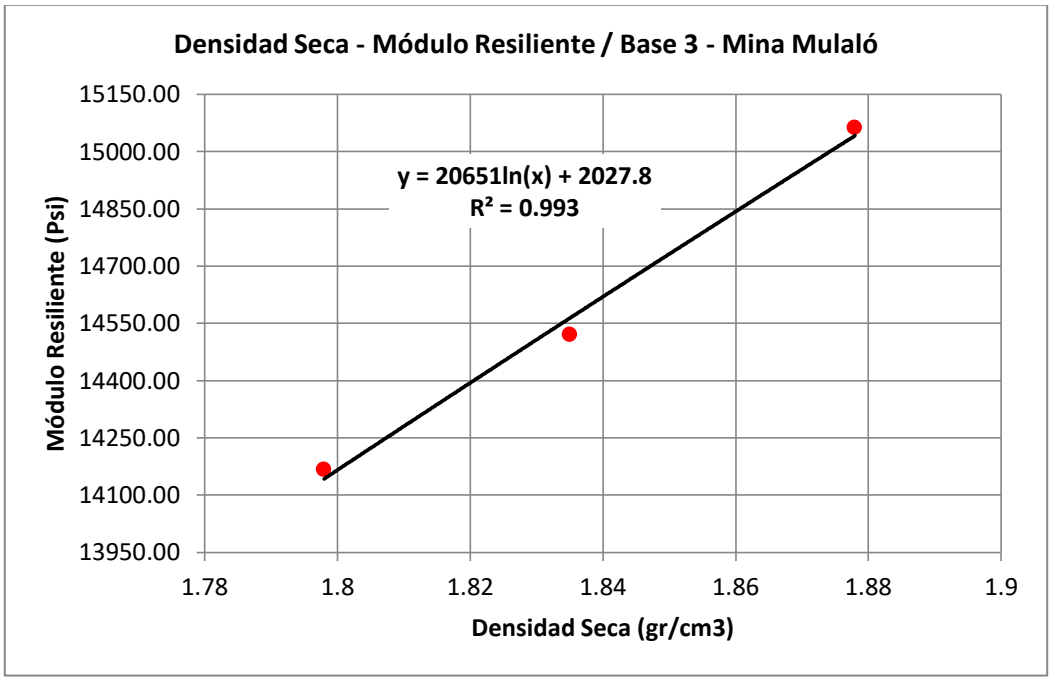


Figura XL: Densidad Seca – Módulo Resiliente base 3 Mina Mulaló

Fuente: Alvarado, 2019.

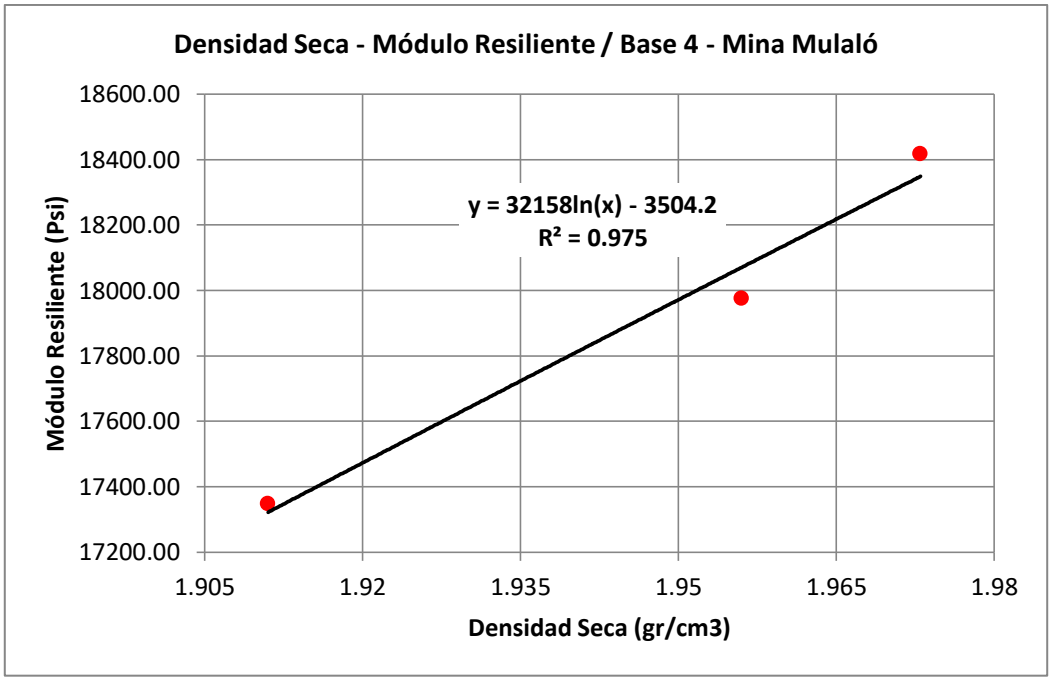


Figura XLI: Densidad seca – Módulo Resiliente base 4 Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

Tabla 63: Resultados Módulo Resiliente Mina Mulaló.

Resultados Módulo Resiliente - Mina Mulaló			
Muestra	**Densidad Seca Máx. (gr/cm3)**	**Ecuación Generada**	**Módulo Resiliente (Psi)**
Sub Base 1	1.958	y = 12670ln(x) + 4826.3	13339.57
Sub Base 2	2.024	y = 54670ln(x) - 25078	13468.49
Sub Base 3	1.966	y = 41457ln(x) - 13878	14146.97
Base 1B	1.994	y = 18814ln(x) + 5287.9	18272.24
Base 2	1.973	y = 18814ln(x) + 5653.5	18438.65
Base 3	1.878	y = 20651ln(x) + 2027.8	15042.21
Base 4	1.972	y = 32158ln(x) - 3504.2	18332.63

Fuente: Alvarado, 2019.

5.2 CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y MÓDULO RESILIENTE:

Una vez obtenido el Módulo Resiliente correcto para la densidad seca máxima encontrada mediante el ensayo de Proctor Modificado, se procede a comparar los resultados tanto para las sub base como para las bases, agrupando cada capa con sus respectivos valores, y así una línea de tendencia que se aproxime a los puntos generados y de esta manera elaborar una ecuación única para la Mina Mulaló – Cotopaxi.

Se debe recalcar que los valores de CBR que están siendo comparados vienen de una media entre la penetración a 0.1 y 0.2 pulgadas, sin embargo dependerá del diseñador que valores tomar.

Tabla 64: Módulo Resiliente / CBR Mina Mulaló.

Módulo Resiliente - % CBR / Mina Mulaló			
Muestra	**Densidad Seca Máx. (gr/cm3)**	**Módulo Resiliente (Psi)**	**% CBR**
Sub Base 1	1.958	13339.57	62.5
Sub Base 2	2.024	13468.49	66
Sub Base 3	1.966	14146.97	73
Base 1B	1.994	18272.24	67.5
Base 2	1.973	18438.65	82
Base 3	1.878	15042.21	41.5
Base 4	1.972	18332.63	82

Fuente: Alvarado, 2019.

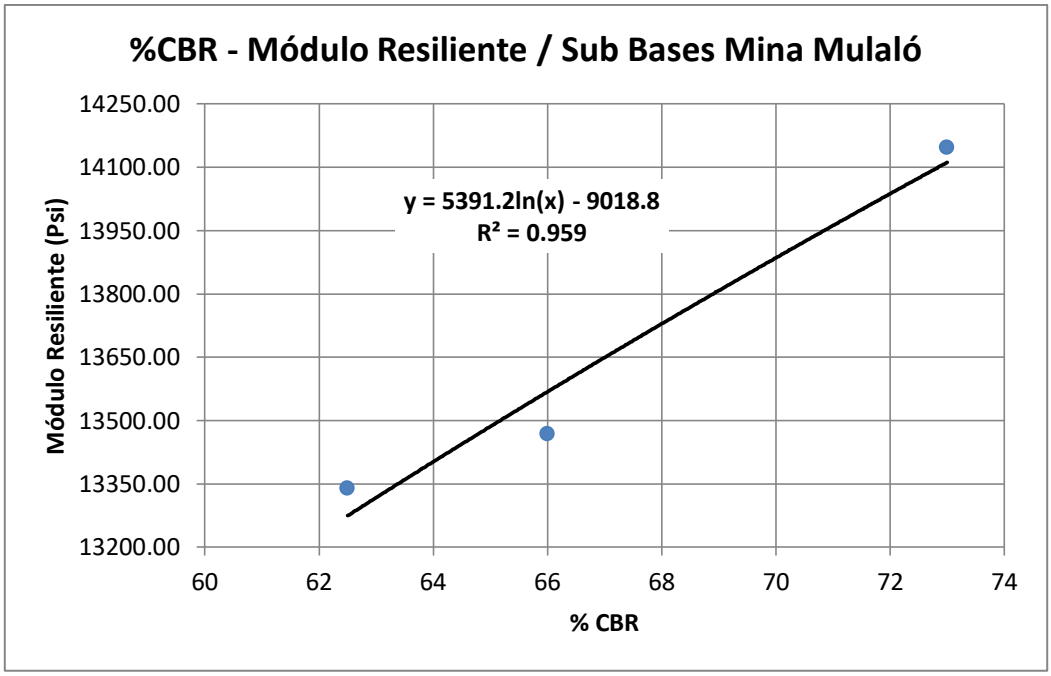


Figura XLII: CBR – Módulo Resiliente sub bases Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

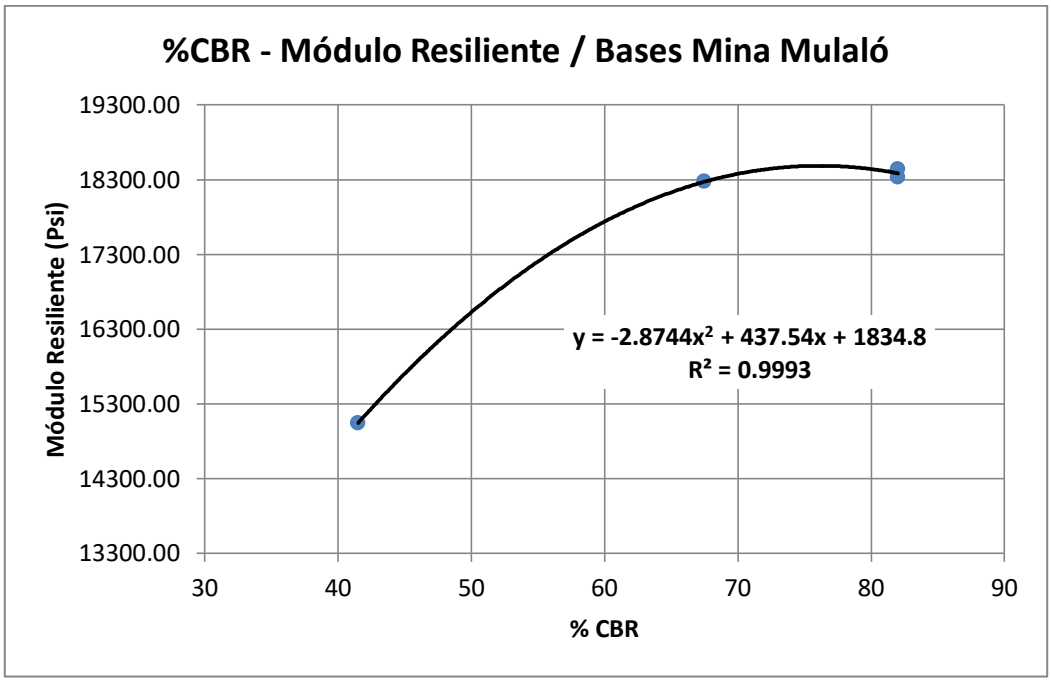


Figura XLIII: CBR – Módulo Resiliente bases Mina Mulaló.

Fuente: Alvarado, 2019.

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIAL:

6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA BASE Y SUB BASE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON CBR Y MÓDULO RESILIENTE:

Para llevar los datos arrojados por los diferentes ensayos a la aplicación adecuada de los mismos y acercarce a un modelo real se tomarán en cuenta para el diseño diferentes parámetros obtenidos de la tesis “Evaluación estructural del pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso” (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015), Se comienza con el tráfico promedio diario anual.

Tabla 65: Tráfico promedio anual (TPDA).

Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	
Livianos	171
Buses	15
Pesados	142
Total	**328**

Fuente: (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015)

Puesto que la vía que se está tomando para el diseño es una arteria principal dentro del sector rural el nivel de confianza (R) que se va tomar será de 90%

Tabla 66: Nivel de confianza para una vía.

Clasificación Funcional	Niveles de Confianza Recomendados	
	Urbano	Rural
Interestatal y Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria Principal	90 - 99	75 - 95
Calle Colectora	80 - 95	75 - 95
Calle Local	50 - 80	50 - 80

Fuente: (AASHTO, 1993), (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015)

La desviación estándar que se toma en la tesis es de referencia es de 0.44, la cual está dentro de los rangos establecidos por la AASHTO.

Tabla 67: Desviación estándar para una vía.

Valores recomendados para la Desviación Estándar (So)	
Condición de diseño	**Desviación Estándar**
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0.25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0.35 - 0.5 (0.45 valor recomendado)

Fuente: (AASHTO, 1993), (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015)

Debido a que en la investigación y análisis del TPDA se consideró un solo contador para ambos sentidos, la distribución de tráfico (Dt) se tomara el valor de 0.5 o el 50%, a su vez el periodo de diseño (n) se consideró a 10 años, la tasa de crecimiento (i) será del 3%, por consiguiente los diferentes tipos de vehículos que se usaran dentro del análisis, serán del tipo 2D, 2DB Y 3A, detallada cada una en la siguiente figura.

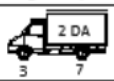
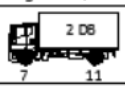
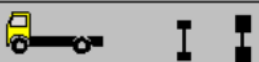
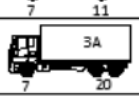
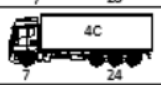
CUADRO DEMOSTRATIVOS DE TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
					largo	Ancho	Alto
2 D			CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA			CAMIÓN DE 2 EJES 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

Figura XLIV: Tipo de vehículos motorizados, remolques y semirremolques.

Fuente: (MTOP, 2012, págs. 86-Vol 2)

Una vez determinado este tipo de parámetros, procedemos a obtener el tráfico promedio diario anual final, o proyectado con la siguiente expresión:

$$TPDA_f = TPDA_o(1+i)^n$$

Tabla 68: Tráfico diario anual final.

Tráfico Promedio Diario Anual Final (TPDAf)			
Tipo de Vehículo	**TPDAo**	**%**	**TPDAf**
2D	171	52	230
2DB	15	5	20
3A	142	43	191
Total	328	100	441

Fuente: Alvarado, 2019.

De la misma manera calculamos el factor de carga equivalente a través de tres ecuaciones dadas por el tipo de eje que pueden ser simples, dobles o un eje tándem.

Tabla 69: Carga equivalente por eje.

Factor de Carga Equivalente por Eje				
Tipo	**Carga Total (Ton)**	**Carga por eje (Ton)**	**%**	**Fce por Eje**
2D	7	3	52	0.022
		4		0.07
2DB	18	7	5	0.063
		11		0.162
3A	27	7	43	0.544
		20		1.36
			Total	2.22

Fuente: (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015)

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

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

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

A continuación se calcula el número de ejes equivalentes al peso de 82 Toneladas utilizando los datos obtenidos anteriormente y con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$N(8{,}2\ T) = \left(\frac{TPDA_o + TPDA_f}{2}\right) \times 365 \times Dt\ \times n\ \times FCE$$

$$N(8{,}2\ T) = 1{,}56\ x\ 10^6$$

Por último para evaluar la serviciabilidad de la vía, se debe tomar en consideración los siguientes datos:

Tabla 70: Serviciabilidad de una vía.

Perdida por Serviciabilidad		
Po	Entre 4,2 - 4,5	
Pt	Entre 5 - 4	Muy bueno
	Entre 4 - 3	Bueno
	Entre 3 - 2	Regular
	Entre 2 - 1	Malo
	Entre 1 - 0	Muy malo

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$PSI = Po - PT$$

$$PSI = 4{,}2 - 2{,}2$$

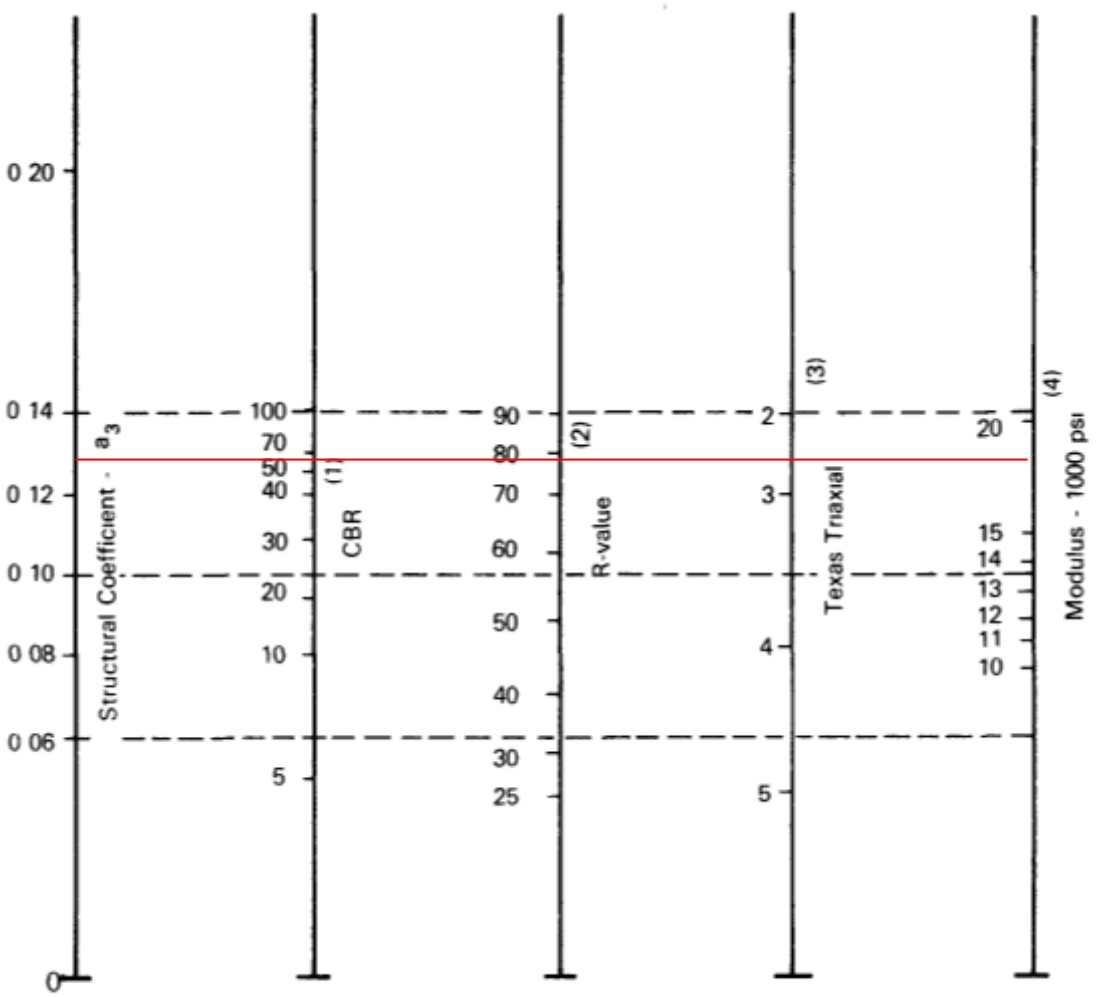
$$PSI = 2{,}0$$

Al haber detallado y establecido cada parámetro que se usará en el diseño de la estructura del pavimento, se procederá a determinar el Coeficiente estructural para cada base y sub base de la Mina.

6.2 CCOEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASES Y SUB BASES MINA MULALÓ

MEDIANTE ENSAYO CBR:

6.2.1 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 1:



(1) Scale derived from correlations from Illinois

(2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming

(3) Scale derived from correlations obtained from Texas

(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

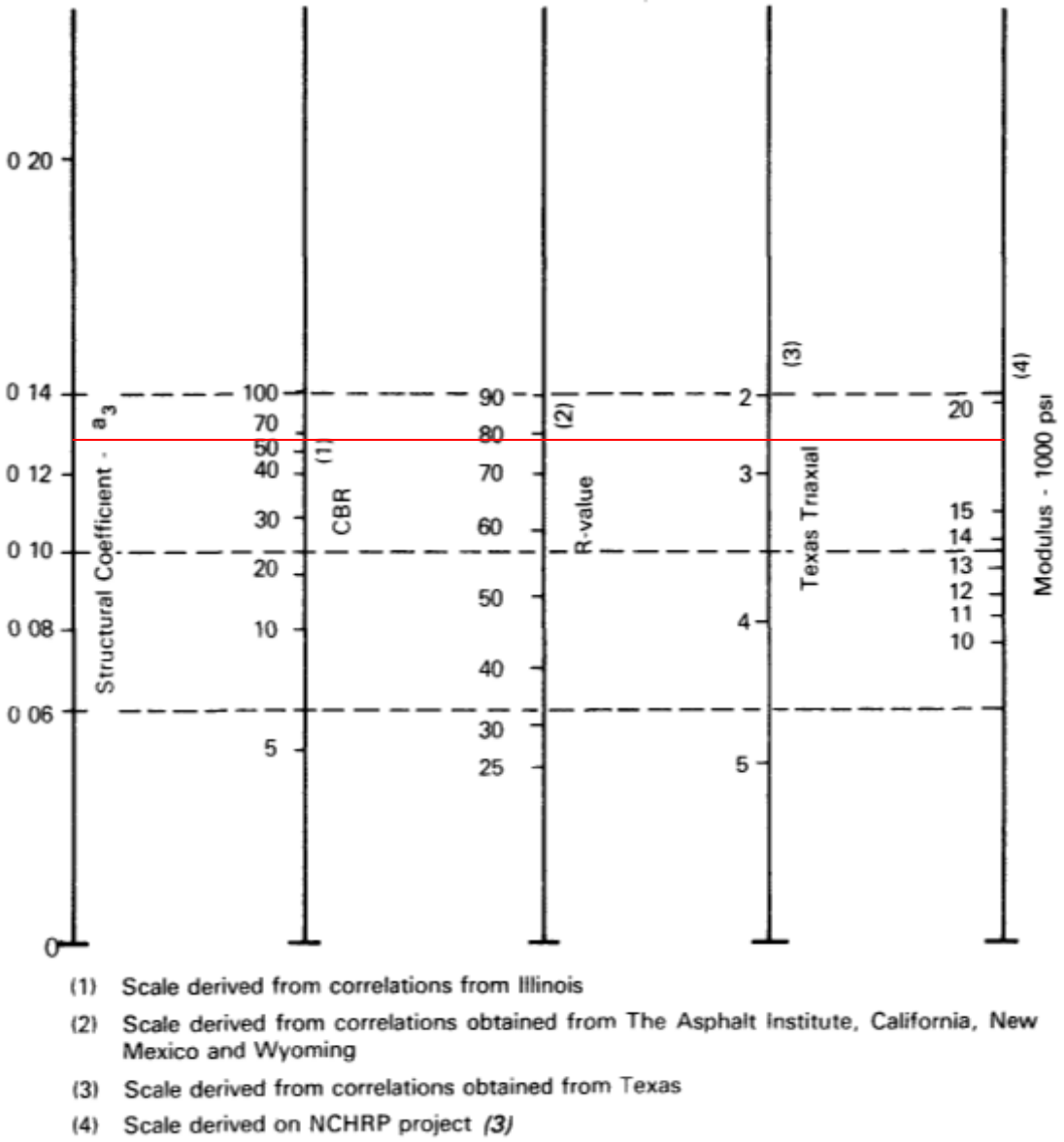
Figura XLV: Coeficiente estructural sub base 1 mediante CBR.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 121)

$$CBR\ sub\ base\ 1 = 62.5\ ;\ a3 = 0{,}128\ ; MR = 18000\ psi$$

$$a3 = \frac{0{,}128\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0503\ cm$$

6.2.2 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 2:



(1) Scale derived from correlations from Illinois

(2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming

(3) Scale derived from correlations obtained from Texas

(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

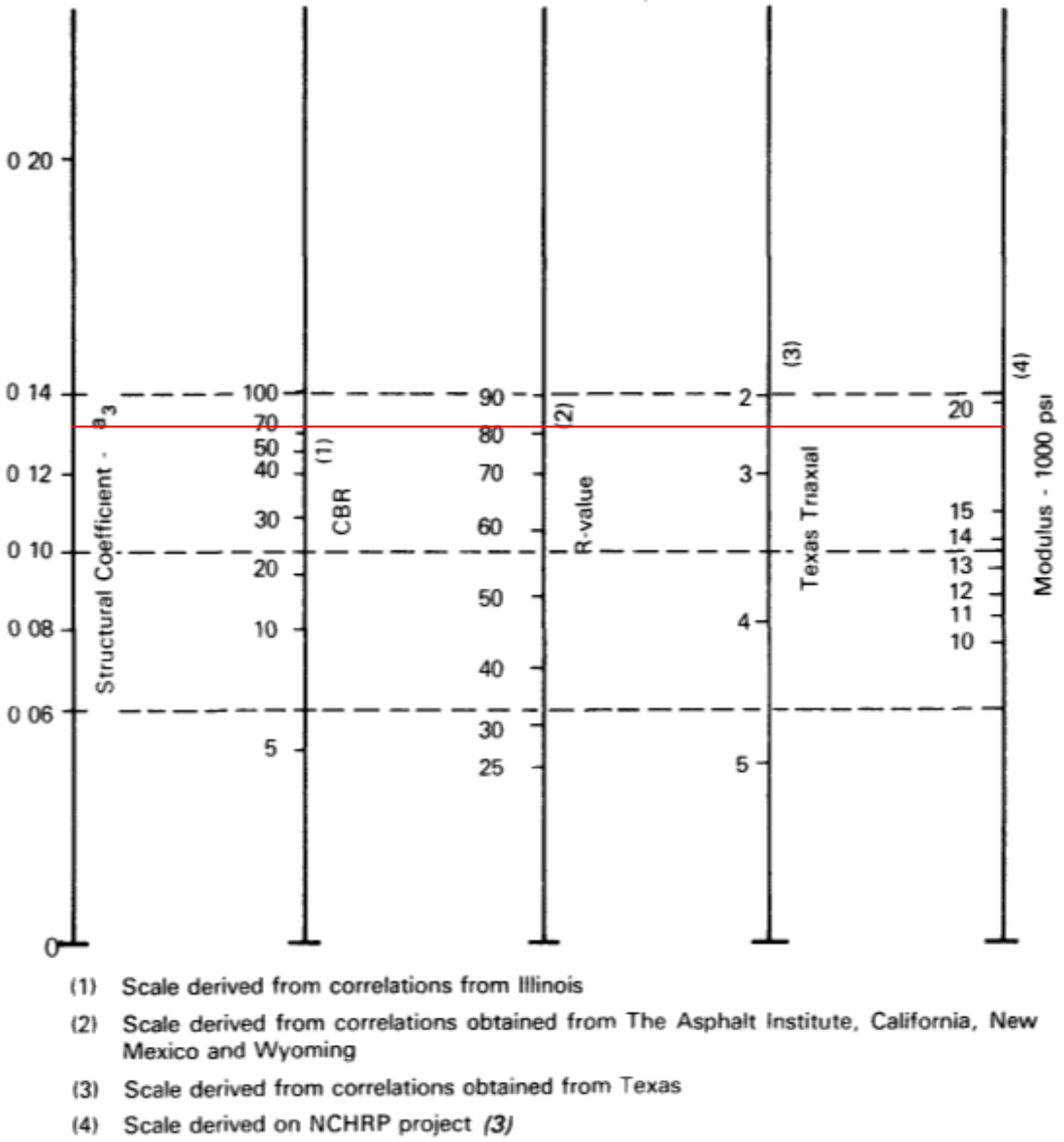
Figura XLVI: Coeficiente estructural sub base 2 mediante CBR.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 121)

$$CBR\ sub\ base\ 2 = 66\ ;\ a3 = 0{,}129\ ; MR = 18200\ psi$$

$$a3 = \frac{0{,}129\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0507\ cm$$

6.2.3 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 3:



(1) Scale derived from correlations from Illinois

(2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming

(3) Scale derived from correlations obtained from Texas

(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figura XLVII: Coeficiente estructural sub base 3 mediante CBR.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 121)

$$CBR\ sub\ base\ 3 = 73\ ;\ a3 = 0{,}132\ ; MR = 18700\ psi$$

$$a3 = \frac{0{,}132\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0519\ cm$$

6.2.4 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 1B:

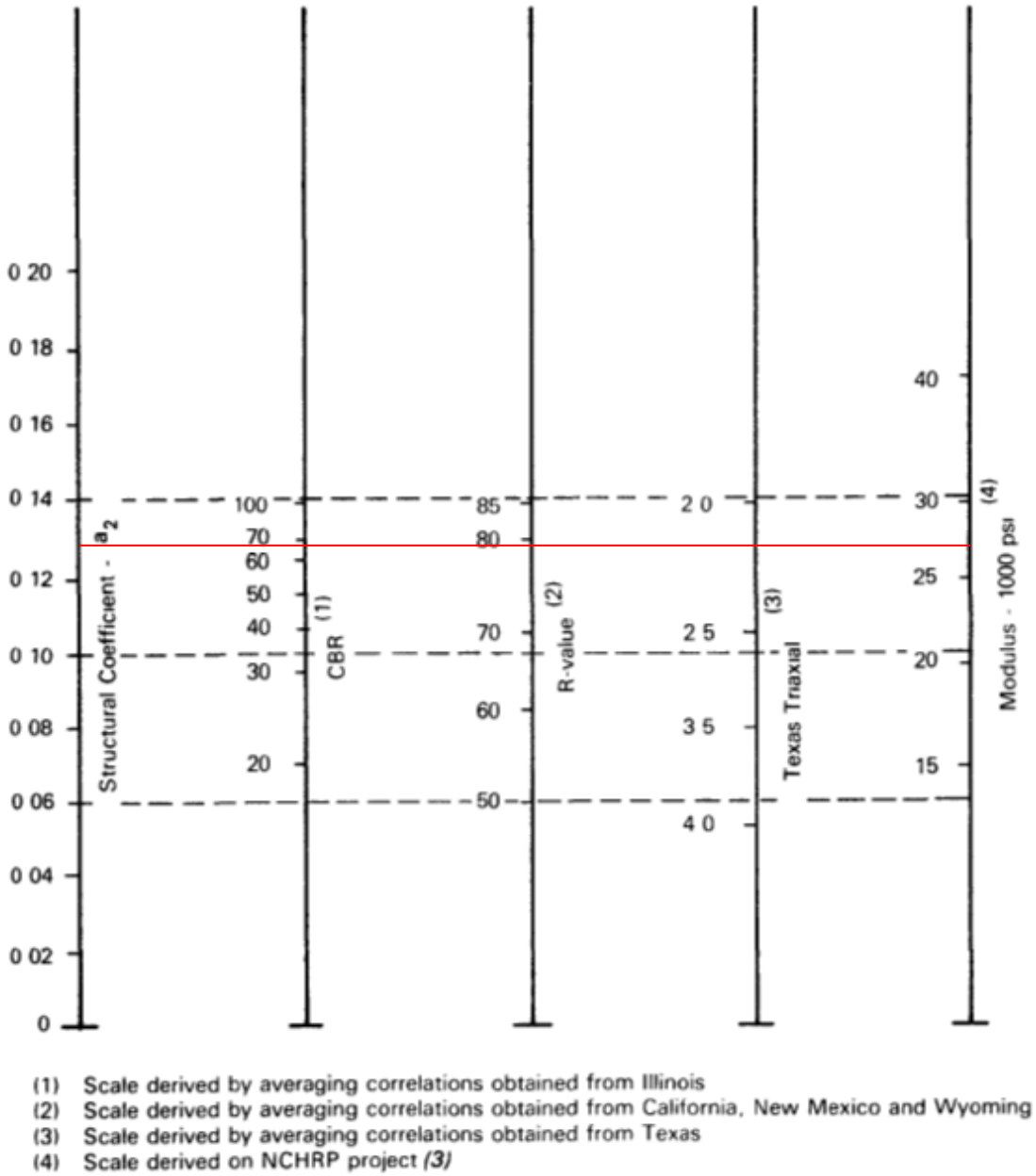


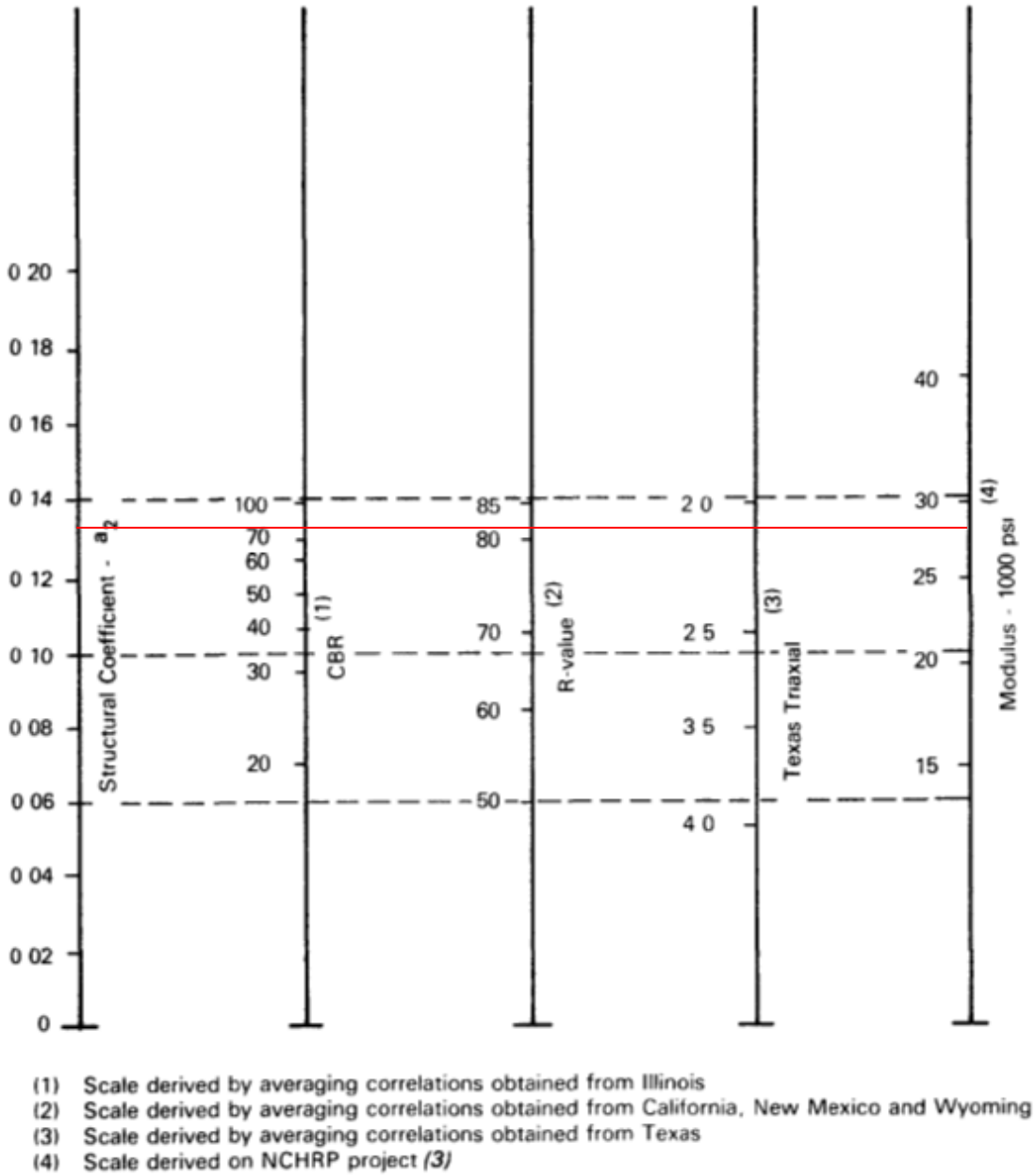
Figura XLVIII: Coeficiente estructural base 1B mediante CBR.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$CBR\ base\ 1B = 67{,}5\ ;\ a2 = 0{,}128\ ; MR = 27000\ psi$$

$$a2 = \frac{0{,}128\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0503\ cm$$

6.2.5 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 2:



(1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
(2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figura XLIX: Coeficiente estructural base 2 mediante CBR.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$CBR\ base\ 2 = 82\ ;\ a2 = 0{,}132\ ; MR = 28500\ psi$$

$$a2 = \frac{0{,}132\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0519\ cm$$

6.2.6 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 3:

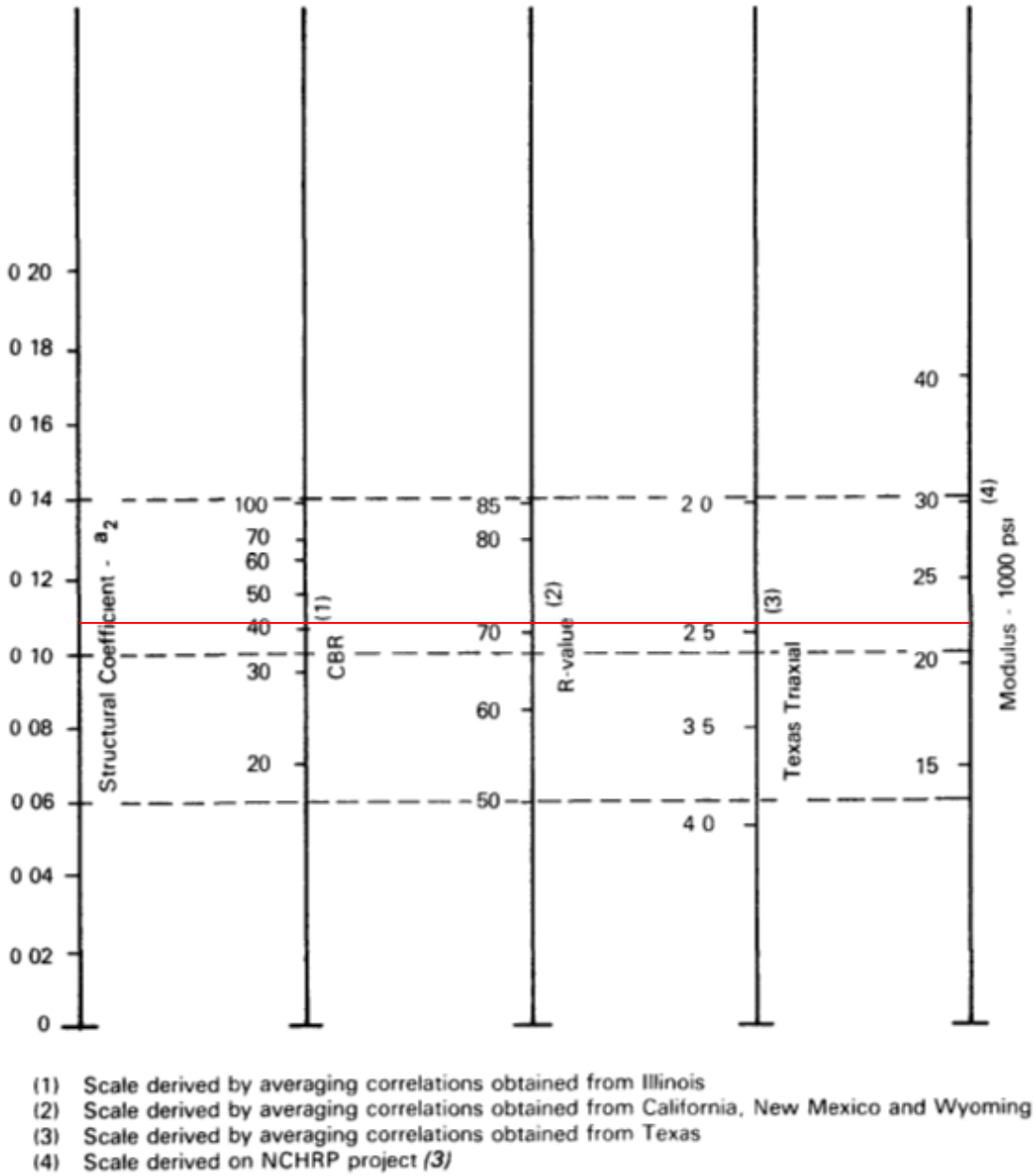


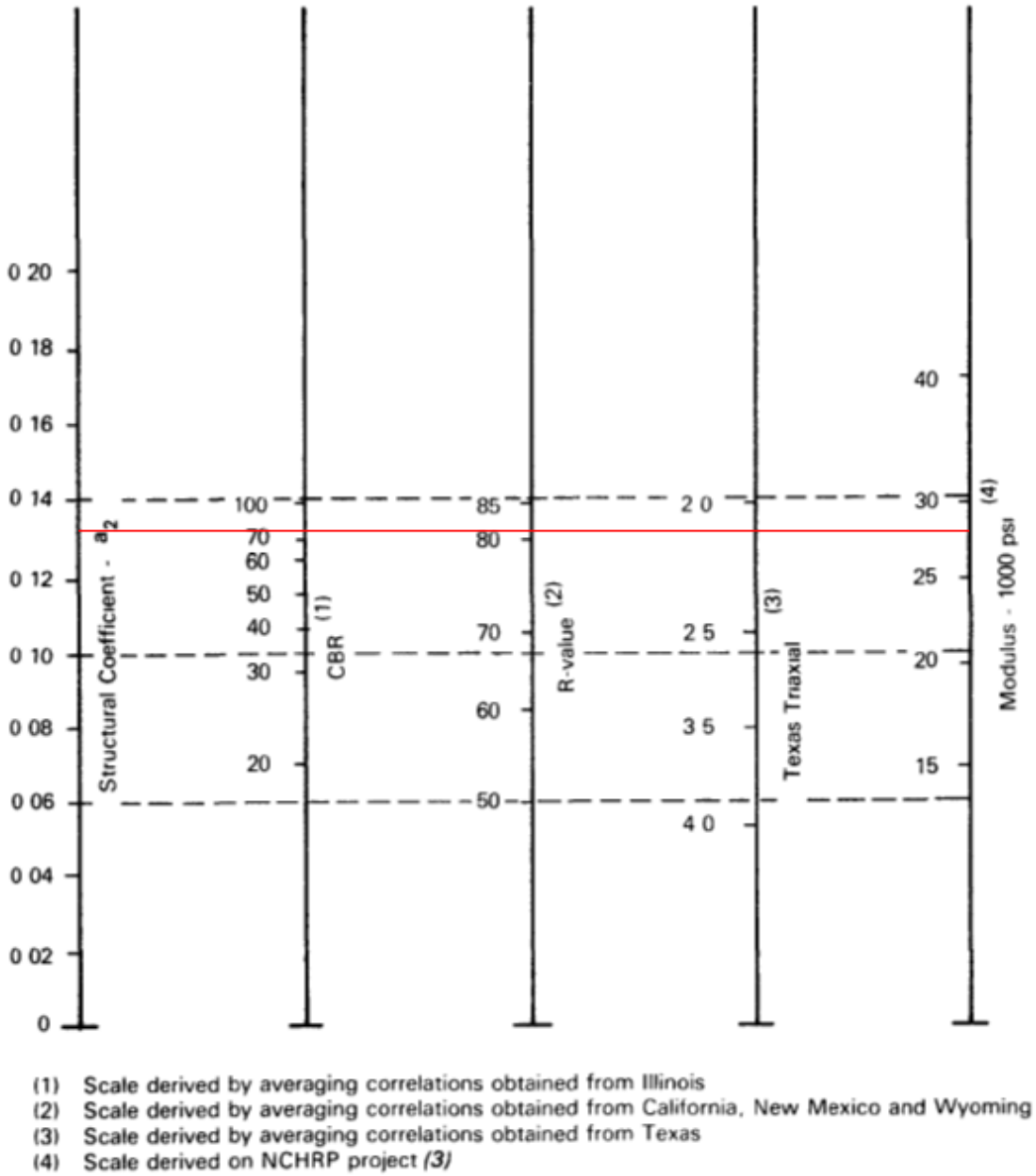
Figura L: Coeficiente estructural base 3 mediante CBR.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$CBR\ base\ 3 = 41.5\ ;\ a2 = 0{,}108\ ; MR = 22000\ psi$$

$$a2 = \frac{0{,}108\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0425\ cm$$

6.2.7 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 4:



(1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
(2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figura LI: Coeficiente estructural base 4 mediante CBR.

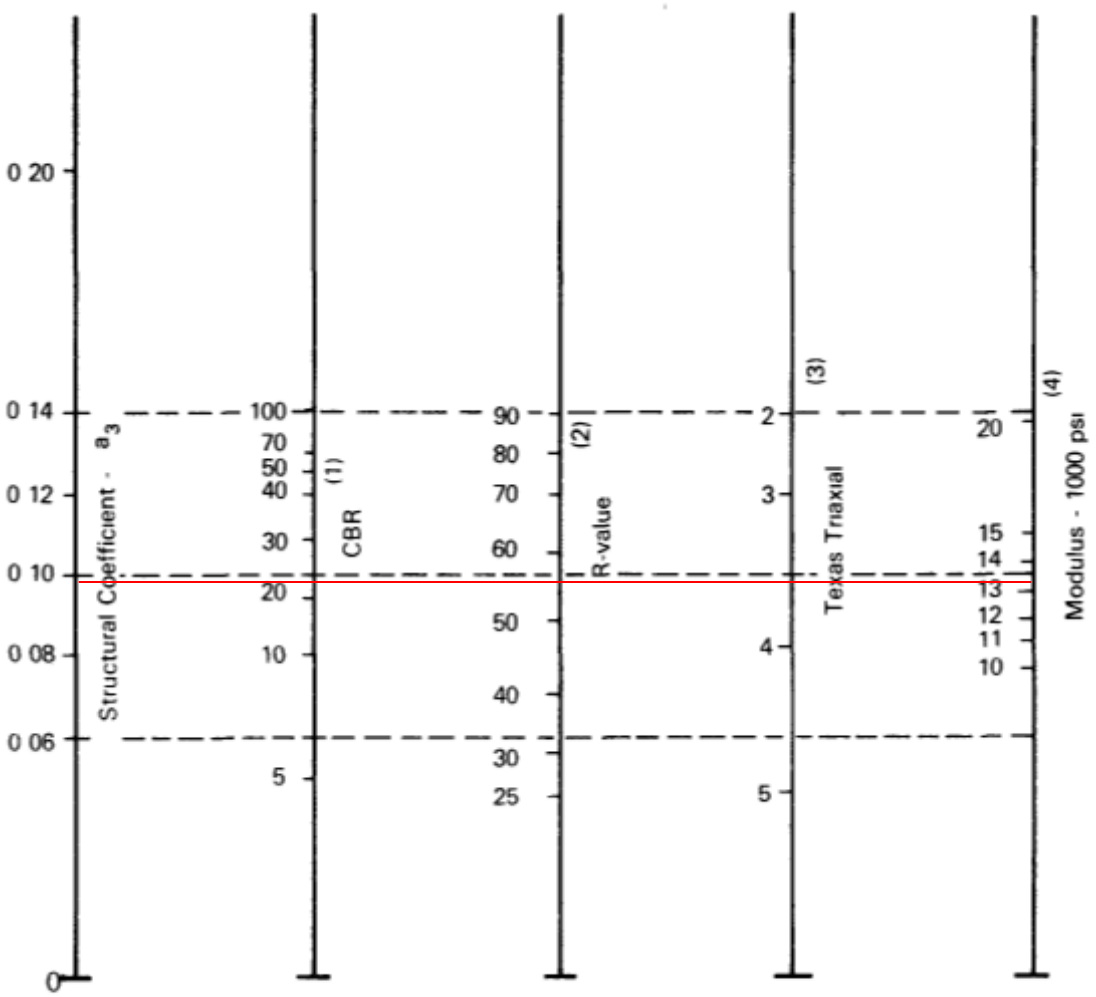
Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$CBR\ base\ 4 = 82\ ;\ a2 = 0{,}132\ ; MR = 22000\ psi$$

$$a2 = \frac{0{,}132\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0519\ cm$$

6.3 COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASES Y SUB BASES MINA MULALÓ MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE:

6.3.1 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 1:



(1) Scale derived from correlations from Illinois

(2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming

(3) Scale derived from correlations obtained from Texas

(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figura LII: Coeficiente estructural sub base 1 mediante Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 121)

$$MR\ sub\ base\ 1 = 13339{,}57\ ;\ a3 = 0{,}098$$

$$a3 = \frac{0{,}098\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0385\ cm$$

6.3.2 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 2:

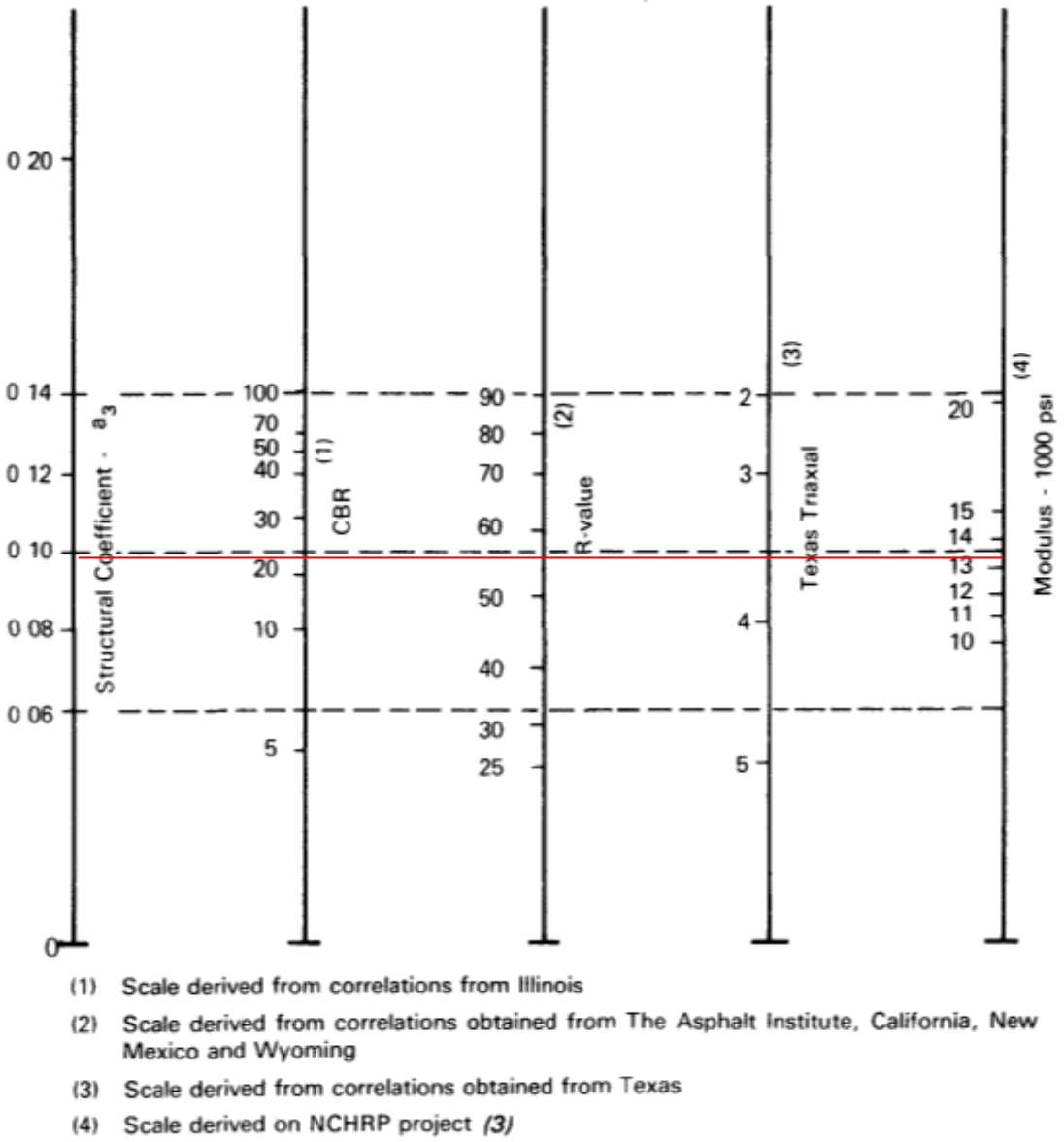


Figura LIII: Coeficiente estructural sub base 2 mediante Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 121)

$$MR\ sub\ base\ 2 = 13468{,}49\ ;\ a3 = 0{,}099$$

$$a3 = \frac{0{,}099\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0389\ cm$$

6.3.3 COEFICIENTE ESTRUCTURAL SUB BASE 3:

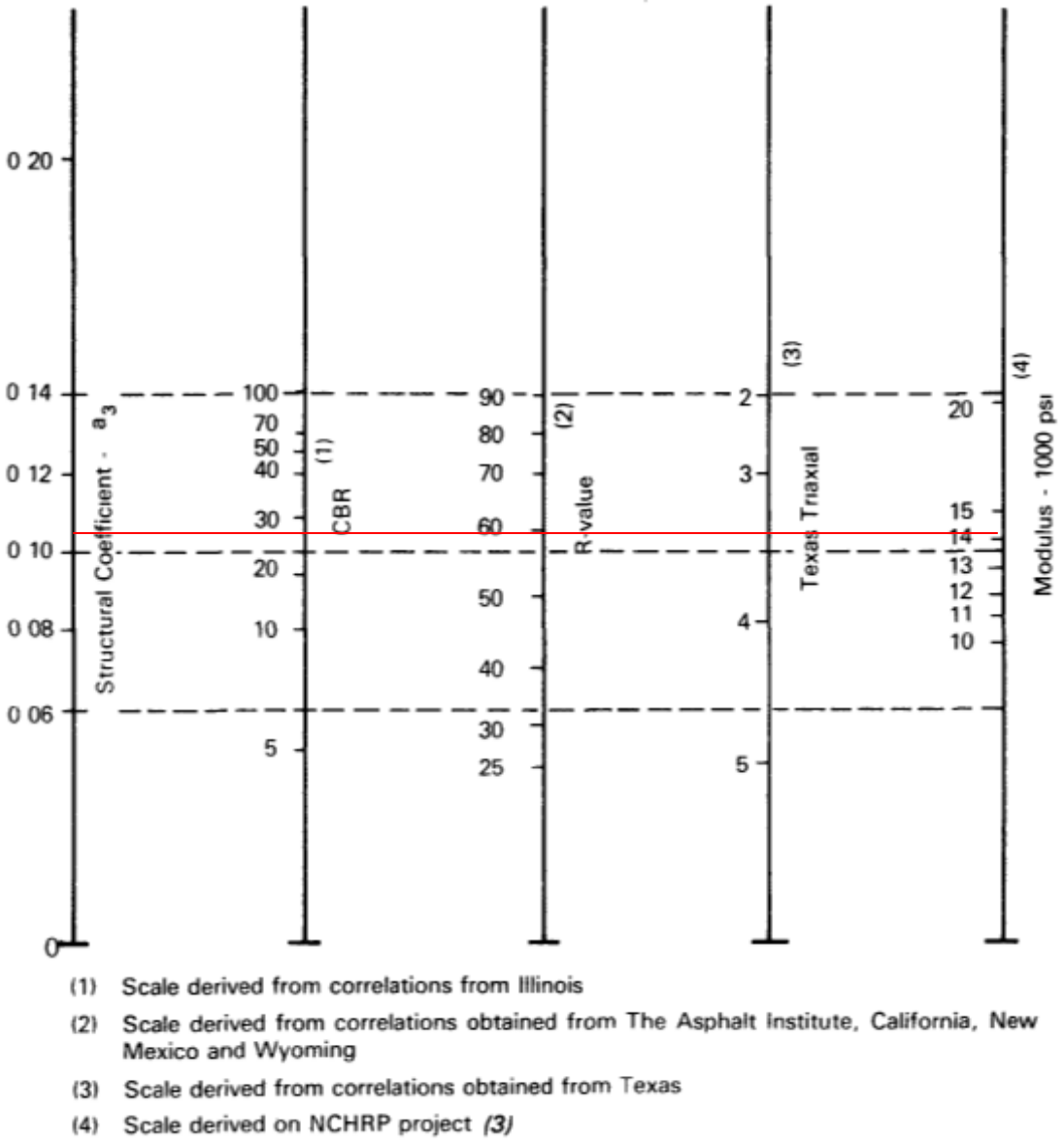


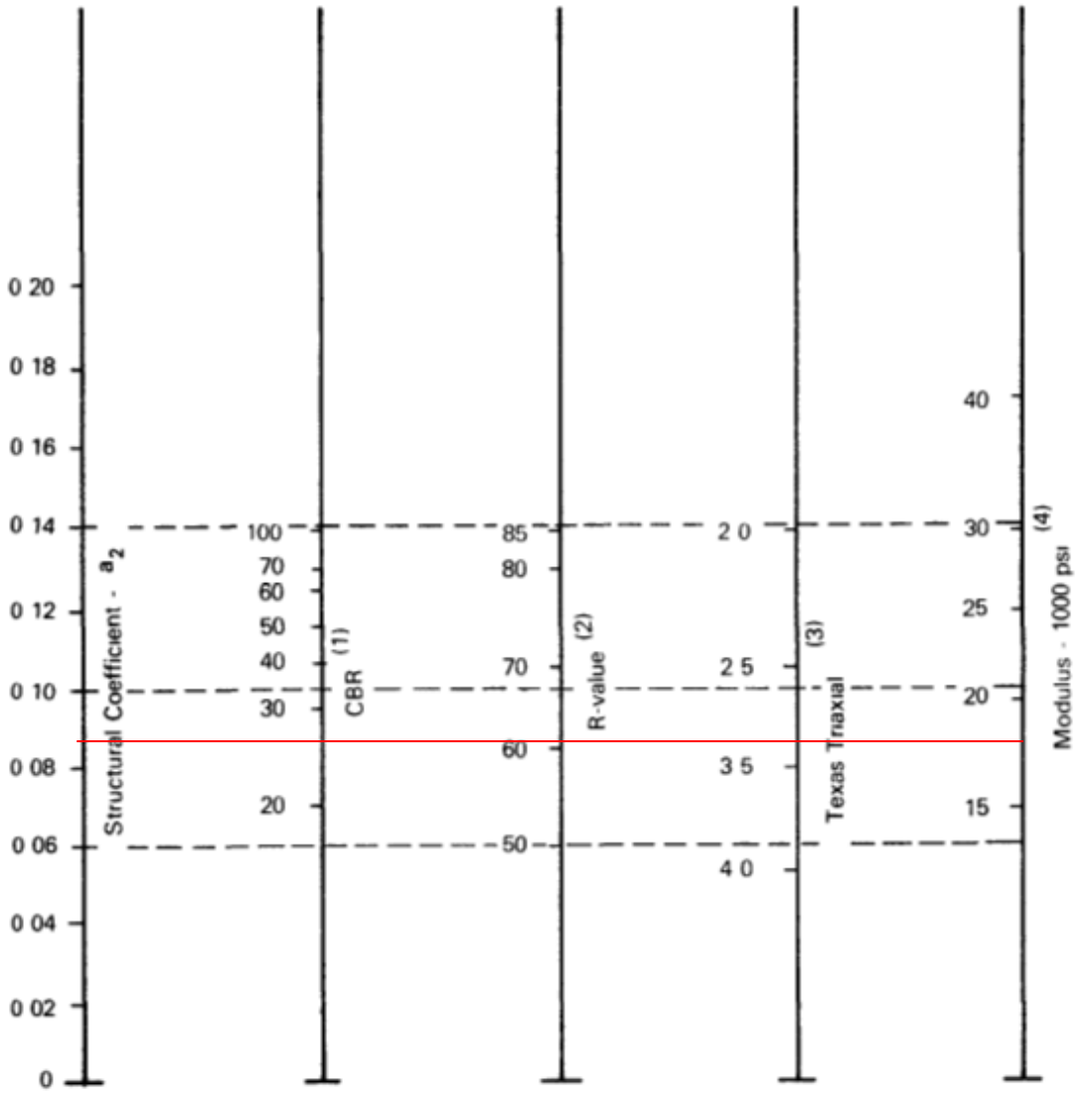
Figura LIV: Coeficiente estructural sub base 3 mediante Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 121)

$$MR\ sub\ base\ 3 = 14146{,}97\ ;\ a3 = 0{,}105$$

$$a3 = \frac{0{,}105\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0413\ cm$$

6.3.4 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 1B:



(1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
(2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figura LV: Coeficiente estructural base 1B mediante Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$MR\ base\ 1B = 18272{,}24\ ;\ a2 = 0{,}088$$

$$a2 = \frac{0{,}088\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0346\ cm$$

6.3.5 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 2:

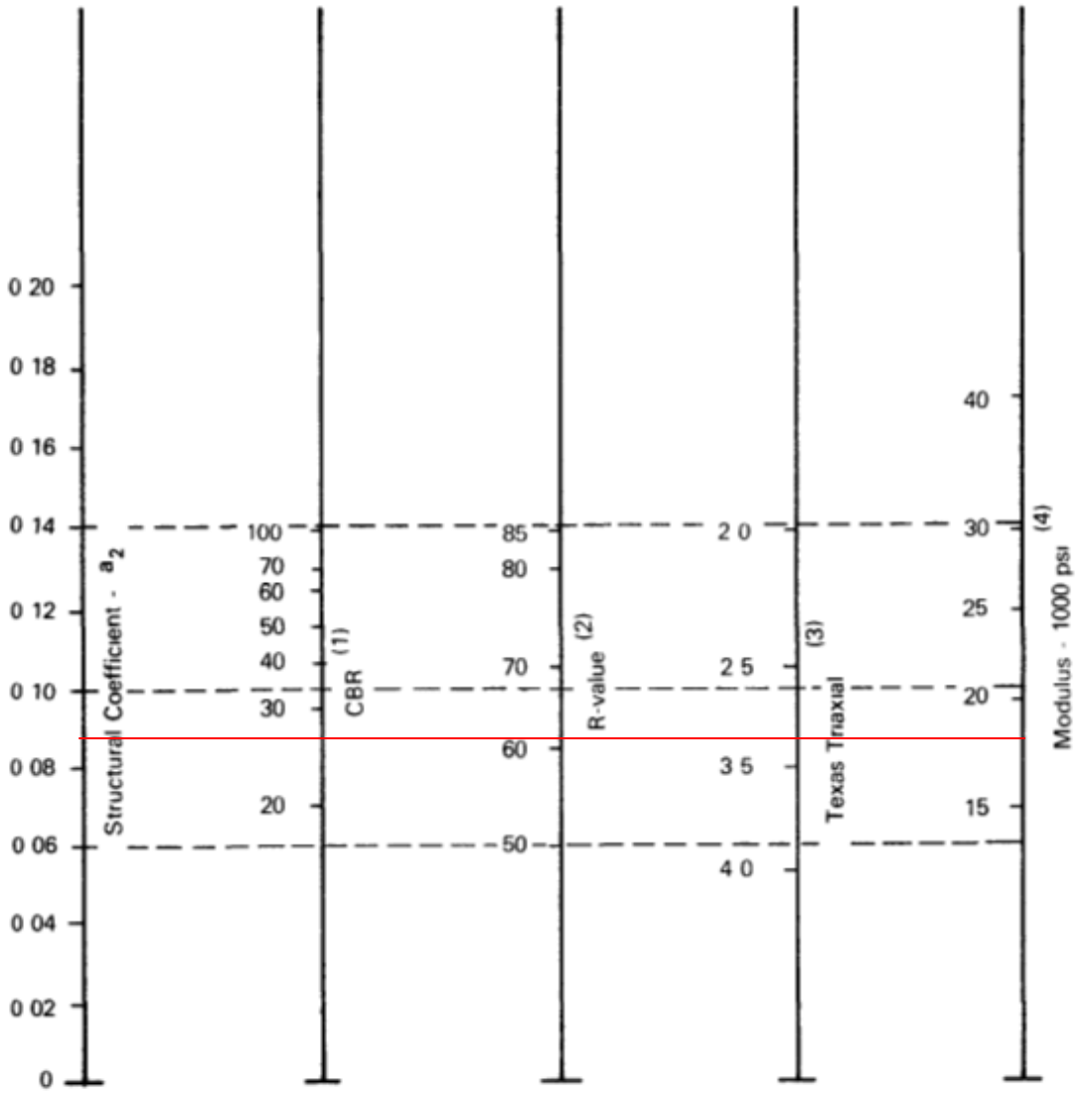


Figura LVI: Coeficiente estructural base 2 mediante Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$MR\ base\ 2 = 18438{,}65\ ;\ a2 = 0{,}090$$

$$a2 = \frac{0{,}090\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0354\ cm$$

6.3.6 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 3:

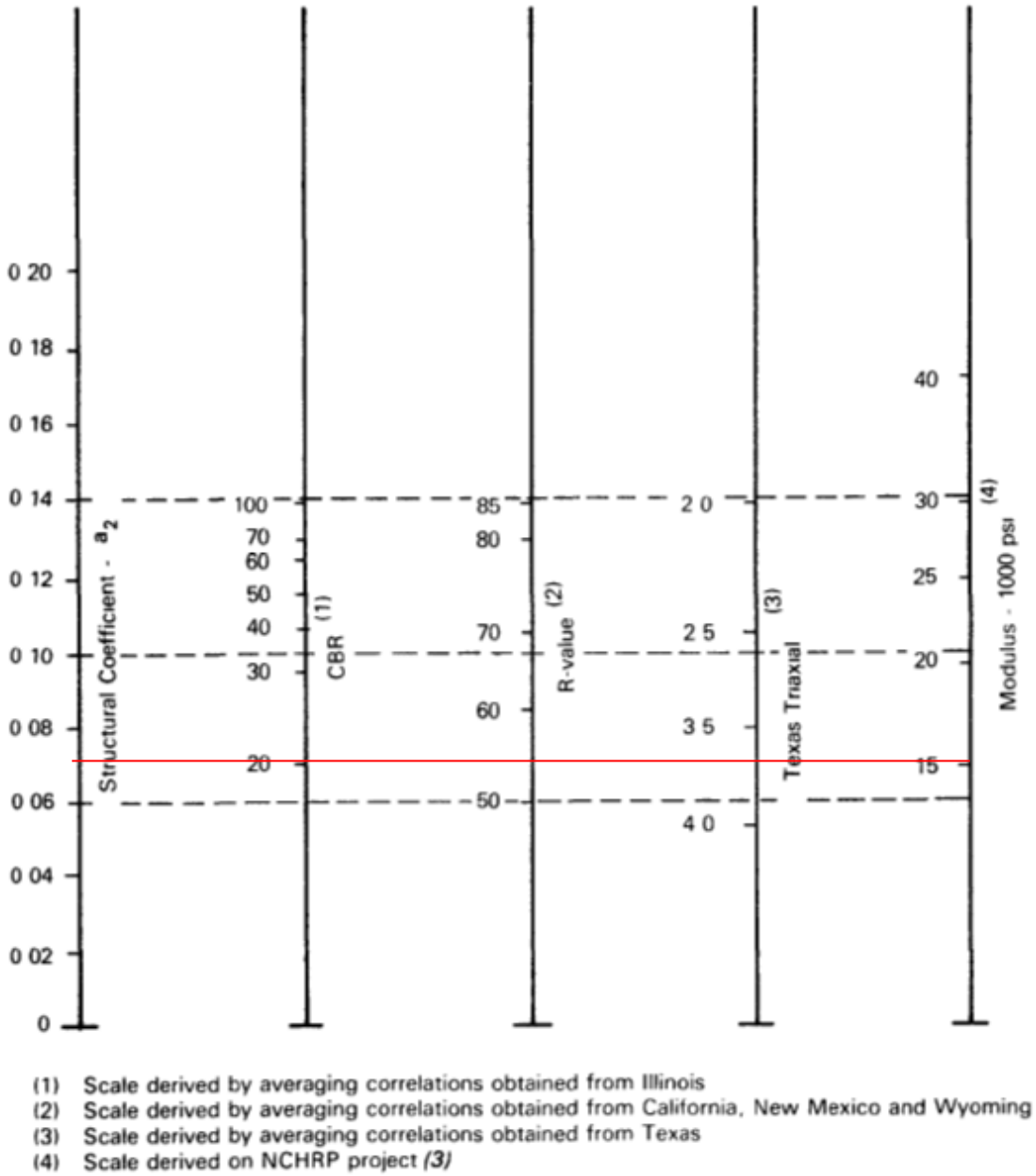


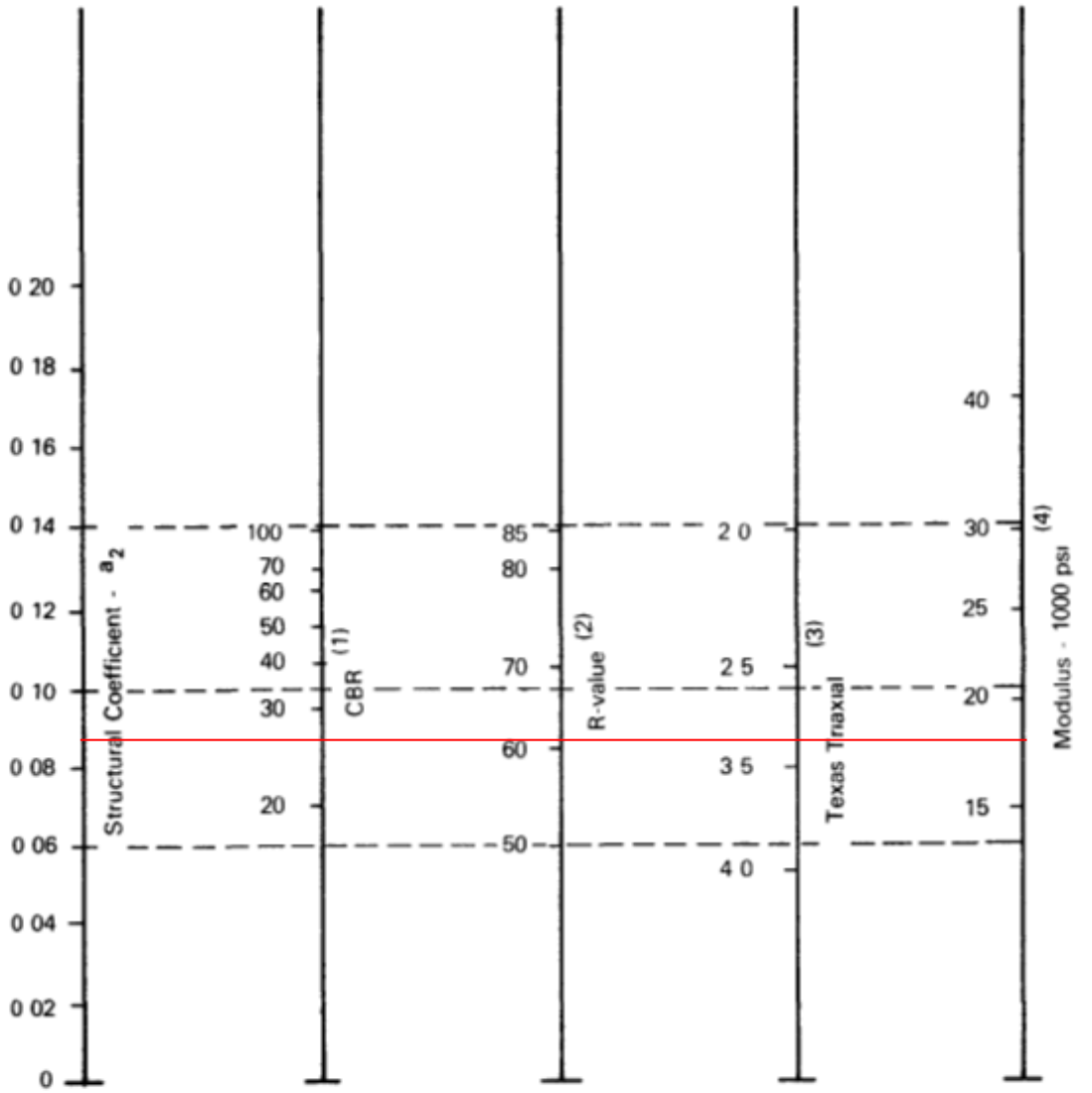
Figura LVII: Coeficiente estructural base 3 mediante Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$MR\ base\ 3 = 15042{,}21\ ;\ a2 = 0{,}068$$

$$a2 = \frac{0{,}068\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0267\ cm$$

6.3.7 COEFICIENTE ESTRUCTURAL BASE 4:



(1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
(2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
(3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
(4) Scale derived on NCHRP project *(3)*

Figura LVIII: Coeficiente estructural base 4 Módulo Resiliente.

Fuente: (AASHTO, 1993, pág. 119)

$$MR\ base\ 4 = 18332{,}63\ ;\ a2 = 0{,}089$$

$$a2 = \frac{0{,}089\ pulg}{2{,}54\ cm} = 0{,}0350\ cm$$

6.4 COMPARACIÓN DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES:

Tabla 71: Comparación de Coeficientes Estructurales.

Comparación Coeficientes Estructurales - Mina Mulaló					
Muestra	**CE mediante CBR (pulg)**	**CE mediante Módulo Resiliente (pulg)**	**CE mediante CBR (cm)**	**CE mediante Módulo Resiliente (cm)**	**Coeficiente AASHTO (cm)**
Sub base 1	0.128	0.098	0.0504	0.0386	0.032 - 0.043
Sub base 2	0.129	0.099	0.0508	0.0390	0.032 - 0.043
Sub base 3	0.132	0.105	0.0520	0.0413	0.032 - 0.043
Base 1	0.128	0.088	0.0504	0.0346	0.047 - 0.056
Base 2	0.132	0.090	0.0520	0.0354	0.047 - 0.056
Base 3	0.108	0.068	0.0425	0.0268	0.028 - 0.051
Base 4	0.132	0.089	0.0520	0.0350	0.047 - 0.056

Fuente: Alvarado, 2019.

6.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE CBR:

El diseño que se realizara estará formado por las dos capas que la mina explota y comercializa en la actualidad que son la Base 2 y Sub base 3, las cuales dieron excelentes resultados tanto en el ensayo de C.B.R. (California Bearing Ratio) y en la caracterización del mismo, para esto se debe considerar el análisis de la sub rasante la, en la cual se asumirá un porcentaje de C.B.R. del 11% a fin a la tesis de referencia que se está tomando para el estudio (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015).

6.5.1 DISEÑO DE LA SUB RASANTE:

Para obtener el módulo resiliente de la capa se debe considerar el porcentaje de CBR que se asumió con la finalidad de usar la ecuación correcta en el diseño:

$$MR = 2555 * CBR^{0.64} \qquad (CBR > 10\%)$$

$$MR = 2555 * 11^{0.64} = 11854.4772\ Psi$$

$$MR = 11000\ Psi$$

Una vez obtenido este valor, procedemos a ingresar los datos en el programa y calcular el número estructural de la Sub rasante.

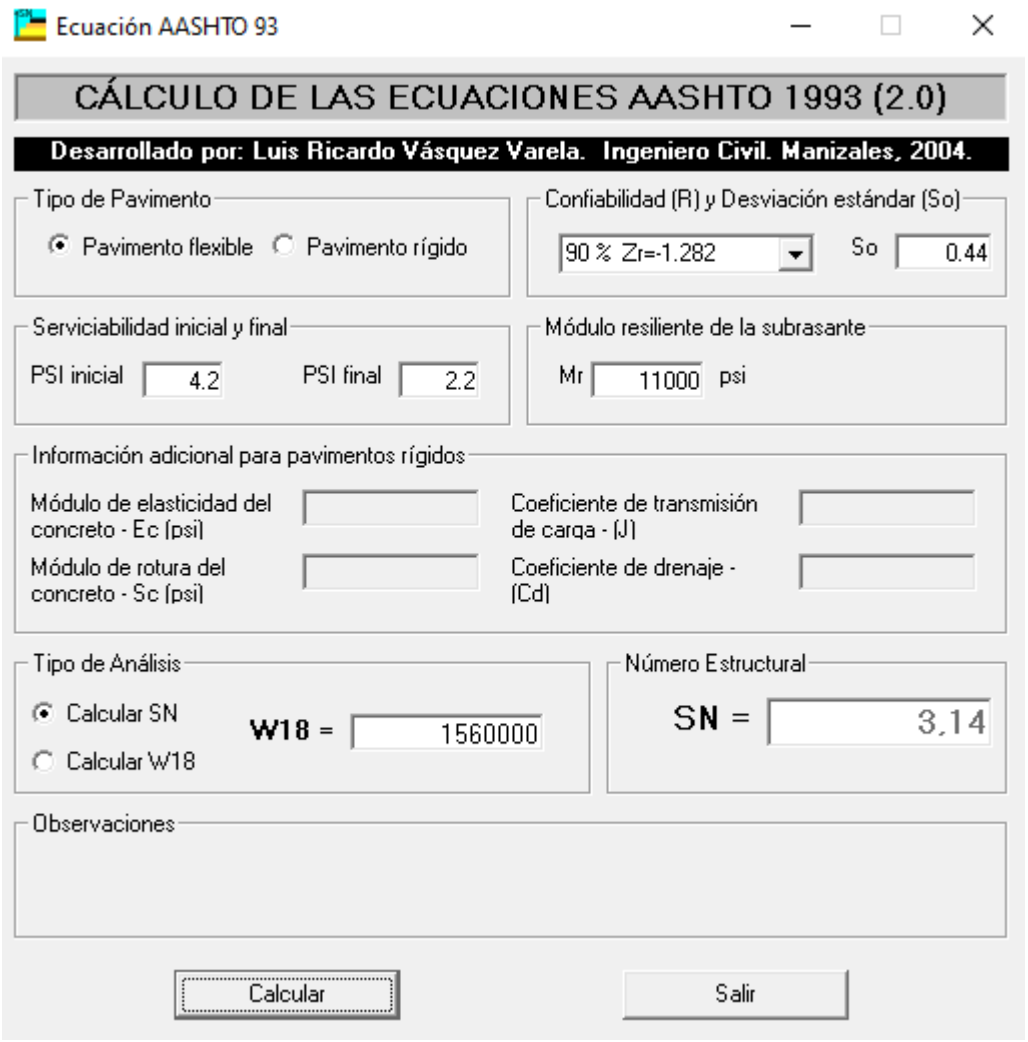


Figura LIX: Número estructural de la Sub rasante.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$SN\ sub\ rasante = 3{,}14$$

6.5.2 DISEÑO DE LA BASE:

Para calcular el número estructural de la base se debe ingresar al programa el Módulo Resiliente que se obtuvo mediante el nomograma, que es igual a 28500 Psi, con su respectivo coeficiente estructural de 0.0520, todo esto partiendo desde el valor de C.B.R.

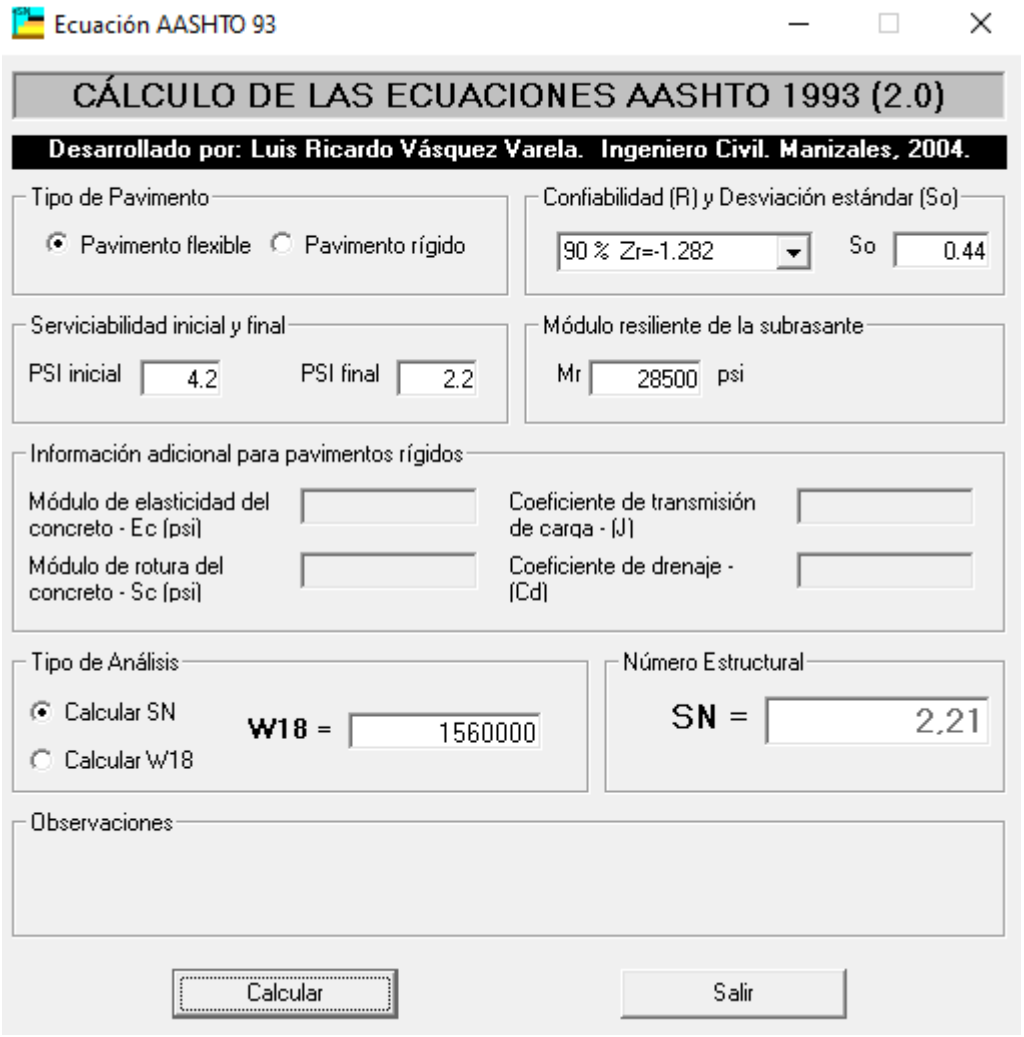


Figura LX: Número estructural de la Base 2.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$SN\ base\ 2 = 2{,}21$$

6.5.3 DISEÑO DE LA SUB BASE:

Para esta capa realizamos el mismo procedimiento y calculamos el numero estructural de la base utilizando el Módulo Resiliente correspondiente al nomograma utilizado que es de 18700 Psi., y el numero estructural de la capa que fue de 0.0520.

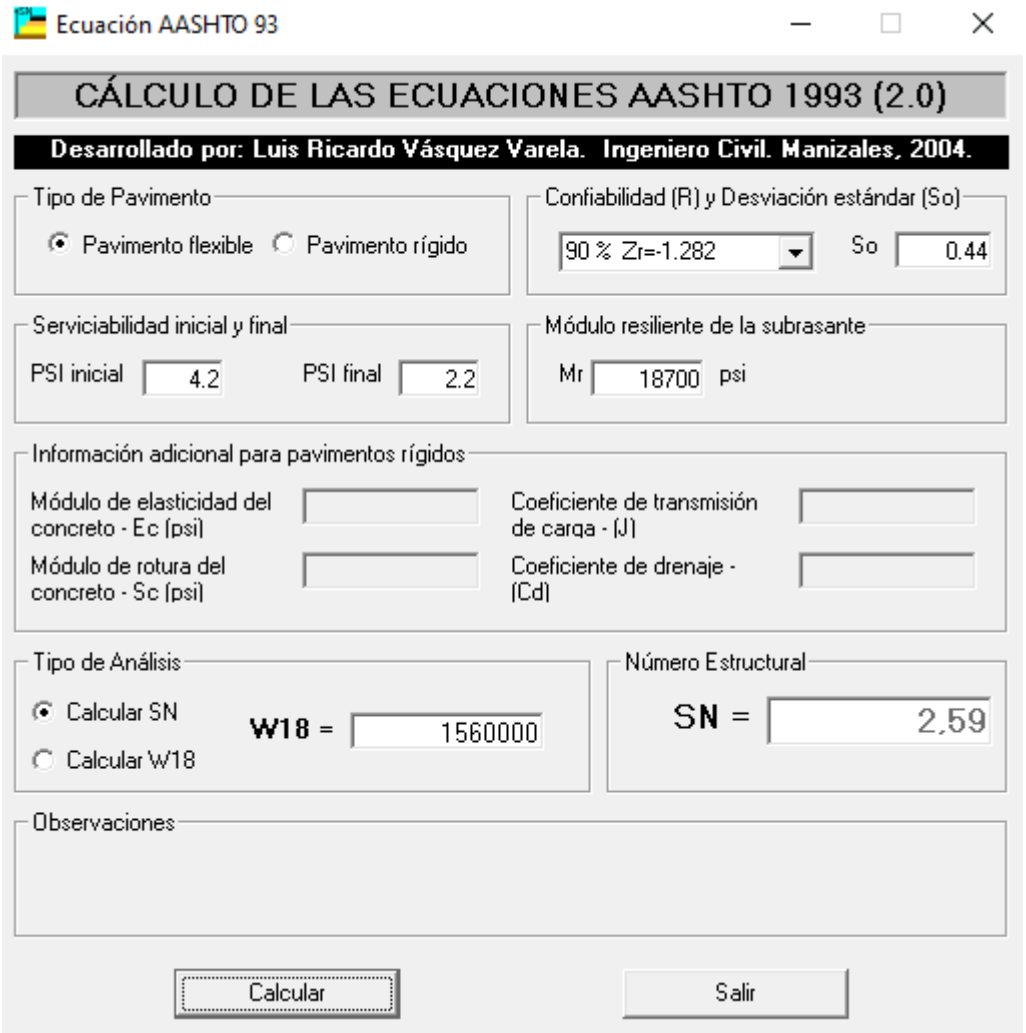


Figura LXI: Número estructural de la Sub base 3.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$SN\ sub\ base\ 3 = 2{,}59$$

6.5.4 DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA:

Para el diseño adecuado de la carpeta asfáltica partimos asumiendo un valor de Módulo Resiliente que se use en nuestro medio, el cual es de 400000 Psi., e ingresamos al nomograma con dicho valor para obtener el respectivo coeficiente estructural.

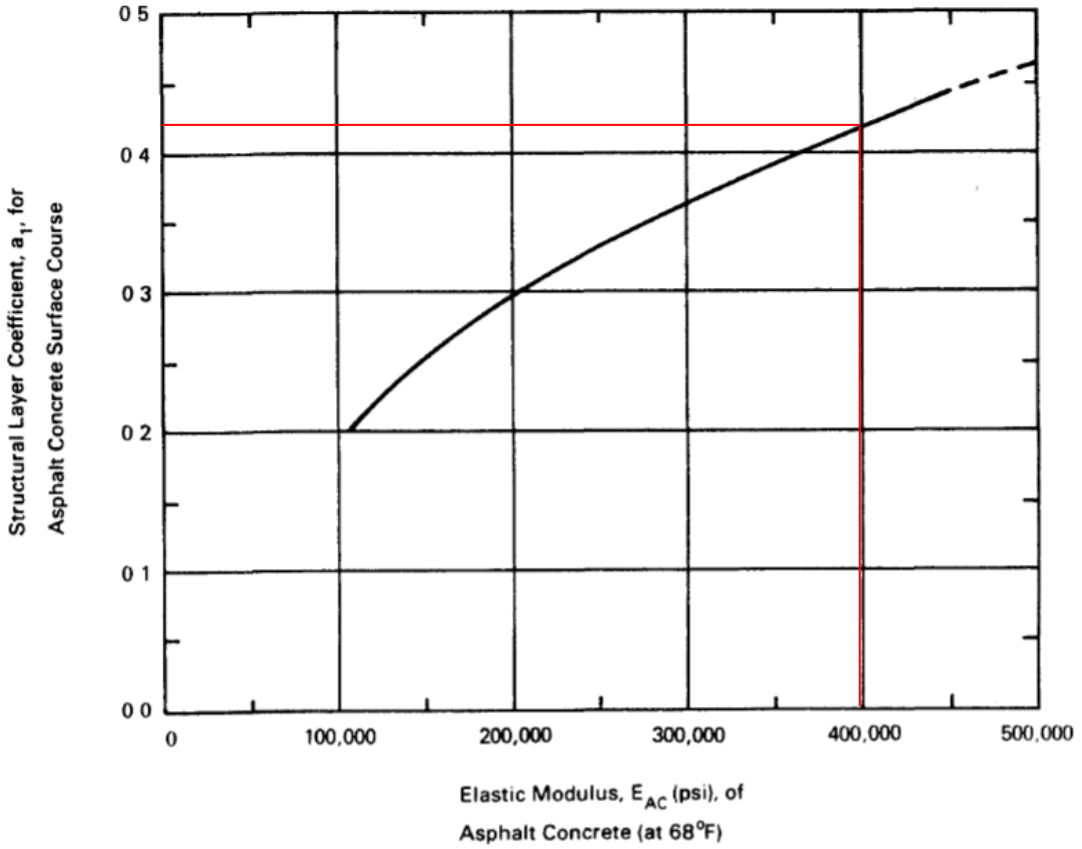


Figura LXII: Coeficientes de la carpeta asfáltica.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$a1 = \frac{0{,}43\ pulg}{2{,}54\ cm}$$

$$a1 = 0{,}1693\ cm$$

6.5.5 ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

Se procede a calcular los diferentes espesores de la siguiente manera:

Carpeta asfáltica:

$$D1 = \frac{2{,}21}{0{,}1693 * 1} = 13{,}05\ cm$$

$$\boldsymbol{D1 \approx 10\ cm}$$

$$SN\ real = 10 * 0{,}1693 * 1 = 1{,}69$$

Capa Base:

$$D2 = \frac{2{,}59 - 1{,}69}{0{,}0520 * 1} = 17{,}30\ cm$$

$$\boldsymbol{D2 \approx 15\ cm}$$

$$SN\ real = 15 * 0{,}0520 * 1 = 0{,}78$$

Capa Sub base:

$$D3 = \frac{3{,}14 - 0{,}78 - 1{,}69}{0{,}0520 * 1} = 12{,}88\ cm$$

$$\boldsymbol{D3 \approx 15\ cm}$$

$$SN\ real = 15 * 0.0520 * 1 = 0{,}78$$

Comprobación:

$$1{,}69 + 0{,}78 + 0{,}78 > 3{,}14$$

$$3{,}25 > 3{,}14 \quad \boldsymbol{OK\ CUMPLE}!$$

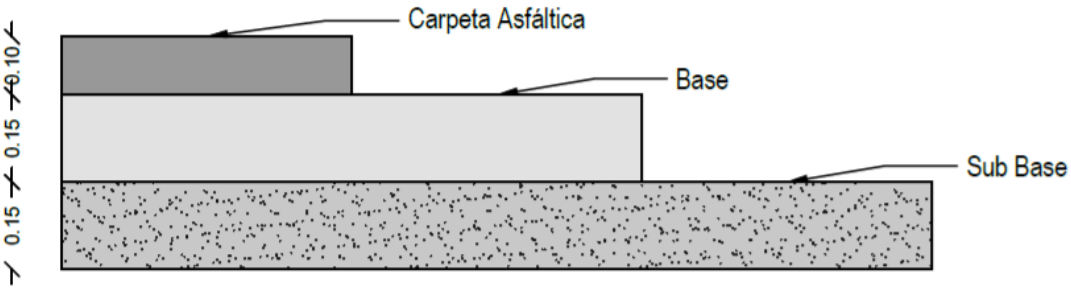


Figura LXIII: Espesores estructura del pavimento mediante CBR.

Fuente: Alvarado, 2019.

6.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE:

Para el diseño partiendo desde el Módulo Resiliente, se considerará los resultados obtenidos a través del ensayo GeoGauge y sus respectivas transformaciones, sin embargo los valores asumidos para el diseño por C.B.R. seguirán siendo los mismos en esta parte.

6.6.1 DISEÑO DE LA SUB RASANTE:

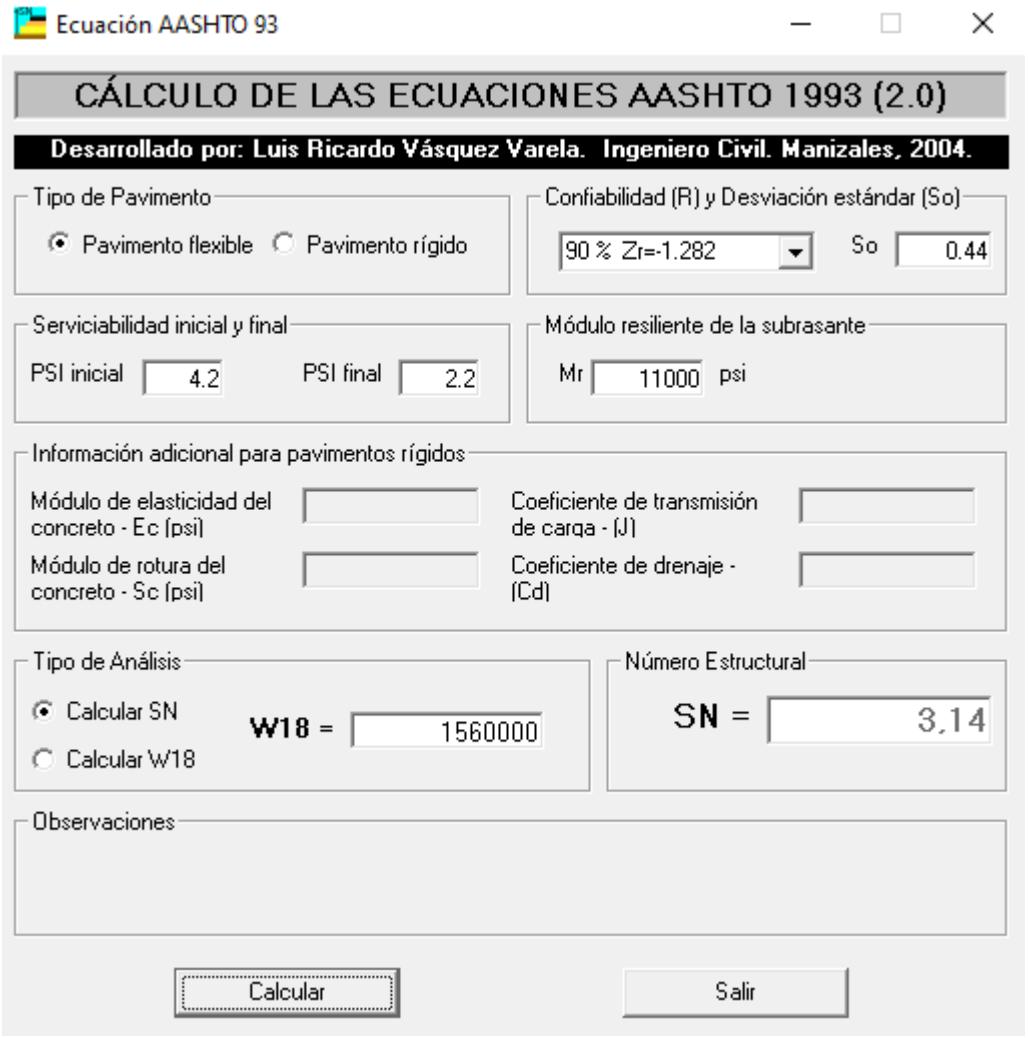


Figura LXIV: Número estructural de la Sub rasante.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$SN\ sub\ rasante = 3{,}14$$

6.6.2 DISEÑO DE LA BASE:

El Módulo Resiliente que se obtuvo para esta capa a través del ensayo GeoGauge fue de 18438,65 Psi, sin embargo es de utilidad para el cálculo en ocasiones tomar el valor entero más cercano, con la finalidad de tener un mejor resultado y generar condiciones de seguridad para la estructura.

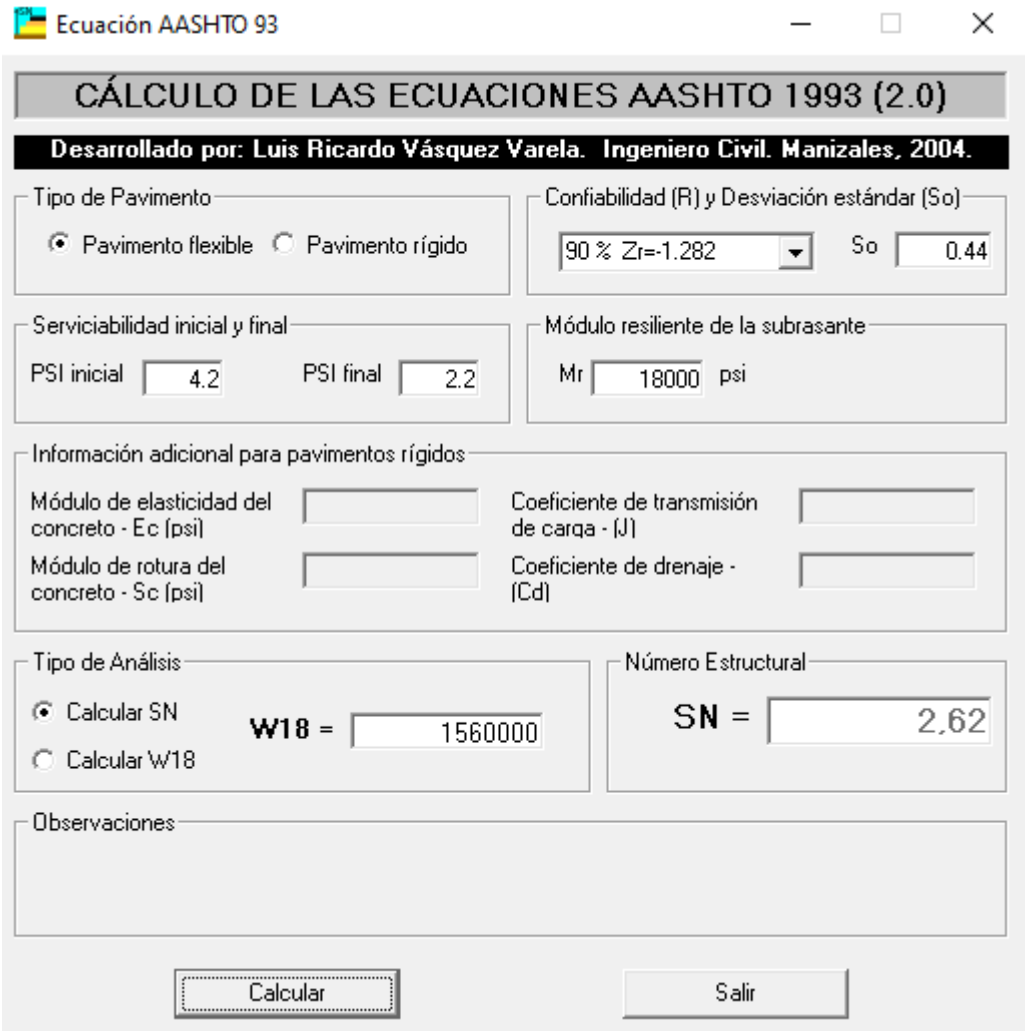


Figura LXV: Número estructural de la Base 2.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$SN\ base\ 2 = 2{,}62$$

6.6.3 DISEÑO DE LA SUB BASE:

Siguiendo el caso anterior de la capa base, trabajamos con un Módulo Resiliente de la sub base de 14146,97 Psi, obtenido a través del GeoGauge y de la misma manera utilizamos un número entero que puede ser de ayuda para la estructura del pavimento.

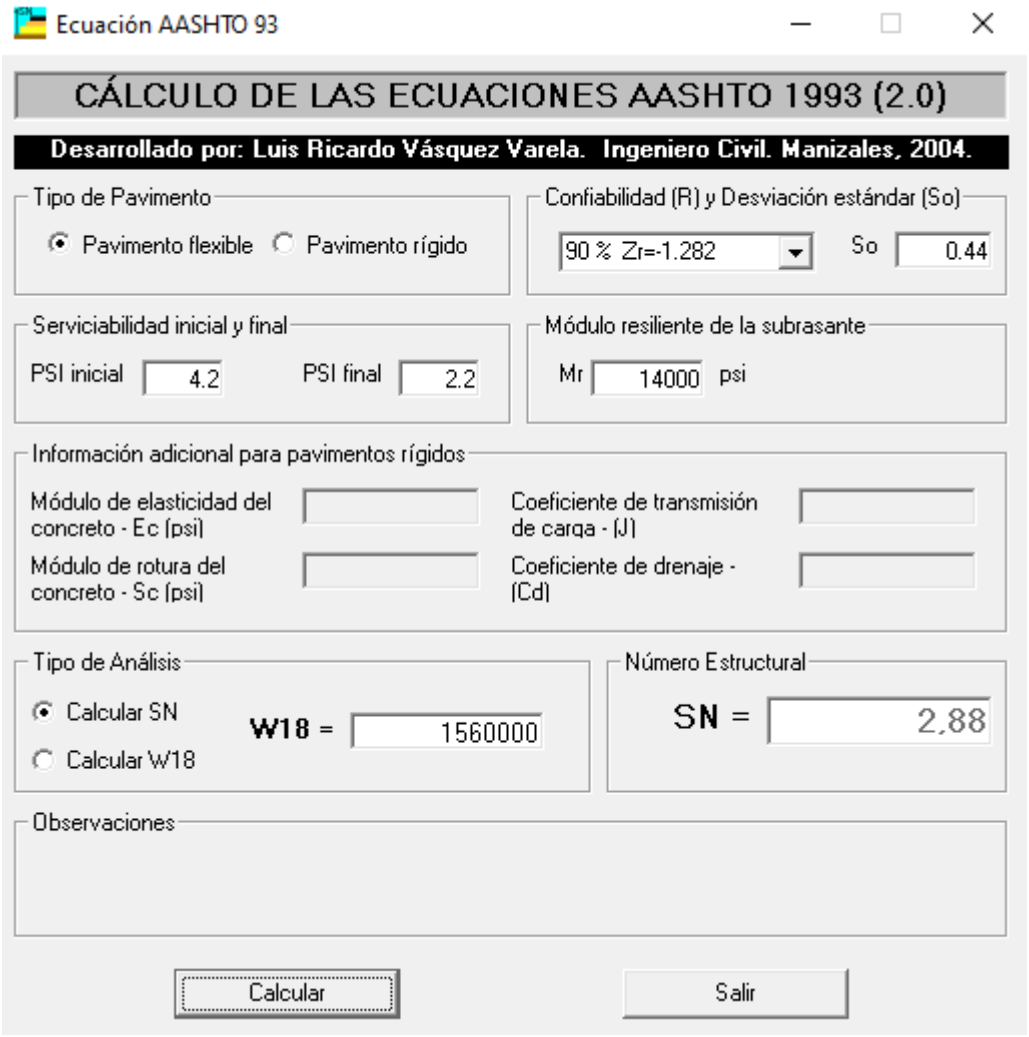


Figura LXVI: Número estructural de la Sub base 3.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$SN\ sub\ base\ 3 = 2{,}88$$

6.6.4 DISEÑO DE LA CARPETA ASFÁLTICA:

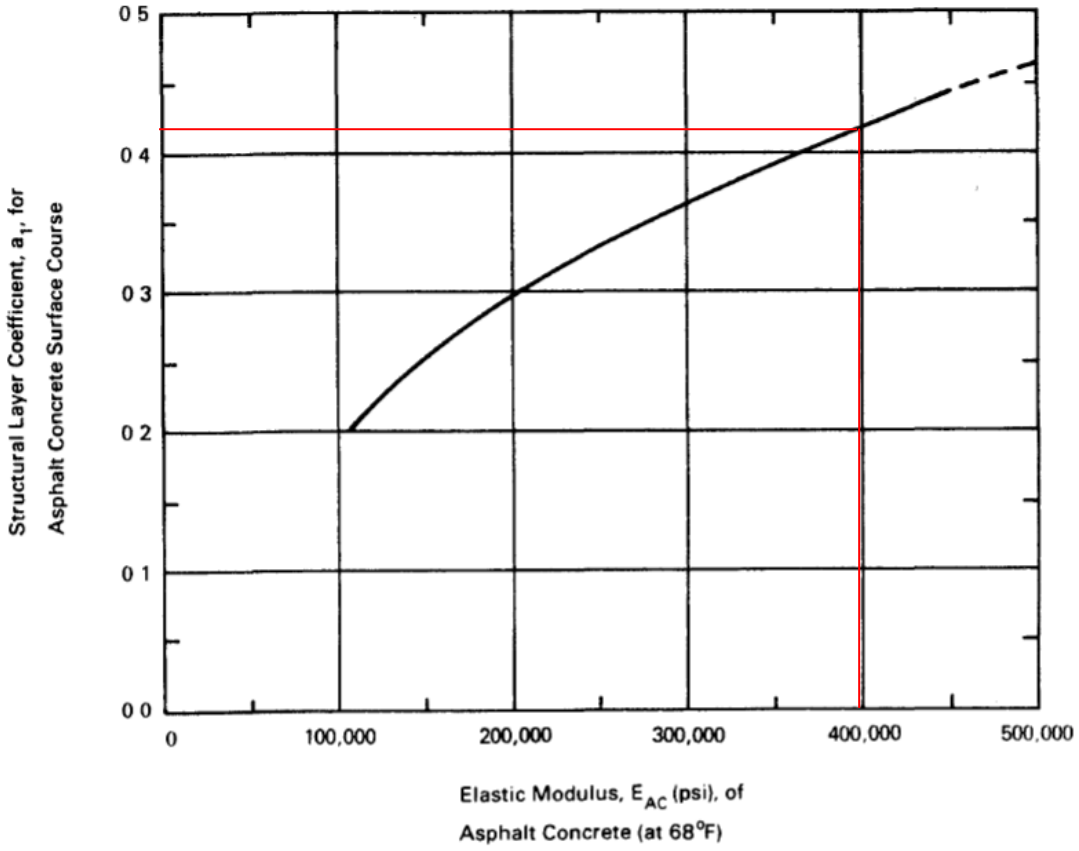


Figura LXVII: Coeficientes de la carpeta asfáltica.

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$a1 = \frac{0{,}43\ pulg}{2{,}54\ cm}$$

$$a1 = 0{,}1693\ cm$$

6.6.5 ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

Carpeta asfáltica:

$$D1 = \frac{2{,}62}{0{,}1693 * 1} = 15{,}47\ cm$$

$$\boldsymbol{D1 = 10\ cm} \qquad SN\ real = 10 * 0{,}1693 * 1 = 1{,}69$$

Capa Base:

$$D2 = \frac{2{,}88 - 1{,}69}{0{,}0354 * 1} = 33{,}61\ cm$$

$$\boldsymbol{D2 = 30\ cm}$$

$$SN\ real = 30 * 0{,}0354 * 1 = 1{,}062$$

Capa Sub base:

$$D3 = \frac{3{,}14 - 1{,}062 - 1{,}69}{0{,}0413 * 1} = 9{,}39\ cm$$

$$\boldsymbol{D3 = 15\ cm}$$

$$SN\ real = 15 * 0{,}0413 * 1 = 0{,}6195$$

Comprobación:

$$1{,}69 + 1{,}062 + 0{,}6195 > 3{,}14$$

$$3{,}37 > 3{,}14 \quad \boldsymbol{OK\ CUMPLE}!$$

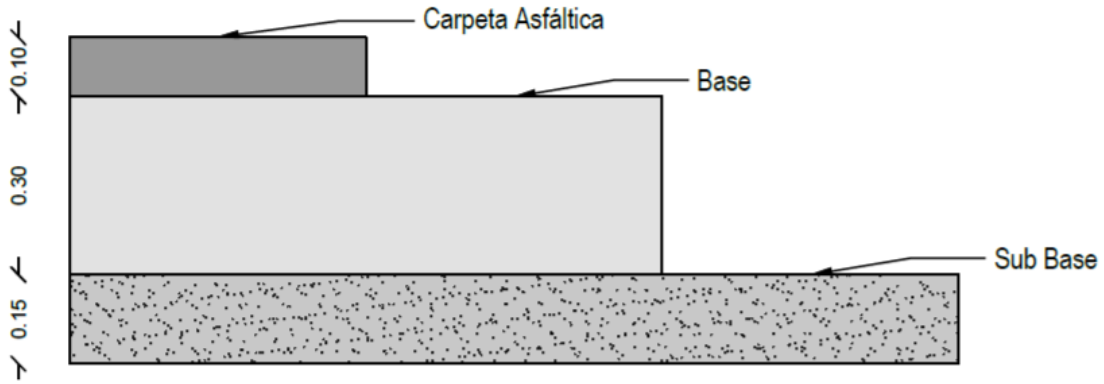


Figura LXVIII: Espesores estructura del pavimento mediante Módulo Resiliente.

Fuente: Alvarado, 2019.

6.7 COMPRACIÓN DE ESPESORES POR AMBOS MÉTODOS:

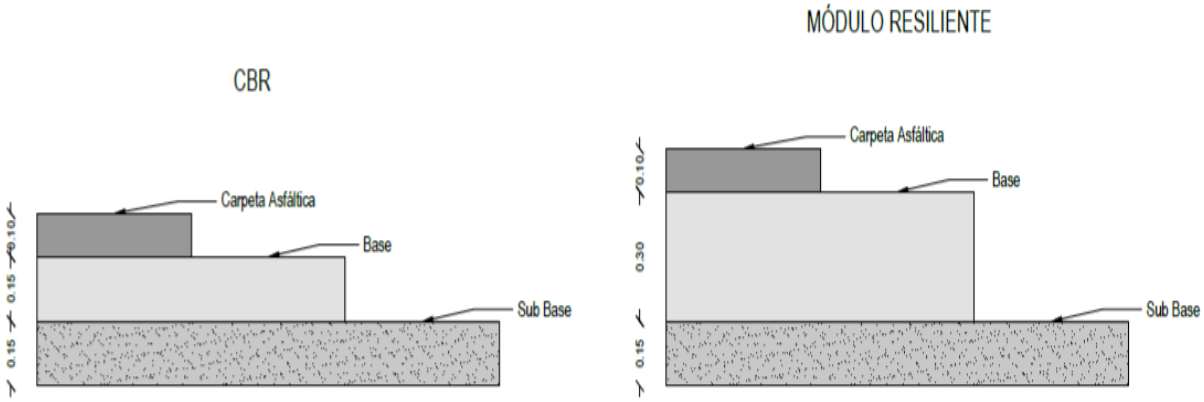


Figura LXIX: Comparación de espesores por ambos métodos.

Fuente: Alvarado, 2019.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

7.1 CONCLUSIONES:

- Por el ensayo granulométrico realizado a las diferentes bases y sub bases de la Mina Mulaló, se pudo comprobar que para todos los casos se cumple a cabalidad los rangos establecidos por la MTOP. Sin embargo, se evidenció que las diferentes capas tienen una cantidad considerable de material de ½ pulgada y a su vez éstas, están conformadas con un porcentaje mayor de agregado fino, que pasa a través del tamiz número 4.
- Una vez realizada la caracterización de la Mina Mulaló se aprobó que la misma es apta para proveer material pétreo para capas estructurales del pavimento, presentando valores mínimos a la norma en los respectivos ensayos de Abrasión en la Máquina de los Ángeles, contenido de material fino que pase el tamiz 200, contenido de terrones de arcilla, desgaste de los agregados a la acción del sulfato y el ensayo Deletéreos.
- Los valores de C.B.R. que se obtuvieron de las diferentes bases y sub bases arrojaron resultados óptimos para las mismas, puesto que el porcentaje supera el 30% para las sub bases de la Mina. Sin embargo, para las bases, que deben cumplir un porcentaje mínimo de 80%, la base 1 y la base 3 no cumplen este porcentaje por lo que se lo descarta para el estudio, teniendo una resistencia al corte menor que la que se indica en la norma MTOP.
- El ensayo de GeoGauge H 4140 arrojó valores de Módulo Resiliente menores a comparar un Módulo Resiliente obtenido a través del ensayo C.B.R., esto

debido a que el ensayo GeoGauge H 4140 está realizado en situ, bajo condiciones de compactación y temperatura propios del lugar donde se realizó el ensayo, mientras que el C.B.R., está bajo condiciones óptimas, permitiendo tener mejores resultados del mismo.

- Realizado el diseño de la estructura vial para los dos ensayos principales del estudio se comprobó que los datos que se obtuvieron del GeoGauge apuntan a un diseño más conservador pero en el que se empleará más material, lo cual influye en el presupuesto de la obra, engrandeciendo costos, sin embargo los datos obtenidos por el C.B.R., nos dieron resultados en que se usará espesores mínimos, sin afectar o comprometer la eficiencia y resistencia de la estructura del pavimento.

7.2 RECOMENDACIONES:

- Es de gran importancia mantener una visión y cálculo del material que provee la mina, con la intención de emplearlo de la mejor manera para todas las etapas del estudio incluyendo la caracterización de la mina, el ensayo C.B.R., y el ensayo GeoGauge, evitando así malgastar el mismo o caer en insuficiencia de material.
- Para la extracción del material en la mina, se debe tener muy en cuenta la norma ASTM D-75 acerca del muestreo de agregados, con la finalidad de que la muestra sea obtenida desde diferentes puntos dentro de la mina, garantizando así que la totalidad extraída sea representativa, asegurando la calidad del agregado.

- Es necesario considerar que para realizar todos los ensayos de caracterización de la mina, se debe contar con un cierto grado de experiencia o a su vez de guía con el objetivo de no caer en errores simples que pueden llegar afectar los resultados de manera significativa.
- Se recomienda que para el ensayo GeoGauge H 4140 la excavación donde se realizará la toma de datos debe ser de una dimensión aproximada de 1m por 1m de área y 30 cm de profundidad, para que al momento que el vibro apisonador entre pueda girar sin problema alguno, compactando toda el área de estudio sin comprometer la eficiencia de la máquina.

CAPÍTULO 8

8. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS:

8.1 BIBLIOGRAFÍA:

AASHTO. (1993). *Guide For Design of Paviment Structures.* Washington D.C.: American Asosociation of State Highway and Transportation Officials .

ASTM C-117. (1 de Agosto de 2017). Standard Test Method for Materials Finer than 75-µm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. *Standard Test Method for Materials Finer than 75-µm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. EEUU.: American Society of Testing Materials .

ASTM C-123. (15 de Diciembre de 2014). Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate. *Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-127. (15 de Junio de 2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-128. (15 de Junio de 2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-131. (1 de Julio de 2014). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-136. (1 de Diciembre de 2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-142. (15 de Marzo de 2017). Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-29. (1 de Abril de 2017). Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM C-566. (1 de Junio de 2019). Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. EEUU.: American Society of Testing Materials .

ASTM C-88. (1 de Agosto de 2018). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM D-1557. (1 de Mayo de 2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3)). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM D-1883. (1 de Marzo de 2016). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

ASTM D-75. (1 de Junio de 2014). Standard Practice for Sampling Aggregates. *Standard Practice for Sampling Aggregates*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

GeoGauge H 4140. (1 de Septiembre de 2014). Product Manual GeoGauge H 4140 . *Product Manual GeoGauge H 4140* . EEUU.: Testing Equipment for Construction Materials.

Merritt, F. S. (1995). *MANUAL DEL INGENIERO CIVIL.* México: McGraw-Hill, Inc. U.S.A.

MTOP. (2012). *Especificaciones Técnicas Para la Construcción de Caminos y Puentes.* Quito: Norma Ecuatoriana Vial .

Parra, F. A. (2018). *Comparación Técnica Entre Los Ensayos de Laboratorio de Módulo Resiliente y CBR de Laboratorio Para Base y Sub Base de la Mina Copeto (Toachi - Santo Domingo de los Tsáchilas).* Quito: PUCE.

Villafuerte Bermúdez, L., & Ortega Calle, K. (2015). *Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso .* Quito.

Yánez, G. (2018). *Guia de Laboratorio de Pavimentos* . Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

8.2 ANEXOS:

8.2.1 ANEXOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN:



Figura LXX: Extracción de los agregados en la Mina Mulaló.



Figura LXXI: Cuarteo del material.



Figura LXXII: Granulometría del agregado grueso.



Figura LXXIII: Granulometría del agregado fino.

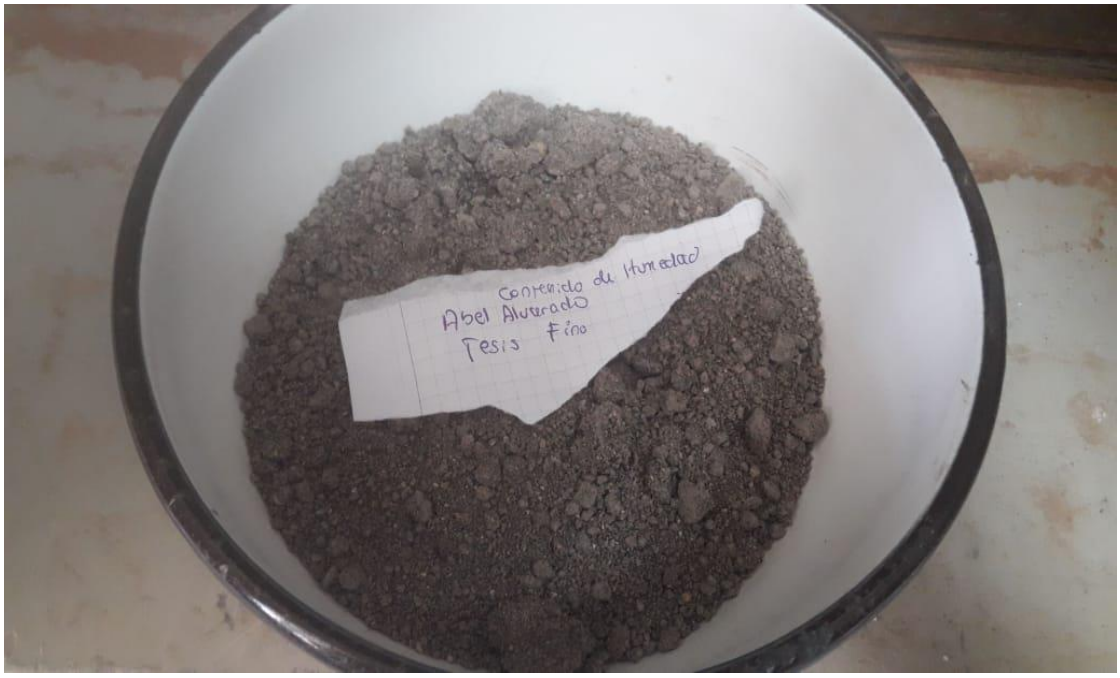


Figura LXXIV: Contenido de humedad del agregado fino.



Figura LXXV: Contenido de humedad del agregado grueso.



Figura LXXVI: Ensayo Tamiz 200.



Figura LXXVII: Ensayo de contenido orgánico.



Figura LXXVIII: Ensayo de gravedad específica del agregado fino.



Figura LXXIX: Ensayo gravedad específica del agregado grueso.



Figura LXXX: Ensayo de equivalente de arena.



Figura LXXXI: Ensayo de sulfatos.



Figura LXXXII: Ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles.



Figura LXXXIII: Ensayo Deletéreos.

8.2.2 ANEXOS ENSAYOS PROCTOR MODIFICADO Y CBR:



Figura LXXXIV: Ensayo Proctor Modificado, fundas y mezcla.



Figura LXXXV: Ensayo Proctor Modificado, moldes y compactación.



Figura LXXXVI: Ensayo CBR, moldes y datos de esponjamiento.



Figura LXXXVII: Ensayo CBR, moldes en estado de corte.

8.2.3 ANEXOS ENSAYO GEOGAUGE H 4140:



Figura LXXXVIII: Ensayo GeoGauge, estudio de la sub rasante.



Figura LXXXIX: Ensayo GeoGauge, proceso de compactación.



Figura XC: Medición con Densímetro Nuclear.